

Elektromagnetische velden in arbeidssituaties

juni 2006





Ministerie van Sociale Zaken
en Werkgelegenheid

Elektromagnetische velden in arbeidssituaties

juni 2006

SZW-rapport

rivm

Rijksinstituut
voor Volksgezondheid
en Milieu

Auteurs:
J.F.B. Bolte en
M.J.M. Pruppers

RIVM-nr. 610015001

Inhoudsopgave

Abstract	5
Samenvatting	7
<i>DEEL I PRAKTISCHE TOEPASSING VAN DE RICHTLIJN</i>	9
1 Inleiding en leeswijzer	9
1.1 Elektromagnetische velden	9
1.2 Doel van dit rapport	10
1.3 Inpassing in de RI&E systematiek	10
1.3.1 RI&E algemeen	10
1.3.2 RI&E module voor elektromagnetische velden	11
1.4 Leeswijzer	13
2 Beoordelingstraject	15
2.1 De term werkomgeving	15
2.2 Categorieën werkomgevingen	15
2.3 Overzicht van werkomgevingen	16
2.4 Het traject	20
2.5 Overzicht van vuistregels en maatregelen voor categorie II	23
2.5.1 Installatie en onderhoud	23
2.5.2 Artikel- en persoonsdetectie	23
2.5.3 Diëlektrische verwarming	24
2.5.4 Elektriciteitsproductie en -distributie	24
2.5.5 Elektrochemische processen	24
2.5.6 Inductieverwarming	25
2.5.7 Lassen	25
2.5.8 Medische toepassingen	26
2.5.9 Microgolfdrogen	27
2.5.10 Onderzoekstoepassingen	27
2.5.11 Vervoer en tractiesystemen	27
2.5.12 Zendinstallaties	27
2.5.13 Overige werkomgevingen	29
2.5.14 Niet hier genoemde werkomgevingen	30

<i>DEEL II</i>	<i>ACHTERGRONDINFORMATIE.....</i>	<i>31</i>
3	Inventarisatie van werkomgevingen	31
3.1	Aanpak	31
3.1.1	Literatuuronderzoek	31
3.1.2	Praktijkonderzoek en metingen	32
3.1.3	Indelingscriteria	34
3.2	Installatie en onderhoud.....	36
3.3	Artikel- en persoonsdetectie	37
3.4	Diëlektrische verwarming.....	43
3.5	Elektriciteitsproductie en -distributie	46
3.6	Elektrochemische processen.....	49
3.7	Inductieverwarming.....	51
3.8	Lassen	54
3.9	Medische toepassingen	59
3.10	Microgolfdrogen	65
3.11	Onderzoekstoepassingen.....	66
3.12	Vervoer en tractiesystemen.....	66
3.13	Zendinstallaties	69
3.14	Overige werkomgevingen.....	84
4	Inventarisatie van methoden	85
4.1	Vuistregels, rekenregels en normen - algemeen	85
4.2	Generieke vuistregels.....	86
4.3	Sommatieregels voor verschillende signaaltvormen van een of meer bronnen (ICNIRP statement)	93
4.4	Specifieke rekenregels	95
4.4.1	Artikel- en persoonsdetectie	95
4.4.2	Diëlektrische verwarming	97
4.4.3	Elektriciteitsproductie en -distributie	98
4.4.4	Elektrochemische processen.....	99
4.4.5	Inductieverwarming.....	100
4.4.6	Lassen	100
4.4.7	Medische toepassingen.....	101
4.4.8	Microgolfdrogen	103
4.4.9	Vervoer en tractiesystemen	103
4.4.10	Zendinstallaties.....	103
4.5	Omschrijving van ‘afwijkende omstandigheden’	105

5	Inventarisatie van beheersmaatregelen	109
5.1	Eisen in de richtlijn en de Arbowet	109
5.2	Algemene maatregelen voor alle werkomgevingen.....	110
5.2.1	Verplichte algemene maatregelen voor alle werkomgevingen....	111
5.2.2	Algemene maatregelen per categorie	112
5.2.3	Deskundigheid	114
5.3	Maatregelen per specifieke apparatuurgroep.....	117
5.3.1	Installatie en onderhoud	117
5.3.2	Artikel- en persoonsdetectie	118
5.3.3	Diëlektrische verwarming	118
5.3.4	Elektriciteitsproductie en -distributie	121
5.3.5	Elektrochemische processen.....	122
5.3.6	Inductieverwarming.....	123
5.3.7	Lassen	125
5.3.8	Medische toepassingen.....	127
5.3.9	Microgolfdrogen.....	130
5.3.10	Onderzoekstoepassingen	130
5.3.11	Vervoer en tractiesystemen	130
5.3.12	Zendinstallaties.....	131
5.3.13	Overige werkomgevingen.....	133
6	Bedrijfseffecten.....	135
6.1	Soort en aantal bedrijven	135
6.2	Baten en kosten.....	138
6.2.1	Baten.....	138
6.2.2	Kosten.....	138
6.2.3	Kosten beheersmaatregelen per type werkomgeving / apparatuurgroep	139
6.3	Draagkracht.....	142
6.4	Buitenland.....	143
6.5	Marktwerving en sociaal-economische effecten	143
6.6	Administratieve lasten	144
6.7	Conclusies.....	146
Bijlage 1	De richtlijn.....	149
Bijlage 2	RI&E module elektromagnetische velden - voorlopige versie....	159
Bijlage 3	SBI-codes.....	162
Bijlage 4	Afkorting.....	165
Referenties		169

Abstract

The EU has issued Directive 2004/40/EC on the protection of workers from health and safety risks arising from exposure to electromagnetic fields in the workplace. This directive must be implemented in national legislation no later than 30 April 2008. To prepare for implementation, RIVM has, on commission of the Ministry of Social Affairs and Employment, investigated and analysed exposure in Dutch working environments.

The purpose of this report is to provide assistance to employers to assess whether compliance is being met and to carry out the inventory and evaluation of risks (RI&E) due to electromagnetic fields. Until harmonised European standards from CENELEC cover all relevant assessment, measurement and calculation situations, this report may serve as a guide. It is not mandatory to use this report.

It will be sufficient for most of the employers to confine themselves to the first two chapters.

Subsequent chapters deal with the exposure found in several working environments and provide guidelines for assessing risks and possible measures in these working environments. Costs for implementing the directive are discussed in the last chapter.

CENELEC standards, if available, are mandatory for assessing whether exposure occurs below the limits in the directive. However, these standards are not easy to use without specialist knowledge. Furthermore, not all equipment needs to be assessed to the same extent nor are the same measures needed. A flow chart and tables of relevant working environments, classified into three categories, are provided to facilitate the assessment. Each category has its own assessment path.

No measures are needed for category I, while for category IIa working environments, only brief instructions are needed, e.g. keeping one's distance. For category IIb, such technical measures as shielding the radiation source, installing a fence or hanging up warning signs are needed. Category III contains all the working environments where great efforts (e.g. factory reorganisation) will be needed to combat exposure. In categories II and III the workers need to be informed about their own situation and measures with respect to exposure. Workers at particular risk, such as workers with implanted medical devices and pregnant women, will be given special attention.

Equipment found in working environments falling into category IIb includes dielectric and inductive heaters, bus bars, arc welding equipment and equipment for short wave and microwave diathermy and electrosurgery. Category III contains large rectifiers, small induction furnaces, semi-automated spot and induction

welding machines, intervention activities using MRI scanners, large broadcasting antennas, and activities such as troubleshooting situations confronting electricians. In several of these working environments measures have been taken.

The costs of implementation of the directive are divided into administrative burdens and costs of measures. The administrative burdens consist of assessment costs including measurement and calculation, and the cost of informing the workers. The administrative burdens in the first two years amount to an estimated €8 million per year and afterwards to an estimated €4 million per year. The estimates of the costs of measures vary from some €2 to €5 million per year. These estimates are uncertain due to the large variety of possible measures and the uncertainty in the number of companies.

Samenvatting

De EU heeft richtlijn 2004/40/EG uitgevaardigd om de werknemer te beschermen tegen gezondheidsrisico's door blootstelling aan elektromagnetische velden op het werk. Deze richtlijn moet uiterlijk 30 april 2008 zijn omgezet in nationale wetgeving. Ter voorbereiding hiervan heeft het RIVM in opdracht van het Ministerie van SZW de blootstelling in Nederlandse arbeidssituaties geïnventariseerd en geanalyseerd.

Het doel van dit rapport is de werkgevers een handreiking te geven om vast te stellen of aan de eisen uit de richtlijn wordt voldaan en om de risico-inventarisatie en -evaluatie (RI&E) voor elektromagnetische velden op te stellen. Totdat er geharmoniseerde Europese normen van het Europees Comité voor elektro-technische normalisatie (CENELEC) beschikbaar zijn voor alle situaties die moeten worden beoordeeld, gemeten en berekend, mag dit rapport als richtsnoer gebruikt worden. Gebruik van dit rapport is dus geen verplichting.

Voor de meeste werkgevers is het voldoende om de eerste twee hoofdstukken door te nemen.

De volgende drie hoofdstukken bevatten voor een aantal arbeidssituaties informatie over de blootstelling, de rekenregels waarmee de situatie kan worden ingeschat en de mogelijke beheersmaatregelen. Het laatste hoofdstuk geeft een overzicht van de kosten die met invoering van de richtlijn samenhangen.

Om te kunnen toetsen of de blootstelling onder de limieten van de richtlijn blijft, moeten CENELEC-normen worden gebruikt, voor zover ze bestaan. Deze normen zijn zonder specialistische kennis niet eenvoudig toe te passen. Ook hoeft niet alle apparatuur even uitgebreid beoordeeld te worden of zijn even zware maatregelen nodig. Om de beoordeling te vergemakkelijken geeft dit rapport een beoordelingsschema en tabellen met een indeling van alle relevante werkomgevingen in drie categorieën. Voor iedere categorie geldt een ander beoordelingstraject.

Voor categorie I geldt dat er geen maatregelen genomen hoeven te worden. Voor werkomgevingen in categorie IIa is een lichte beheersinspanning in de vorm van een instructie nodig, bijvoorbeeld afstand houden. Voor categorie IIb zijn technische beheersmaatregelen nodig zoals het afschermen van de bron, het plaatsen van een hekwerk of het aanbrengen van waarschuwingsborden. Categorie III bevat alle werkomgevingen waarvoor uitgebreide beheersmaatregelen nodig zijn, bijvoorbeeld - in het ergste geval - het herinrichten van een fabriek. Voor categorieën II en III geldt dat het geven van voorlichting over de lokale blootstellingssituatie en maatregelen nodig is. De blootstelling van gevoelige

groepen zoals mensen met medische implantaten en zwangere vrouwen moet extra worden beoordeeld.

Werkomgevingen met apparatuur in categorie IIb zijn bijvoorbeeld apparatuur voor diëlektrische of inductieve verwarming, *bus bars*, booglasapparatuur, apparatuur voor kortegolf- en microgolfdiathermie en elektrochirurgie. Categorie III bevat onder meer grote gelijkrichters, kleine inductieovens, half-geautomatiseerde punt- en inductielasmachines, MRI met interventie-activiteiten, grote omroepzenders en de activiteiten, van bijvoorbeeld elektriciens, in *trouble shoot* situaties. In een deel van deze werkomgevingen zijn reeds maatregelen genomen.

De kosten van de invoering van de richtlijn zijn gesplitst in administratieve lasten en kosten voor beheersmaatregelen. De administratieve lasten bestaan uit kosten voor het beoordelen van de blootstelling (inclusief meten en berekenen) en het voorlichten van werknemers. De administratieve lasten bedragen in de eerste twee jaar naar schatting € 8 mln. per jaar en daarna € 4 mln. per jaar. De schattingen van de kosten voor beheersmaatregelen lopen uiteen van ongeveer € 2 tot € 5 mln. per jaar. Deze schattingen zijn onzeker door de grote diversiteit aan mogelijke beheersmaatregelen en onzekerheden in het aantal bedrijven.

DEEL I PRAKTISCHE TOEPASSING VAN DE RICHTLIJN

1 Inleiding en leeswijzer

Werknemers kunnen tijdens hun werkzaamheden worden blootgesteld aan elektrische, magnetische en elektromagnetische velden die worden uitgezonden door apparatuur waarmee ze werken of waarbij ze tijdens hun werkzaamheden in de buurt kunnen komen. Ter voorkoming van een te hoge blootstelling aan deze velden tijdens het werk, heeft de Europese Unie een richtlijn vastgesteld met minimumvoorschriften voor de bescherming van werknemers tegen de risico's voor hun gezondheid en veiligheid als gevolg van blootstelling aan deze velden [1]. Zie voor verdere uitleg van de richtlijn Bijlage 1. De richtlijn kan consequenties voor bedrijven hebben en tot nadere verplichtingen voor werkgevers leiden, die onderdeel van het Arbobesluit zullen worden. De richtlijn moet uiterlijk 30 april 2008 in de Nederlandse regelgeving zijn geïmplementeerd.

1.1 Elektromagnetische velden

De twee belangrijkste eigenschappen van elektromagnetische velden die voor de nadelige effecten op de gezondheid van belang zijn, zijn de frequentie en de veldsterkte.

Laagfrequente velden kunnen leiden tot het opwekken van elektrische stromen in het lichaam, terwijl hoogfrequente velden kunnen leiden tot opwarming van het lichaam of van delen van het lichaam. Hoe hoger de frequentie, des te minder diep dringt het veld in het lichaam door en des te oppervlakkiger is de opwarming. De effecten 'induceren van stromen' en 'opwarming' worden meestal beschouwd als kortetermijneffecten. Als de blootstelling ophoudt, verdwijnen de effecten. Langetermijneffecten zijn wel onderzocht, maar zijn vooralsnog onvoldoende bewezen geacht om blootstellingslimieten voor vast te stellen [2, 3].

In de richtlijn wordt onderscheid gemaakt tussen grenswaarden voor blootstelling en actiewaarden. De grenswaarden, die niet mogen worden overschreden, zijn gekoppeld aan fysische grootheden die direct verband houden met de effecten op het lichaam, zoals de stroomdichtheid in het centraal zenuwstelsel (bij lage frequenties) en het specifieke absorptietempo van energie en de vermogensdichtheid (bij hoge frequenties). Omdat deze grootheden meestal niet eenvoudig meetbaar zijn, zijn in de richtlijn actiewaarden opgenomen voor wel eenvoudig meetbare grootheden, zoals het elektrische en het magnetische veld buiten het lichaam. Als de actiewaarden niet worden overschreden, kan, volgens de

richtlijn, in normale omstandigheden worden aangenomen dat ook de grenswaarden niet worden overschreden. Als de actiewaarden wel worden overschreden, dient de werkgever te zorgen dat de blootstelling afneemt tot onder de actiewaarden óf aan te tonen dat de grenswaarden niet worden overschreden. Overschrijding van de actiewaarde (of van de grenswaarde) resulteert overigens niet per definitie in een onveilige situatie.

Nadere uitleg over de actiewaarden, grenswaarden, diverse sommatieregels, middeling van blootstelling over zes minuten (zes-minutenregel) en tabellen met de precieze getallen zijn opgenomen in Bijlage 1 en Paragraaf 4.3.

1.2 Doel van dit rapport

Dit rapport is bedoeld als een handreiking voor werkgevers waarmee zij kunnen inventariseren of hun werknemers te maken hebben met situaties van te hoge blootstelling. Totdat er geharmoniseerde Europese normen van het Europees Comité voor elektrotechnische normalisatie (CENELEC) beschikbaar zijn voor alle situaties die moeten worden beoordeeld, gemeten en berekend, mag dit rapport als richtsnoer gebruikt worden. Gebruik van dit rapport is dus geen verplichting.

Dit rapport bevat bovendien informatie over wat in situaties van te hoge blootstelling gedaan kan worden. Ook bevat het rapport de onderbouwing voor de keuzes die in de handreiking zijn gemaakt en een inschatting van de bedrijfseffecten (incl. de administratieve lasten) die met de invoering van de richtlijn samenhangen.

1.3 Inpassing in de RI&E systematiek

1.3.1 RI&E algemeen

De Arbowet, artikel 5, legt bedrijven de verplichting op om een risico-inventarisatie en -evaluatie (RI&E) op te stellen. Deze RI&E moet betrekking hebben op alle risico's die de arbeid ten aanzien van de veiligheid, gezondheid en het welzijn van de werknemers met zich meebrengt, dus ook de blootstelling aan elektromagnetische velden. Het Arbobesluit geeft voor een aantal onderwerpen nadere voorschriften. In deze voorschriften, die rechtstreeks voortvloeien uit Europese richtlijnen, wordt aangegeven welke elementen de inventarisatie en evaluatie voor één specifiek, in dat voorschrift omschreven, risico dient te bevatten.

De RI&E komt stapsgewijs tot stand. Eerst wordt een inventarisatie gemaakt van de risico's die in het bedrijf aan de orde zijn. Vervolgens worden deze risico's geëvalueerd. Dat betekent dat in relatie tot wetgeving, normen en/of richtlijnen een

weging van het risico plaatsvindt, zodat de ernst van het risico kan worden bepaald. Daarna kan worden vastgesteld of er beheersmaatregelen nodig zijn om het risico te verminderen en waaruit die beheersmaatregelen moeten bestaan. In een Plan van Aanpak legt de werkgever ten slotte vast welke beheersmaatregelen hij gaat nemen en wanneer en door wie die worden genomen. Een bedrijf mag de RI&E zelf opstellen.

Om bedrijven te helpen bij het zelf opstellen van een RI&E zijn door bijvoorbeeld branche-organisaties model RI&E's gemaakt. Voorbeelden van deze model RI&E's zijn te vinden op de algemene site van het Arbo Platform Nederland, www.arbo.nl, en via hun gespecialiseerde site, www.rie.nl. Over de daar gepubliceerde model RI&E's is overeenstemming bereikt tussen werkgevers en werknemers. Een model RI&E kan bestaan uit een verzameling modules waarbij elke module over een ander onderwerp of wetsbepaling gaat. Zo zijn er modules voor gevaarlijke stoffen, voor geluid en voor trillingen. Deze modules beginnen meestal met een introductievraag. Wordt deze met 'ja' beantwoord, dan moet er een serie vervolgvragen worden beantwoord (Figuur 1). Elke vraag is voorzien van een toelichting in spreektaal. Het is zaak een module zo efficiënt mogelijk op te stellen, dus door een introductievraag in één antwoord duidelijk te krijgen of het nodig is verder te gaan, gevolgd door korte, scherpe vragen om tot een inventarisatie te komen.

Het kan noodzakelijk zijn, als in een bedrijf in het productieproces verschillende werkzaamheden plaatsvinden, met verschillende arbeidsplaatsen en daarmee mogelijk verschillende blootstellingen, om voor elke werkzaamheid opnieuw de modules in te vullen. Een voorbeeld daarvan is de digitale RI&E voor Linnenverhuur- en Wasserijbedrijven [4], waarbij bijvoorbeeld voor de werkzaamheid 'Afwerken (drogen, mangelen, vouwen, strijken, persen)' de modules over Inrichting arbeidsplaatsen, Fysieke belasting en Fysische factoren moeten worden beantwoord. Voor de werkzaamheid 'Sorteren schoongoed, inpakken en verzendklaar maken' moeten deze modules opnieuw worden ingevuld.

1.3.2 RI&E module voor elektromagnetische velden

Binnen het arbobeleid streeft de overheid naar zoveel mogelijk zelfwerkzaamheid van het bedrijfsleven (subsidiariteitsbeginsel). Werkgevers en werknemers zijn verantwoordelijk voor de naleving van wetgeving, maar organisaties van werkgevers en werknemers kunnen samen afspreken wat bedrijven in hun branche moeten doen om aan de regelgeving te voldoen. Zij kunnen een generieke module aanpassen aan hun branche-specifieke apparatuur en omstandigheden. Immers, de branches worden geacht de huidige situatie en toekomstige technologische ontwikkelingen binnen hun bedrijven beter te kennen dan buitenstaanders.

	P	Ja	Nee	NVT
3.4 gevaarlijke stoffen als grondstof				
Er worden gevaarlijke stoffen gebruikt.	☐	☒	☐	☐
3.4.1 Er is een register van gevaarlijke stoffen aanwezig.	☐	☒	☐	☐
3.4.2 Het register besteedt aandacht aan alle registratie-verplichtingen.	☐	☒	☐	☐
3.4.3 Er is voldaan aan de voorschriften uit de Wet milieugevaarlijke stoffen.	☐	☒	☐	☐
3.4.4 De milieuvergunning is door de gemeente afgegeven en nog steeds geldig of de aanvraag is in behandeling.	☐	☒	☐	☐
3.4.5 Er is een goede opslag van gevaarlijke stoffen.	☐	☐	☒	☐
3.4.6 De voorschriften over het gebruik van gevaarlijke stoffen zijn bekend en worden toegepast.	☐	☒	☐	☐
3.4.7 De voorschriften over de afvoer van gevaarlijke stoffen zijn bekend en worden toegepast.	☐	☐	☒	☐
3.4.8 De hulpmiddelen om gevaarlijke stoffen toe te passen zijn adequaat.	☐	☐	☒	☐
3.4.9 Alle medewerkers volgen de werkvoorschriften en gebruiken de hulpmiddelen.	☐	☐	☒	☐
3.4.10 Medewerkers die met de stoffen werken krijgen regelmatig een arbeidsgezondheidskundig onderzoek.	☐	☐	☒	☐

Figuur 1 Voorbeeld van module 3.4 ‘gevaarlijke stoffen als grondstof’ van de generieke, digitale RI&E voor het MKB.

Geïnspireerd door de diverse model RI&E's voor onder andere de rubber- en kunststofindustrie, de wasserijen, het MKB, de providers van mobiele telecommunicatie (MoNet) en de installatiebranche (UNETO-VNI) is een voorbeeld-generieke ‘RI&E module elektromagnetische velden’ ontwikkeld. Hierbij zijn de eisen uit de richtlijn vertaald naar de belangrijkste vragen die in de RI&E beantwoord moeten worden. De module ‘elektromagnetische velden’ is ingericht naar analogie van bestaande modules voor andere onderwerpen zoals geluid, klimaat, trillingen en gevaarlijke stoffen. Bedrijven kunnen deze module als hulpmiddel gebruiken bij de opstelling van hun RI&E over elektromagnetische velden. Brancheorganisaties zijn vrij om deze RI&E op te nemen op www.rie.nl.

Om de werkgevers zo min mogelijk administratief te belasten, is het nodig een introductievraag te stellen die zoveel mogelijk bedrijfsonderdelen uitsluit.

Een voorlopige versie van de generieke module is opgenomen in Bijlage 2.

Gezien de beperkte tijd is het ondoenlijk om in het kader van dit onderzoek een uitputtende lijst van alle soorten apparatuur en bijbehorende specifieke RI&E-modules op te stellen. Er wordt niet gepretendeerd alle apparatuur aan te wijzen die tot overschrijding van actie- of grenswaarden leidt. De betreffende werkgever is ervoor verantwoordelijk om te laten zien dat voor alle werknemers aan de richtlijn wordt voldaan. Ook wanneer uit de analyse in dit rapport blijkt dat er geen overschrijding van de actiewaarden bekend is, blijven bedrijven verantwoordelijk voor de mogelijke blootstelling van hun werknemers.

1.4 Leeswijzer

Deze leeswijzer geeft aan welke delen van het rapport voor de werkgever van belang zijn. Het is namelijk niet nodig dat ieder individueel bedrijf het rapport helemaal leest.

Algemeen

Deze inleiding en Hoofdstuk 2 zijn voor alle werkgevers van belang. In Hoofdstuk 2 wordt aan de hand van een schema uitgelegd hoe het beoordelingstraject verloopt. Dit schema is te vergelijken met een belastingsformulier met diverse ja/nee-vragen en met verwijzing naar hulpmiddelen die bij het beantwoorden van deze vragen kunnen worden gebruikt. Na de eerste stap in het traject, namelijk het nagaan welke werkomgevingen mogelijk van belang zijn, kan het zijn dat de resterende hoofdstukken met details niet gelezen hoeven te worden. In Hoofdstuk 2 is uitgelegd hoe de werkomgevingen in drie categorieën zijn ingedeeld.

Van eenvoudige naar meer ingewikkelde situaties

Werkgevers die alleen werkomgevingen in categorie I hebben, hoeven volgens het schema alleen nog de eventuele afwijkende omstandigheden te beoordelen (Paragraaf 4.5) en zijn dan klaar.

Werkgevers die werkomgevingen in categorie II hebben, moeten de veldsterkte beoordelen en maken daartoe in eerste instantie gebruik van het overzicht van handzame vuistregels (paragraaf 2.5). In sommige specifieke gevallen, die in Hoofdstuk 2 zijn opgesomd, is het van belang om ook de achtergrondinformatie bij die specifieke werkomgevingen in Hoofdstuk 3 door te nemen. Voor dergelijke werkomgevingen zijn bovendien in Hoofdstuk 4 aanvullende rekenregels gegeven die meestal meer kennis en inspanning vergen en waarvoor werkgevers mogelijk deskundige hulp moeten inroepen. Voor deze werkomgevingen bevat Hoofdstuk 5 informatie over beheersmaatregelen.

Werkgevers met werkomgevingen in categorie III moeten de blootstelling beoordelen. Voor hen is de specifieke informatie in de Hoofdstukken 3 tot en met 5 van belang.

Bedrijfseffecten

Hoofdstuk 6 is tot slot een hoofdstuk dat in verband met de implementatie van de richtlijn vooral voor het Ministerie van SZW van belang is. Het bevat een schatting van bedrijfseffecten (administratieve lasten) die met de beoordeling en met het nemen van maatregelen zullen zijn gemoeid.

2 Beoordelingstraject

Zodra de richtlijn is omgezet in nationale wetgeving, dient de werkgever de niveaus van de elektromagnetische velden waaraan werknemers in hun werkomgeving worden blootgesteld, beoordeeld te hebben. Deze beoordeling is onderdeel van de RI&E en dient te gebeuren op basis van geharmoniseerde CENELEC-standaarden. Zolang deze standaarden nog niet beschikbaar zijn, is er enerzijds behoefte aan informatie over de mogelijke blootstelling in vergelijkbare werkomgevingen en anderzijds aan vuistregels en methoden waarmee de beoordeling kan worden uitgevoerd. Dit rapport biedt daartoe een handreiking.

Dit hoofdstuk bevat het voorgestelde beoordelingstraject. Als inleiding op de beschrijving van het traject wordt uiteengezet wat met de term werkomgeving wordt bedoeld. De werkomgevingen zijn in drie categorieën ingedeeld. Vervolgens wordt aan de hand van een schema het beoordelingstraject besproken.

Dit beoordelingstraject is bedoeld als handreiking. Zodra er geharmoniseerde Europese normen van CENELEC beschikbaar zijn, dienen de daarin opgenomen procedures te worden gevolgd.

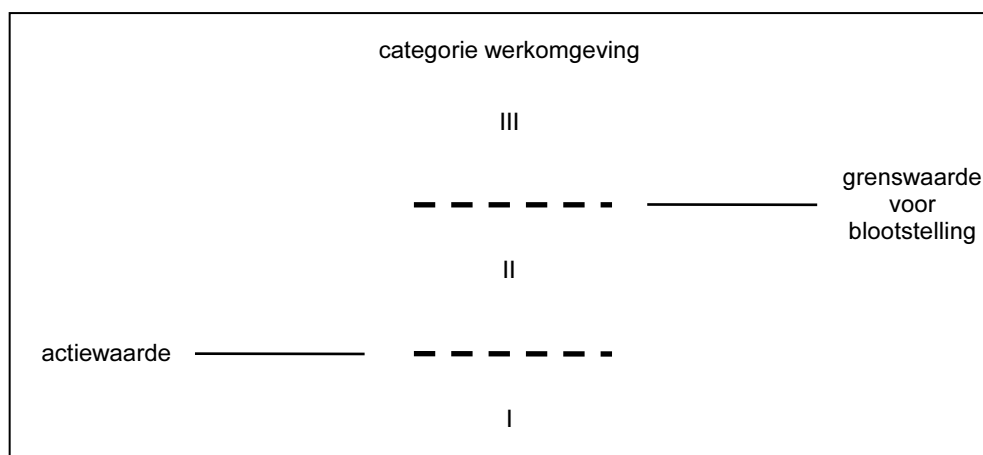
2.1 De term werkomgeving

De blootstelling van de werknemer vindt plaats op de plek waar de werknemer zijn of haar werkzaamheden verricht. De apparatuur op de werkplek in combinatie met de toepassing ervan, wordt in dit rapport aangeduid met de term ‘werkomgeving’. Om een volledige beoordeling te kunnen uitvoeren, moeten van deze werkomgeving de volgende gegevens bekend zijn: het soort apparatuur dat de elektromagnetische velden veroorzaakt, de werkzaamheid van de werknemer en de omstandigheden waarin de apparatuur wordt gebruikt.

2.2 Categorieën werkomgevingen

De werkomgevingen worden ingedeeld in de drie categorieën: zie Figuur 2. Categorie II is verder in twee subcategorieën IIa en IIb ingedeeld. Voor iedere categorie geldt een ander beoordelingstraject. Voor categorie I geldt dat er geen maatregelen genomen hoeven te worden. Voor werkomgevingen in categorie IIa is een lichte inspanning in de vorm van een instructie nodig, bijvoorbeeld afstand houden. Voor categorie IIb zijn technische beheersmaatregelen nodig zoals het afschermen van de bron, het plaatsen van een hekwerk of het aanbrengen van waarschuwingsborden. Categorie III bevat alle werkomgevingen waarvoor uitgebreide beheersmaatregelen nodig zijn, bijvoorbeeld het herinrichten van een fabriek. Voor alle categorieën geldt dat het geven van voorlichting over de richtlijn en de lokale blootstellingsituatie nodig is.

De indeling in de drie categorieën is bedoeld om het beoordelingstraject voor werkgevers te vereenvoudigen. De categorie waarin een werkomgeving is ingedeeld, geldt als het vertrekpunt van het beoordelingstraject (zie paragraaf 2.4). Door vooraf te identificeren in welke categorie een werkomgeving valt, hoeven niet alle werkomgevingen te worden onderworpen aan dezelfde, uitgebreide beoordeling in het kader van de RI&E.



Figuur 2 Toetsing aan actiewaarden en grenswaarden leidt tot de indeling van werkomgevingen in drie categorieën.

2.3 Overzicht van werkomgevingen

In deze paragraaf zijn overzichten opgenomen van werkomgevingen ingedeeld naar de drie categorieën: zie Tabel 1 t/m Tabel 4. Er is bij de indeling in categorieën geen rekening gehouden met de aanwezige extra voorziening om de blootstelling te beperken. Allereerst zijn in Tabel 1 (groen) die werkomgevingen opgesomd waarvan *a priori* kan worden aangenomen dat actiewaarden niet worden overschreden. Tabel 2 (groen), Tabel 3 (geel/oranje) en Tabel 4 (rood) noemen achtereenvolgens werkomgevingen die na de inventarisatie zijn ingedeeld in categorie I, II en III. De tabellen zijn gekleurd volgens het verkeerslicht, al naar gelang de zwaarte van de te nemen beheersmaatregelen: groen: geen; geel: eenvoudige instructie; oranje: technische maatregel; en rood: uitgebreide maatregelen. Tabel 1 en Tabel 2 zijn samengesteld uit informatie verkregen tijdens de internationale *workshop Electromagnetic Fields in the Workplace* in september 2005 in Warschau en uit de CENELEC draft generic standard, versie 6.4 Copenhagen van september 2005.

De bevindingen over de onderzochte apparatuur uit het literatuur- en het praktijkonderzoek (zie paragraaf 3.1) hebben uiteindelijk geleid tot een overzicht van werkomgevingen ingedeeld naar categorieën I, II en III. De werkomgevingen zijn gegroepeerd in apparatuurgroepen. Voor achtergrondinformatie over de indeling van de werkomgevingen in de drie categorieën wordt verwezen naar Hoofdstuk 3. Daarin is de gevolgde methode beschreven en zijn per apparatuurgroep de details gegeven.

Tabel 1 Werkomgevingen waarvan a priori kon worden aangenomen dat actiewaarden niet worden overschreden.

apparatuur en toepassing	
-	kantooromgeving (incl. computerapparatuur, kabelnetwerken, draadloze communicatie-apparatuur; -excl. bandenwissers ofwel <i>tape erasers</i>)
-	handgereedschap met elektrische aandrijving (NEN 60745)
-	verplaatsbaar elektrisch gereedschap met motoraandrijving (NEN 61029) (incl. tuingereedschap)
-	huishoudelijke en soortgelijke elektrische toestellen (NEN 60335) (incl. verplaatsbaar gereedschap voorzien van verwarmingselementen; batterijoplaadtoestellen; toestellen voor ruimteverwarming; stof- en waterzuigers; fornuizen, ovens en kookelementen voor bedrijfsgebruik; verwarmingselementen voor waterbedden; magnetronovens voor bedrijfsgebruik)
-	elektrische installaties - laagspanningsnetwerk < 1000 V - laagspanningscomponenten met een vermogen lager dan 200 kVA - op minstens 60 cm afstand van laagspanningscomponenten met een vermogen niet hoger dan 1000 kVA - vermogenstransformatoren verbonden met laagspanningsnetwerken (<1000 V tussen fasen) met een vermogen tot 200 kVA - op minstens 60 cm afstand van vermogenstransformatoren verbonden met laagspanningsnetwerken (< 1000 V tussen fasen) met een vermogen niet hoger dan 1000 kVA)
-	elektromotoren en elektrische pompen, mits - het vermogen lager is dan 200 kVA - op minstens 60 cm afstand en het vermogen niet hoger dan 1000 kVA
-	meetinstrumenten (excl. niet-destructief magnetisch onderzoek)
-	mobiele telefoons
-	radioapparatuur op batterijen met uitgangsvermogen minder dan 100 mW
-	audio - en videoapparatuur
-	verlichtingsapparatuur (excl. radiofrequente en microgolfverlichting)

Tabel 2 *Werkomgevingen in categorie I.*

groep	apparatuur en toepassing
1	installatie en onderhoud
	- elektrisch handgereedschap (excl. lasapparatuur)
2	artikel- en persoonsdetectie
	- EAS 0,8 - 2,5 GHz (niet-lineaire microgolven)
	- RFID 1 Hz - 500 kHz
	- RFID 2 - 30 MHz (zendvermogen < 2 W en <i>duty cycle</i> < 0,05)
	- RFID 850 - 950 MHz (zendvermogen < 2 W en <i>duty cycle</i> < 0,05)
	- RFID 2,45 en 5,8 GHz (zendvermogen < 2 W en <i>duty cycle</i> < 0,05)
	- handmetaaldetectoren
	- EAS-deactivatoren
4	elektriciteitsproductie en -distributie
	- stroomrails in onderstations
	- bovengrondse hoogspanningslijnen
	- transformatorhuisjes
	- schakel- en verdeelkasten
6	inductieverwarming
	- geautomatiseerde systemen
7	lassen
	- geautomatiseerde systemen
8	medische toepassingen
	- oppervlakkige hyperthermie
	- pijnbestrijding, bevordering botgroei, e.d.
	- couveuse, lampen voor fototherapie, draadloze communicatietoepassingen, e.d.
11	vervoer en tractiesystemen
	- railvervoer op gelijkstroom
	- voertuigen, vaartuigen, vliegtuigen
	- (grote) elektromotoren
12	zendinstallaties
	- straalzenders (kleine, bij GSM-basisstations, < 1 W)
	- telefoons en portofoons
	- radarsystemen (snelheidscontrole, weerradar)
13	overige werkomgevingen
	- inductiekookplaat horeca (voedselbereiding)

Tabel 3 Werkomgevingen in categorie II.

groep	apparatuur en toepassing	
1	installatie en onderhoud	
	- apparatuur die wordt geïnstalleerd of onderhouden	b
	- apparatuur in de omgeving van te onderhouden apparatuur	a/b
2	artikel- en persoonsdetectie	
	- EAS 0,01 - 20 kHz (magnetische)	a
	- EAS 20 - 135 kHz (resonant inductief)	a
	- EAS 1 - 20 MHz (resonant radiofrequent inductief)	a
	- metaaldetectoren	a
	- RFID – systemen (zendvermogen > 2 W of duty cycle > 0,05)	a
3	diëlektrische verwarming	
	- plastic sealers	b
	- houtverlijmers	b
4	elektriciteitsproductie en -distributie	
	- elektriciteitscentrale	b
	- luchtspoelen in condensatorbanken	b
5	elektrochemische processen	
	- systemen voor stroomtoevoer (bus bars)	b
	- elektrolysehal	b
6	inductieverwarming	
	- met open spoelen	b
	- grotere ovens	b
7	lassen	
	- booglassen - kabel	b
	- booglassen - elektrodehouder	a
8	medische toepassingen	
	- MRI - scannen	b
	- korte-golf- en microgolfdiathermie	b
	- diepe hyperthermie	a
	- elektrochirurgie	a
9	microgolfdrogen	
	- toepassing 'open magnetron'	b
10	onderzoekstoepassingen	
	- moeilijk uit te splitsen	a/b
11	vervoer en tractiesystemen	
	- railvervoer op wisselstroom (50 Hz; HSL's)	a
12	zendinstallaties	
	- basisstations mobiele telefonie (GSM, UMTS)	a
	- TETRA-zenders in masten	a
	- TETRA-zenders op voertuigen, vermogen 10 W	a
	- WLL-systemen	a
	- straalzenders	a
	- kleine omroepzenders (op daken)	b
	- amateurzenders	b
	- radarsystemen (lucht- en waterverkeer)	b
13	overige werkomgevingen	
	- bandenwissers (tape erasers)	a
	- radiofrequente en microgolfverlichting	a/b
	- niet-destructief magnetisch onderzoek	b

Tabel 4 Werkomgevingen in categorie III.

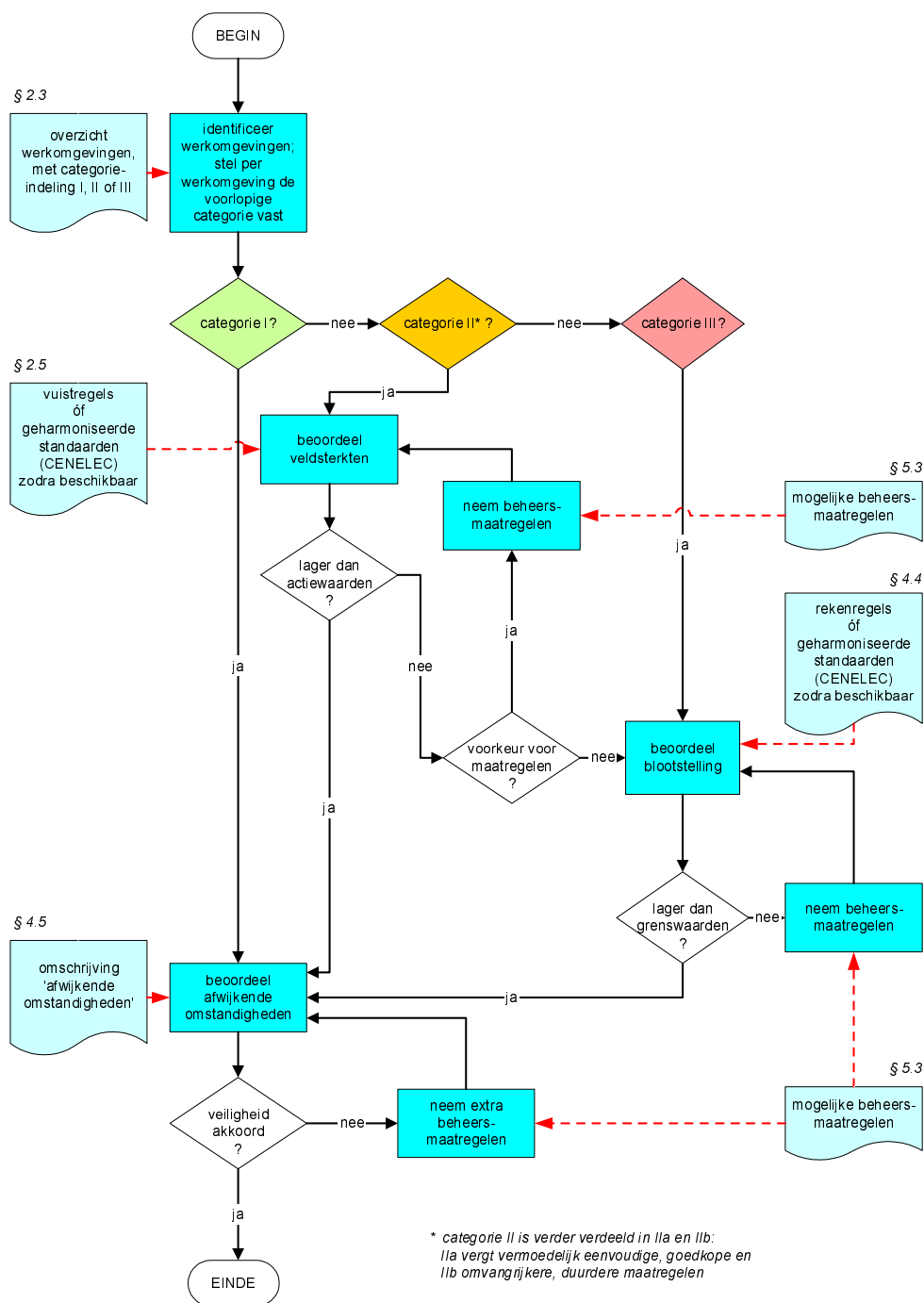
groep	apparatuur en toepassing
1	installatie en onderhoud
	- werkzaamheden in trouble shoot situaties
5	elektrochemische processen
	- gelijkrichterinstallaties
6	inductieverwarming
	- kleinere smeltovens (bijmengen)
7	lassen
	- punt- en inductielassen, half geautomatiseerd
8	medische toepassingen
	- MRI - interventieactiviteiten
12	zendinstallaties
	- grote omroepzenders

2.4 Het traject

Het traject dat een werkgever bij de beoordeling in de zin van de richtlijn kan doorlopen, is schematisch weergegeven in Figuur 3. Dit schema, dat overeenkomsten met het belastingsformulier vertoont, bevat naast een begin en een eind drie soorten symbolen: rechthoeken, ruiten en 'lijsten' (rechthoek met een golvende onderkant). In de rechthoeken staan acties en in de ruiten vragen die met ja (ga verder naar beneden) of nee (ga naar rechts). De 'lijsten' bevatten informatie die voor de uitvoering van de acties in de rechthoeken nodig is. Elke 'lijst' is voorzien van het nummer van de paragraaf in dit rapport waarin de informatie, voor zover reeds beschikbaar, is te vinden.

Het schema dient als volgt te worden toegepast.

1. Neem het overzicht van werkomgevingen (zie Paragraaf 2.3) en zoek daarin de werkomgevingen op die in de te beoordelen arbeidssituaties voorkomen. Neem per werkomgeving als eerste schatting de categorie uit het overzicht over.
2. Ga per werkomgeving van categorie I na of voldaan is aan de omschrijving van 'afwijkende omstandigheden'. Afwijkende omstandigheden kunnen ontstaan bij aanwezigheid van bijvoorbeeld medische apparatuur, medische hulpmiddelen en ontvlambare materialen en bij gelijktijdige blootstelling aan twee of meer bronnen van elektromagnetische velden. Als er sprake is van normale omstandigheden, dan is de veiligheid akkoord en is voor deze werkomgeving geen verdere actie nodig. Als er sprake is van afwijkende omstandigheden, dienen er beheersmaatregelen te worden genomen. Denk bijvoorbeeld aan een waarschuwbord met 'verboden voor werknemers met een pacemaker'. Vervolgens dient opnieuw te worden bekeken of de veiligheid akkoord is; zo ja, dan is voor deze werkomgeving geen verdere actie nodig.



Figuur 3 Schematische weergave van het traject waarmee in de praktijk kan worden beoordeeld of er beheersmaatregelen moeten worden genomen.

3. Ga per werkomgeving van categorie II na of actiewaarden worden overschreden door uitvoering van een eenvoudige berekening met behulp van vuistregels en tabellen (Paragraaf 2.5). Als er geen actiewaarden worden overschreden, dan dienen voor deze werkomgeving nog de afwijkende omstandigheden te worden beoordeeld vergelijkbaar met de gang van zaken bij een werkomgeving van categorie I.
Als er wel actiewaarden worden overschreden, dan dient een keuze te worden gemaakt tussen óf het nemen van beheersmaatregelen (Hoofdstuk 5) om ervoor te zorgen dat de actiewaarden niet meer worden overschreden (waarna de situatie vergelijkbaar is met categorie I) óf het uitvoeren van een nadere analyse om vast te stellen dat de grenswaarden niet worden overschreden (Hoofdstuk 4). Als dat het geval is, dan is de situatie vergelijkbaar met categorie I. Als blijkt dat grenswaarden wel worden overschreden dan moeten beheersmaatregelen worden genomen, vergelijkbaar met de maatregelen voor werkomgevingen in categorie III.
Als de werkgever kiest voor het nemen van beheersmaatregelen om ervoor te zorgen dat de actiewaarden niet meer worden overschreden, dan kunnen dit eenvoudige (categorie IIa; bijv. een gebruiksaanwijzing) of omvangrijke (categorie IIb: afzettingen of apparatuuraanpassingen) maatregelen zijn.
4. Voer per werkomgeving van categorie III een nadere analyse uit door uitgebreide berekeningen uit te voeren waaruit blijkt of grenswaarden worden overschreden. Mogelijk moeten deze berekeningen met metingen worden ondersteund. Als grenswaarden niet worden overschreden, dan is de situatie vergelijkbaar met categorie I. Als grenswaarden wel worden overschreden, moeten beheersmaatregelen worden genomen.

Bij het nemen van beheersmaatregelen wordt rekening gehouden met de stand der techniek en de mogelijkheden om het risico aan de bron te beheersen, vooral met inachtneming van:

- alternatieve werkmethoden die leiden tot minder blootstelling;
- de keuze van arbeidsmiddelen die minder elektromagnetische velden uitzenden;
- technische maatregelen om de emissie van elektromagnetische velden te beperken, waar nodig ook door het gebruik van blokkering, afscherming of soortgelijke mechanismen;
- passende onderhoudsprogramma's voor de arbeidsmiddelen en de werkplek;
- het ontwerp en de indeling van de werkplek;
- beperking van de duur en intensiteit van de blootstelling; en
- de beschikbaarheid van doeltreffende persoonlijke beschermingsmiddelen.

2.5 Overzicht van vuistregels en maatregelen voor categorie II

Voor de werkomgevingen in categorie II is in deze paragraaf samengevat welke vuistregels kunnen worden toegepast om te beoordelen of actiewaarden worden overschreden. Voor werkomgevingen in categorie I zijn geen vuistregels nodig. Voor werkomgevingen in categorie III is maatwerk nodig en dient elk geval apart te worden bekeken (zie onder andere Hoofdstuk 4). De onderbouwing van de vuistregels is opgenomen in de overeenkomstige paragrafen van Hoofdstuk 3. Meestal zijn er conservatieve overwegingen gevolgd om tot de vuistregels te komen. Men moet zich er dus van bewust zijn dat als niet aan de vuistregel wordt voldaan, niet meteen sprake is van een overschrijding van de actiewaarden of van een onveilige situatie.

CENELEC ontwikkelt geharmoniseerde standaarden voor specifieke werkomgevingen (*workplace standards*). Zodra deze beschikbaar zijn prevaleren deze boven de vuistregels in deze paragraaf.

2.5.1 Installatie en onderhoud

De werkomgevingen van werknemers in de installatiebranche worden vooral gekenmerkt door de diversiteit aan apparatuur waar deze werknemers mee in aanraking kunnen komen. Grote installatiebedrijven hebben te maken met vrijwel alle andere genoemde apparatuurgroepen en kunnen de vuistregels vinden bij die apparatuurgroepen. Vooral de apparatuur waar de werknemer (toevallig) bij in de buurt kan komen, verdient nadere aandacht. Mogelijk dat met de nodige scholing of voorlichtingsmateriaal kan worden voorkomen dat installatie- en onderhoudswerkzaamheden gebieden betreden waar actiewaarden worden overschreden.

2.5.2 Artikel- en persoonsdetectie

Voor anti-diefstalpoortjes (EAS-systemen) geldt dat er een grote diversiteit aan mogelijke apparatuur bestaat, die bovendien op de specifieke situatie van de winkel of museum is afgestemd. De veldsterkten lopen sterk uiteen. Als vuistregel kan worden gehanteerd dat de actiewaarden op meer dan 1 m afstand van de poortjes niet worden overschreden.

Voor de poorten die bijvoorbeeld op vliegvelden en in horecagelegenheden worden gebruikt om metalen voorwerpen te detecteren, geldt dat actiewaarden niet worden overschreden als werknemers buiten de doorgang blijven en niet tegen de behuizing van de poorten leunen.

2.5.3 Diëlektrische verwarming

Voor apparatuur voor plastic- of kunststoflassen en voor het verlijmen van hout zijn geen vuistregels voorhanden. Binnen de bedieningsafstand van deze apparatuur komen kortstondig velden voor die hoger zijn dan de actiewaarden. De blootstelling is niet permanent en er moet een middeling over zes minuten worden uitgevoerd over de SAR. Als het aanbrengen van afscherming in de praktijk niet mogelijk blijkt te zijn en de tijdsduur niet beperkt kan worden, dan is het aan te raden een afstand aan te houden die uit een eenvoudige meting kan worden afgeleid.

2.5.4 Elektriciteitsproductie en -distributie

In energiecentrales kunnen actiewaarden worden overschreden bij generatoren, transformatoren, gelijkrichters en stroomgeleiders. Om te bepalen waar afzettingen geplaatst moeten worden, dient er gemeten te worden.

In sommige onderstations bevinden zich condensatorbanken met luchtspoelen. Tot op 2 tot 5 m van deze luchtspoelen worden de actiewaarden voor het magnetische veld overschreden. Met eenvoudige meetapparatuur is vast te stellen waar de hekken geplaatst moeten worden om te voorkomen dat werknemers de gebieden met overschrijdingen kunnen betreden.

2.5.5 Elektrochemische processen

Dicht bij systemen voor stroomtoevoer (*bus bars*) kunnen actiewaarden worden overschreden. Het betreft dan meestal gelijkstroom met enkele procenten wisselstroom (rimpel) die na gelijkrichting overblijft. Het gelijkrichtingsproces leidt ook tot hogere harmonische bijdragen, die volgens de sommatieregel moeten worden opgeteld (zie Bijlage 1). Omdat de frequenties lager zijn dan 100 kHz, is het niet toegestaan de gemiddelde blootstelling, waarbij de verblijftijd van de werknemer in rekening wordt gebracht, te toetsen aan de actiewaarde. Tabel 5 geeft voor drie frequenties en voor vier (gelijk)stroomsterktes I de afstand r tot een enkelvoudige stroomvoerende draad waarop de frequentieafhankelijke (uitgedrukt in Hz) actiewaarde voor de magnetische fluxdichtheid (in μT) wordt bereikt. In deze berekeningen is de (conservatieve) aanname gemaakt dat de wisselstroomrimpel niet meer dan 10% bedraagt.

Voor bijvoorbeeld een elektrolysehal, waar zich meerdere stroomgeleiders op diverse afstanden tot de werknemer bevinden, is een dergelijke vuistregel niet beschikbaar. Dat geldt ook voor situaties waarin sprake is van een samenstel van draden in een driefasensysteem. In deze situaties is uitvoeren van metingen of berekeningen met computermodellen nodig.

Tabel 5 *Afstand r tot een eenvoudige bus bar waarop de actiewaarde (magnetische fluxdichtheid) wordt bereikt voor gelijkstroom met de aangegeven sterkte en aannemende dat de wisselstroomrimpel niet meer dan 10% bedraagt.*

stroomsterkte (gelijkstroom) I (A)	300 Hz actiewaarde 250 μ T r (m)	600 Hz actiewaarde 83 μ T r (m)	900 Hz actiewaarde 30,7 μ T r (m)
100	0,02	0,05	0,07
300	0,07	0,14	0,2
1000	0,2	0,5	0,7
3000	0,7	1,4	2,0

2.5.6 Inductieverwarming

In de buurt van inductieverwarmingsapparatuur met open spoelen en in de buurt van inductieovens worden actiewaarden voor het magnetische veld overschreden. Naast de uiteenlopende frequenties en vermogens die worden toegepast, is ook de werkwijze van groot belang. Vaak hoeven op de plaatsen waar de actiewaarden worden overschreden geen werkzaamheden te worden verricht. Voor het bepalen van de afstanden waarbuiten actiewaarden niet worden overschreden, is het, mede door de diversiteit in apparatuur, meestal nodig om (eenvoudige) metingen te doen.

2.5.7 Lassen

Bij booglassen met de hand zijn er twee plaatsen waar actiewaarden kunnen worden overschreden, namelijk dicht bij de kabel en bij de elektrodehouder. Als vuistregel kan worden gehanteerd dat actiewaarden niet worden overschreden als de afstanden tot de kabel uit Tabel 6 worden aangehouden. Als deze afstand niet kan worden aangehouden dient óf uit een meting te volgen dat de actiewaarden niet worden overschreden óf uit een berekening te volgen dat de grenswaarden niet worden overschreden. In ieder geval dient ervoor te worden gezorgd dat de kabel ver blijft van hoofd en ruggengraat (kabel niet over de schouder).

Voor de elektrodehouder blijkt uit de literatuur dat overschrijding van de actiewaarden ter plaatse van de handen en onderarmen voorkomt. Echter, uit diverse berekeningen blijkt dat het niet aannemelijk is dat daardoor de grenswaarden, gebaseerd op stroomdichtheid in het centraal zenuwstelsel, overschreden zullen worden.

Tabel 6 *Afstand tot een enkelvoudige kabel, waarop de actiewaarde (magnetische fluxdichtheid) wordt bereikt voor wisselstroom met de aangegeven sterkte en met twee frequenties.*

stroomsterkte (wisselstroom) I (A)	50 Hz actiewaarde 500 μ T r (m)	100 Hz actiewaarde 250 μ T r (m)
100	0,04	0,08
300	0,12	0,2

2.5.8 Medische toepassingen

MRI

Voor MRI-scanners kan ervan worden uitgegaan dat actiewaarden niet worden overschreden als tijdens het scannen minimaal enkele meters afstand wordt gehouden. Aan deze voorwaarde kan echter niet worden voldaan in *trouble shoot* situaties in de ontwikkel- en productiefase of tijdens de onderhoud- en reparatiefase en ook niet bij intensieve patiëntbegeleiding of tijdens interventiewerkzaamheden.

Diathermie

Voor korte-golf- en microgolfdiathermieapparatuur kunnen de afstanden waarbinnen velden boven de actiewaarden voorkomen, tot 2 m reiken. Door afstand te houden en door de verblijftijd dicht bij de apparatuur te beperken, kan de overschrijding van actiewaarden worden voorkomen. Een nadere precisering van de afstand en de verblijftijd vergt metingen ter plaatse.

Hyperthermie

Op twee locaties in Nederland wordt diepe hyperthermie toegepast. In beide gevallen zijn metingen gedaan. Als vuistregel kan worden aangehouden dat buiten 1 m afstand geen actiewaarden worden overschreden. Als er in voorkomende gevallen dichtbij werkzaamheden moeten worden uitgevoerd, kan overschrijding van actiewaarden worden voorkomen door de verblijftijd te beperken (toepassing van de zes-minutenregel; zie Bijlage 1).

Elektrochirurgie

Bij elektrochirurgie kunnen de handen van de chirurg aan velden boven de actiewaarden worden blootgesteld. Ook kan de toevoerkabel als een open transmissiekabel worden opgevat. De stroomdichtheden kunnen oplopen tot dicht bij de grenswaarde. De afstand tussen kabel en lichaam moet daarom zo groot mogelijk worden gemaakt.

2.5.9 Microgolfdrogen

De enige praktische toepassing met een ‘open magnetron’ in Nederland is de bestrijding van de bonte knaagkever in hout. Zonder voorzorgmaatregelen worden de actiewaarden overschreden. De blootstelling van het bedienend personeel kan eenvoudig worden verminderd door de te bewerken balken in aluminium in te pakken en vervolgens de vermogensdichtheid te monitoren en door afstand te houden als de apparatuur aanstaat.

2.5.10 Onderzoekstoepassingen

De apparatuur die in onderzoeks- en onderwijsinstellingen wordt toegepast, is zeer divers. Over het algemeen kan worden gesteld dat alle apparatuur die in de andere apparatuurgroepen is opgesomd ook in deze instellingen kan voorkomen. Dat betekent dat men in eerste instantie gebruik kan maken van de vuistregels uit die apparatuurgroepen. Echter, het zal zeker voorkomen dat apparatuur in experimentele opstellingen elektromagnetische velden produceert die de actiewaarden overschrijden. Juist vanwege het experimentele karakter is het niet mogelijk om vuistregels te ontwikkelen. Het zal waarschijnlijk noodzakelijk zijn om metingen uit te voeren.

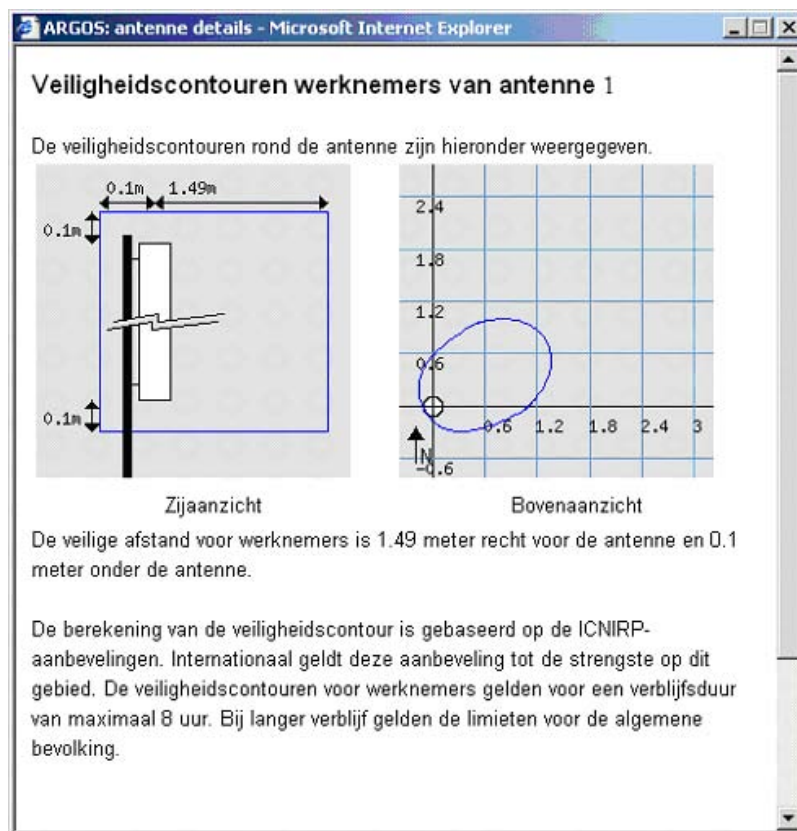
2.5.11 Vervoer en tractiesystemen

Het railvervoer in Nederland werkt voor het grootste deel op gelijkstroomvoeding. De hoge-snelheidslijnen en de Betuwelijn die momenteel worden aangelegd, gaan op wisselstroom (50 Hz) werken. De arbeidssituaties waarin de hoogste velden worden verwacht, zijn bij het schouwen van de bovenleiding (blootstelling van het hoofd) en lopen over spoorstaven (blootstelling van de voeten). Actiewaarden worden vermoedelijk op meer dan 10 cm afstand van de bedrading en de spoorstaven niet overschreden.

2.5.12 Zendinstallaties

GSM/UMTS

Voor geregistreerde GSM- en UMTS-basisstation kan per antenne via het internet in het Antenneregister worden gevonden op welke afstand de actiewaarden niet worden overschreden. In Figuur 4 is een voorbeeld gegeven voor een GSM 900 MHz antenne. De afstanden zijn sterk afhankelijk van de richting waarin de antenne wordt benaderd. Aan de achterkant van de antenne is deze afstand in de orde van tientallen centimeters en aan de voorkant meestal in de orde van meters. Moet men toch dichterbij werkzaamheden verrichten, dan kunnen er maatregelen worden genomen, zoals het verkorten van de blootstellingsduur (zes-minutenregel), verminderen van het zendvermogen of het uitzetten van de antenne.



Figuur 4 Voorbeeld van informatie in het Antenneregister (GSM 900 MHz) over de afstand waarop de actiewaarden worden overschreden (bron: Antenneregister).

WLL

Voor WLL-systemen kan als vuistregel een afstand van 1 m tot de antenne worden aangehouden. Het is van belang dat werknemers de diverse antennesystemen leren herkennen en dan vooral de werknemers die niet aan de antennes zelf werken.

Straalzenders

Voor de kleine straalzenders op antennemasten voor mobiele communicatie geldt, vanwege het geringe vermogen van enkele honderden milliwatts, dat de grenswaarde zelfs in de bundel niet kan worden overschreden. Voor straalzenders met een inputvermogen boven 1 W is de vuistregel van toepassing om buiten de bundel te blijven door niet voor de schotel te gaan staan.

Omroepzenders

Het Agentschap Telecom (AT-EZ) onderscheidt lokale, regionale en landelijke zenders. Lokale zenders produceren maximaal 100 W ERP en zijn bedoeld om een gebied met een straal van ongeveer 5 km te bestrijken. Regionale zenders kunnen zenden met een vermogen tot enkele kilowatts ERP. Lokale zenders staan meestal op daken of in masten, regionale zenders staan op daken, maar ook op antennemasten en –torens en landelijke zenders staan doorgaans in masten en torens. Omroepzenders zijn in dit rapport opgedeeld in kleine en grote omroepzenders. Met kleine omroepzenders worden de lokale en regionale zenders, die op daken staan, bedoeld. Zowel deze kleine zenders als zelfgebouwde zenders van zendamateurs staan opgesteld op gebouwen en worden door hun eenvoudige voorkomen mogelijk, door bijvoorbeeld dakwerkers, niet herkend. Deze zenders zijn bovendien nog niet op de website van het Antenneregister opgenomen. Het is van belang deze te leren herkennen en voor het begin van de werkzaamheden informatie in te winnen of er antennes aanwezig zijn op de werklocatie.

Radar

Door de hoge vermogens van radarsystemen ten behoeve van lucht- en waterverkeer is het mogelijk dat bij vaste radars in de hoofdbundel op honderden meters de actiewaarden overschreden worden. Hoewel bij roterende radars door de *duty cycle* de gemiddelde blootstelling afneemt met enkele honderden of duizenden malen, is het noodzakelijk om bij iedere radar vast te stellen door middel van metingen of berekeningen welke zone door werknemers niet mag worden betreden. Deze zone kan dan bijvoorbeeld worden afgezet of op de grond worden aangegeven.

2.5.13 Overige werkomgevingen

Er zijn bandenwissers (*tape erasers*) in de handel die tijdens het demagnetiseren in de hand worden gehouden en die ter plaatse van de handen overschrijding van actiewaarden veroorzaken. Om te voorkomen dat ook de grenswaarden voor de stroomdichtheid in hoofd en romp worden overschreden, dient de afstand tussen deze bandenwissers en het hoofd en de romp een armlengte te bedragen.

Een andere toepassing in deze groep is het niet-destructief magnetisch onderzoek voor het detecteren van bijvoorbeeld scheuren in ijzeren en stalen materialen. Actiewaarden worden ter plaatse van de handen overschreden maar vermoedelijk ter plaatse van hoofd en romp niet. Er dient ervoor te worden gezorgd dat tijdens het magnetiseren van het materiaal de afstand tussen het apparaat en het hoofd of de romp een armlengte dient te bedragen.

2.5.14 Niet hier genoemde werkomgevingen

Voor de werkomgevingen die in de inventarisatie zijn gemist en ook voor toekomstige werkomgevingen zijn geen vuistregels beschikbaar. Over het algemeen geldt dat deze als categorie II moeten worden behandeld.

DEEL II ACHTERGRONDINFORMATIE

3 Inventarisatie van werkomgevingen

In dit hoofdstuk is samengevat welke gegevens zijn verzameld en hoe deze zijn geanalyseerd om te komen tot het overzicht van werkomgevingen. De werkomgevingen zijn gegroepeerd in apparatuurgroepen. Er wordt ook een link gelegd naar de bedrijfstakken waar deze werkomgevingen voorkomen. In de paragrafen 3.2 en verder worden per apparatuurgroep de resultaten van het onderzoek gepresenteerd die zijn voortgekomen uit het literatuur- en het praktijkonderzoek. Elke paragraaf wordt afgesloten met de conclusies betreffende de indeling van de werkomgeving in één van de drie categorieën.

Bij de beoordeling van resultaten van metingen of berekeningen wordt getoetst aan de actiewaarden en de grenswaarden, waarbij de sommatieregel en de zes-minutenregel worden toegepast (zie Bijlage 1). Als expliciet is aangetoond dat aan de basisrestricties uit de EU-aanbeveling voor leden van de algemene bevolking [5] is voldaan, dan wordt ook aan de grenswaarden uit de richtlijn voldaan.

3.1 Aanpak

3.1.1 Literatuuronderzoek

Bij de inventarisatie van werkomgevingen en ook de methodenontwikkeling is in eerste instantie uitgegaan van reeds beschikbare overzichten [6] en van recente gegevens uit de literatuur. Deze gegevens zijn uiteraard door de onderzoekers nogmaals kritisch bekeken en vergeleken. Het gaat dan om zowel nationale en internationale *peer reviewed* literatuur als ‘grijze’ literatuur van vooral instituten die nauw bij beleidsontwikkeling betrokken zijn en wereldwijd een gedegen reputatie genieten [7]. Ook is informatie uit *proceedings* van recente conferenties en verslagen van workshops verzameld. De literatuur is zoveel mogelijk afkomstig uit de afgelopen tien jaar. Op basis van deze informatie is een overzicht van werkomgevingen opgesteld met per werkomgeving een schatting of actiewaarden en/of grenswaarden mogelijk worden overschreden.

Bij het zoeken naar publicaties in de *peer reviewed* literatuur zijn onder andere de volgende zoektermen gehanteerd: *occupational, exposure, electromagn*, radiation* en *protection*. De publicatie van Kleinjans en Schuurman [6], die als startpunt is gekozen, is uit 1995. Daarom is de zoektocht naar literatuur beperkt tot de periode 1995-2004. Er blijken nogal wat publicaties met betrekking tot blootstelling aan elektrische, magnetische en elektromagnetische velden in Oost-Europa (vooral

Polen en de voormalige Sovjet-Unie) te zijn verschenen. In verband met taalproblemen, verkrijgbaarheid en de beschikbare tijd, zijn deze voorlopig apart gehouden en is het onderzoek beperkt tot publicaties in het Nederlands, Engels, Duits, Frans en Spaans. Van de ongeveer 650 gevonden publicaties, zijn er 150 als relevant geselecteerd en bestudeerd.

Een aantal overzichtsartikelen is gebruikt om te komen tot een indeling aan apparatuurgroepen [8, 9, 10, 11]. Bij de indeling van de werkomgevingen en van apparatuurgroepen is zoveel mogelijk aangesloten op de gangbare arbo-praktijk voor wat betreft de indeling in branches/bedrijfstakken. Dit is ondermeer gebeurd in verband met de inpassing in de RI&E -systematiek (zie Paragraaf 1.3). Om de omvang van de gevolgen (aantallen werkgevers en werknemers) van de implementatie van de richtlijn te kunnen schatten (zie Hoofdstuk 6) is ervoor gekozen om bedrijven in te delen in klassen die in statistische gegevensverzamelingen worden gehanteerd. De Arbeidsinspectie hanteert bij de aanduiding van bedrijven de BIK-code (Bedrijven Informatie Code). Dit is de code waarmee de Kamers van Koophandel de activiteit van bedrijven en instellingen aangeeft. Volgens de website van CBS is de SBI-codering (Standaard Bedrijfsindeling) dezelfde als de door de Kamer van Koophandel gehanteerde BIK-codering [12]. De bedrijven zijn in de SBI-code op het hoogste niveau ingedeeld in 17 bedrijfstakken; twee van deze codes zijn op hun beurt een niveau dieper ingedeeld: C (Winning van delfstoffen) in twee en D (Industrie) in veertien niveaus (zie Bijlage 3).

Er is ook overwogen of een indeling in beroepen van belang is. Hoewel de werknemer (met diens beroep en werkzaamheden) in de beoordeling van de blootstelling aan elektromagnetische velden centraal staat, is gekozen voor de werkgever als centrale ingang. De werkgever is immers verantwoordelijk voor de bescherming en wordt daarop door de overheid aangesproken. Bovendien heeft de werkgever (meestal) zeggenschap over de apparatuur die de velden veroorzaakt. Daarnaast hanteert ook de Arbeidsinspectie een bedrijfstakgerichte aanpak.

3.1.2 Praktijkonderzoek en metingen

In de contacten met het werkveld zijn twee wegen bewandeld. De eerste weg verliep via brancheorganisaties en in mindere mate beroepsverenigingen. De tweede weg verliep rechtstreeks naar bedrijven en instellingen, waarbij dankbaar gebruik is gemaakt van de hulp van leden van de Klankbordgroep. Daarnaast heeft de actie van de metaal-elektro brancheorganisatie FME-CWM richting de vereniging EMC-ESD en via de NEN-site tot diverse vragen uit het veld geleid. De presentaties voor FME-CWM en de installatiebranche UNETO-VNI hebben belangrijk bijgedragen aan de betrokkenheid van het veld [13].

Naast telefonische contacten met het werkveld zijn er een tiental bedrijfsbezoeken afgelegd. Tijdens deze bedrijfsbezoeken zijn situaties ter plaatse bezocht en zijn meetrapporten verkregen of ingezien. Het verkrijgen van relevante meetrapporten bleek niet eenvoudig, vaak om redenen van vertrouwelijkheid. Dit probleem is deels overkomen door bij KEMA een rapportage in te kopen met een samenvatting van de meetrapporten die KEMA in opdracht van derden heeft opgesteld, waarbij KEMA deze bedrijven geanonimiseerd heeft vermeld [14]. Het gaat hierbij niet om EMC-metingen, maar om metingen van hoge veldsterkten op gebruiksafstanden tot de apparatuur. Rapporten met resultaten van EMC-metingen bleken minder goed bruikbaar voor het vaststellen of actiewaarden kunnen worden overschreden. EMC-metingen worden immers op afstanden gedaan die meestal verder weg liggen dan de afstand waarop de werknemer de apparatuur normaal gesproken nadert.

In september 2005 is deelgenomen aan de internationale, wetenschappelijke workshop *Electromagnetic Fields in the Workplace* in Warschau, Polen. Dit was de eerste workshop waarbij de stand van zaken met betrekking tot nagenoeg alle mogelijke werkomgevingen werd besproken. Daar werd een aantal presentaties gehouden over de diverse werkomgevingen die in het voorliggende rapport aan de orde komen. De bevindingen uit de literatuur en het praktijkonderzoek zijn met de diverse buitenlandse deskundigen besproken.

Het is in het praktijkonderzoek niet mogelijk en ook niet nodig om alle bedrijven te betrekken. Bij het selecteren van de bedrijfstakken zijn eerst de bedrijfstakken afgevalen waar de velden zeer waarschijnlijk laag zijn. Ook die bedrijfstakken vallen af waar vrijwel zeker hoge velden voorkomen, maar waar voldoende deskundigheid aanwezig geacht kan worden om de werknemers te beschermen. Bij de overgebleven bedrijfstakken bestaat twijfel over de veldsterkten of over de aanwezige mogelijkheden om een deskundige inschatting te maken.

Samengevat geldt dat in het onderzoek de volgende soorten informatiebronnen zijn geraadpleegd:

- A artikelen uit (internationale) wetenschappelijke literatuur (incl. proefschriften)
- B internationale rapporten
- C nationale rapporten (Gezondheidsraad, universitaire rapporten van bijvoorbeeld een wetenschapswinkel of afstudeerverslagen)
- D meetgegevens van de nationale situatie (TNO, KEMA, EMC-typekeuringen, meetrapporten van bedrijven ...)
- E resultaten van interviews met Nederlandse experts (technicus, arbodeskundige)
- F bevindingen uit bedrijfsbezoeken, waarbij is geïnformeerd naar de blootstellingsniveaus onder normale omstandigheden

3.1.3 Indelingscriteria

In Hoofdstuk 2 is de indeling van de werkomgevingen in drie categorieën genoemd. In deze paragraaf is beschreven hoe in de praktijk is geredeneerd bij het toekennen van een categorie aan een concrete werkomgeving. Hierna worden per categorie de criteria genoemd die in het onderzoek zijn gebruikt om tot een toekenning te komen.

I Werkomgevingen waar actiewaarden in normale omstandigheden waarschijnlijk niet worden overschreden en zeker is dat grenswaarden niet worden overschreden. Voor deze werkomgevingen geldt dat geen nadere beoordeling nodig is om te bepalen of de grenswaarden worden overschreden.

Redenen om een werkomgeving in te delen in categorie I:

- niet-elektrische apparatuur
- apparatuur die niet is ontworpen om elektromagnetische velden te veroorzaken buiten de behuizing en voldoet aan de EMC-eisen.
- apparatuur die alleen statische velden veroorzaakt (alleen 0 Hz¹)
- apparatuur op batterijen anders dan bedoeld om radiofrequente elektromagnetische velden te produceren
- de werkomgeving is ook voor leden van de bevolking toegankelijk én er is voor die werkomgeving al expliciet aangetoond dat er aan de basisrestricties wordt voldaan die in de EU-aanbeveling voor leden van de bevolking zijn gesteld én de omstandigheden voor een werknemer zijn niet anders dan voor een lid van de bevolking (artikel 4.3 van de richtlijn)
- er is binnen de mogelijkheden van dit project in de geraadpleegde informatiebronnen geen enkele aanwijzing gevonden dat in de betreffende werkomgeving actiewaarden worden overschreden
- er is reeds expliciet aangetoond dat de grenswaarden in alle gevallen niet overschreden zullen worden, hoewel de actiewaarden wel overschreden kunnen worden

II Werkomgevingen waar actiewaarden in normale omstandigheden waarschijnlijk worden overschreden, maar waarvoor uit een nadere analyse

¹ Voor statische magnetische velden zijn wel actiewaarden, maar geen grenswaarden gedefinieerd. Dat betekent dat apparatuur die statische velden produceert, om die reden nooit in categorie III kan worden ingedeeld. Als het statische magnetische veld de actiewaarde overschrijdt, dan dient wel aandacht te worden besteed aan bijvoorbeeld het voorkomen van rondvliegend ferromagnetisch materiaal, aan preventie van verstoring van medische implantaten of levensreddende apparatuur en aan het voorkomen van te snelle bewegingen die tot duizeligheid en misselijkheid kunnen leiden.

blijkt dat de grenswaarden waarschijnlijk niet worden overschreden. Voor deze soort werkomgevingen geldt een ‘lichte’ aanvullende beoordeling.

Redenen om een werkomgeving in te delen in categorie II

- apparatuur waarvoor in ieder geval eens of vaker is geconstateerd dat de actiewaarden zijn overschreden en waarvoor nog onduidelijkheid bestaat of de grenswaarden kunnen worden overschreden
- beheersmaatregelen ter reductie van de blootstelling zijn zeer wel mogelijk (afstand, zes-minutenregel, afscherming, bewustwording, opleiding); er moet dan wel worden gecontroleerd of deze beheersmaatregelen aantoonbaar zijn genomen
- apparatuur waarover onzekerheid of onbekendheid bestaat (verouderde ontwerpen, nieuwe in ontwikkeling zijnde apparatuur)
- apparatuur die niet in dit rapport is genoemd

III Werkomgevingen waar actiewaarden in normale omstandigheden zeker worden overschreden en waarvoor uit een nadere analyse blijkt dat de grenswaarden waarschijnlijk ook worden overschreden. Deze werkomgevingen moeten aanvullend worden beoordeeld. Vermoedelijk moeten beheersmaatregelen worden genomen om de blootstelling te verminderen.

Redenen om een werkomgeving in te delen in categorie III

- er is minstens één artikel in de internationale wetenschappelijke literatuur gevonden waarin is aangetoond dat grenswaarden worden overschreden
- er is minstens één artikel in de internationale wetenschappelijke literatuur gevonden waarin is aangetoond dat actiewaarden worden overschreden en het vermoeden bestaat dat ook de grenswaarden worden overschreden
- tijdens het praktijkonderzoek dat het RIVM heeft uitgevoerd, is ‘met eigen ogen gezien’ dat men zich niet bewust is van mogelijke hoge blootstelling

Strikt genomen gelden de hierboven geïntroduceerde indelingscriteria voor apparatuur die nu reeds in gebruik is. Bij apparatuur die in de toekomst nieuw zal worden ontwikkeld en ook bij apparatuur die nu wel al is ontwikkeld maar nog niet op de markt is geïntroduceerd, is de situatie anders. Na een testmeting kan blijken dat actiewaarden worden overschreden. Er zal in een dergelijke situatie óf verder aan de apparatuur moeten worden ontwikkeld om ervoor te zorgen dat de actiewaarden niet kunnen worden overschreden óf er moet uit een berekening of redenering blijken dat de geconstateerde overschrijding van de actiewaarden geen overschrijding van de grenswaarden tot gevolg kán hebben óf de leverancier moet een ‘pakket noodzakelijke beheersmaatregelen ter voorkoming van overschrijding van grenswaarden’ erbij leveren en dit duidelijk in bijvoorbeeld een handleiding of expliciete waarschuwing opnemen. Als één van deze drie mogelijkheden kan

worden gevolgd, kan de apparatuur van de CE-markering worden voorzien en op de markt worden geïntroduceerd. Apparatuur die in de toekomst wordt ontwikkeld, zal initieel in categorie II worden ingedeeld.

De indeling in categorieën geldt alleen voor normale omstandigheden. Daarmee wordt bedoeld dat de apparatuur wordt gebruikt waarvoor deze bedoeld is door personen die goed zijn opgeleid en geïnstrueerd (ook stagiaires en leerlingen).

3.2 Installatie en onderhoud

In de voorgaande paragrafen is voornamelijk aandacht besteed aan de toepassing van apparatuur in normale gebruiksomstandigheden. In Tabel 7 zijn de levensfasen van apparatuur weergegeven. Blootstelling aan elektromagnetische velden kan ook plaatsvinden tijdens de ontwikkeling en het testen van nieuwe apparatuur. Bij het testen wordt de apparatuur meestal extra zwaar belast wat tot hogere velden zou kunnen leiden dan bij normaal gebruik. Ook bij het plegen van onderhoud is het soms niet te vermijden dat de apparatuur aanstaat terwijl een monteur zeer dicht bij de apparatuur werkzaamheden moet uitvoeren.

Tabel 7 Levensfasen van apparatuur die elektromagnetische velden produceert.

	fase / activiteit	soort bedrijf of bedrijfstak	blootgestelde werknemer
1	ontwerpen en ontwikkelen	onderzoekstoepassingen	onderzoeker
2	testen prototype	producent of EMC-testinstelling	tester
3	produceren apparatuur	producent	-
4	installeren	installatiebedrijf i.o.v. toekomstige gebruiker	installatiemedewerker
5	gebruiken	gebruiker	gebruiker
6	onderhoud (incl. <i>trouble shoot</i>)	gebruiker of extern onderhoudsbedrijf	onderhoudsmonteur
7	afvalfase/ tweedehands	schroothandelaar	-

De werkomgevingen van werknemers in de installatiebranche worden vooral gekenmerkt door de diversiteit aan apparatuur waar deze werknemers mee in aanraking kunnen komen. Grote installatiebedrijven hebben te maken met vrijwel alle andere genoemde groepen apparatuur.

Mede gezien deze bijzondere omstandigheden rond de installatiebranche, wordt deze branche apart beschouwd. De apparatuur die elektrische, magnetische of elektromagnetische velden produceert waaraan de werknemer kan worden blootgesteld, wordt hier in drie soorten ingedeeld, namelijk:

- apparatuur die de werknemer zelf hanteert,
- apparatuur die door de werknemer wordt geïnstalleerd of onderhouden, en
- apparatuur waar de werknemer bij in de buurt kan komen.

Ambulante werknemers die op werkplekken werken die niet in eigendom zijn van hun werkgever, zoals onderhoudswerkers en schoonmakers, blijven onder de verantwoordelijkheid van hun werkgever vallen. Deze zal dus afspraken moeten maken met de eigenaar van de werkplekken om zijn werknemers te beschermen tegen blootstelling boven de actiewaarden, bijvoorbeeld door antennes uit te laten schakelen wanneer een dakdekker aan het werk gaat. Het is van belang een gedegen training in omgaan met apparatuur die elektromagnetische velden uitzendt, te volgen, zodat er allerlei praktijkvoorbeelden en gevolgen duidelijk zijn, bijvoorbeeld dat je niet tegen een antenne aan moet gaan staan omdat je daar van teveel zou kunnen opwarmen. Ook is het zinvol om veiligheidsvoorschriften te geven voor omgang met elektrische apparaten, zoals ‘controleer of de machine uitstaat’ en ‘houd minstens 2 m afstand tot de werkbank’.

3.3 Artikel- en persoonsdetectie

Electronic Article Surveillance (EAS) en *Radio Frequency Identification* (RFID) zijn verzamelingen voor het op afstand detecteren en identificeren van gemerkte goederen en levende wezens. Hierbij detecteert een EAS-systeem alleen, terwijl bij een RFID-systeem ook informatie wordt overgebracht. Het derde type detectieapparatuur zijn de metaaldetectoren. Norm EN50357:2001 [15], die is opgesteld naar aanleiding van de EU-aanbeveling, geeft voor deze drie typen detectieapparatuur aan hoe de blootstelling beoordeeld kan worden.

EAS-systemen

EAS-systemen bestaan uit detectiesysteempanelen, labels en deactivatoren. De panelen zijn vaak uitgevoerd als detectiepoortjes bij de uitgang van bijvoorbeeld een winkel, museum of bibliotheek. Ze bestaan uit een veldopwekkend deel, meestal een stroomspoel, die bij lage frequenties een voornamelijk magnetisch detectieveld opwekt, en een veldontvangend deel. Soms is er een ontvangend en een zendend paneel, maar in een paneel kunnen zich ook meerdere, overlappende zendende en ontvangende delen bevinden. De labels zijn veelal passieve - dat wil zeggen zonder eigen energiebron - metalen stripjes of LC-circuits die het opgewekte veld verstoren door een harmonische bijdrage, een resonante puls of een faseverschuiving te veroorzaken. Als het ontvangende paneel deze verstoring waarneemt, gaat het alarm af. Volgens EN50357:2001 wekken de minder gebruikte actieve labels, die een eigen krachtbron hebben, 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. De deactivatoren zijn soms permanente magneten, maar ook wisselstroommagneten worden gebruikt.

Er zijn vier frequentiegebieden waarin EAS-systemen voorkomen deze worden volgens EN50357:2001 ingedeeld in vier groepen:

1. niet-lineair magnetisch (10 Hz – 20 kHz, continue golf op een specifieke frequentie),
2. (pulserend) resonant inductief of akoestomagnetisch (20 – 235 kHz, pulsen op een specifieke frequentie),
3. resonant radiofrequent (1 – 20 MHz, *sweeps* door een frequentieband) en
4. niet-lineaire microgolf (0,8 – 2,5 GHz, pulserende golven).

Voor de eerste drie frequentiegebieden bevindt men zich rond het poortje in het nabijeveld, waar doorgaans het magnetische veld overheerst. De actiewaarde voor elektrische veldsterkte wordt doorgaans niet overschreden [8].

Het vaststellen van de blootstelling is door de complexe signalen met bijdragen van verschillende frequenties en blootstelling in het niet-uniforme veld, niet eenvoudig uit te voeren. Het ICNIRP statement uit 2003 [35] en norm EN50357:2001 geven richtsnoeren voor het beoordelen van de blootstelling bij dergelijke signalen. In ieder geval is het bij niet-sinusvormige golven zoals pulserende golven van belang niet alleen de RMS-waarde te testen tegen de actiewaarde, maar ook de piekwaarde van een puls te testen tegen de piekactiewaarde². Over het algemeen geldt dat bij niet-uniforme blootstelling de actiewaarden conservatief zijn, en een overschrijding van de actiewaarden vaak niet leidt tot overschrijding van de grenswaarden [2].

Uit diverse metingen aan EAS-systemen blijkt dat de blootstelling binnen de poortjes in de buurt van de actiewaarden komt, maar ze worden ook overschreden. Voor niet-lineair magnetische systemen worden tegen het zendpaneel veldsterktes van zeven tot twaalf maal de actiewaarden gemeten, en in het midden tot ongeveer zeven maal [16]. Echter, uit andere metingen blijkt tussen de poortjes een piekveldsterkte van 30 tot 110% van de piekactiewaarden voor te komen [9]. Voor bibliotheek-uitleensystemen werden overschrijding tot 1,3 maal de actiewaarden gevonden op 10 cm [10]. Voor resonant inductieve systemen werden tegen het zendpaneel veldsterktes van 0,1 tot 1,1 maal van de actiewaarden gemeten en tussen de poortjes tot de actiewaarden [16]. Echter, bij andere typen poortjes bleken piekveldsterktes tot 150% van de piekactiewaarden voor te komen [9]. Voor resonant radiofrequente systemen werden tegen het zendpaneel veldsterktes van 1,2 tot maximaal vijf maal de actiewaarden gemeten [16, 8] en tussen de

² Voor frequenties tot 100 kHz kunnen de piekactiewaarden berekend worden door de actiewaarden te vermenigvuldigen met $\sqrt{2}$.

poortjes tot 1,3 maal de actiewaarde. Voor microgolfsystemen zijn geen overschrijdingen van de actiewaarden gevonden [16]. Voor deactivatoren zijn op afstanden van 3-5 cm, dus bij de handen, veldsterktes van 1,8 tot 10 maal de actiewaarden gemeten [9, 17].

Uit een conservatieve, numerieke dosimetrische analyse van de blootstelling voor de door NRPB geteste systemen bleek dat de grenswaarden niet overschreden werden [8]. Gandhi en Kang [18] berekenden in 2001 met de weerstandsmethode de stroomdichtheden in verschillende organen. Ze gebruikten hiervoor een model van een fictief EAS-systeem dat werkt met een stroom in twee spoelen van 100 A en een frequentie van 30 kHz. Ze berekenden dat voor dit inhomogeen veld de maximale blootstelling 280 μT bedraagt op de positie van doorlopen. Dat is een overschrijding met een factor 10 van de actiewaarde van 30,7 μT . Ze berekenden dat de maximale stroomdichtheid in het centraal zenuwstelsel bij een volwassen man in de hersenen 17,63 mA/m^2 en in de ruggengraat 32,64 mA/m^2 bedraagt. Beide stroomdichtheden blijven onder de grenswaarde van 300 mA/m^2 . Voor een model van een *tag-deactivator* werkend op 1 kHz zijn de maximale stroomdichtheden 0,48 mA/m^2 in de hersenen en 0,23 A/m^2 in de ruggengraat, dus beide onder de grenswaarden van 10 mA/m^2 . Uit het praktijkonderzoek is gebleken dat er ook berekeningen zijn gedaan van de te verwachten stroomdichtheid voor diverse typen EAS-systemen van Nederlandse makelij. Hierbij is vastgesteld dat voor een 8,2 MHz deactivator met *duty cycle* 0,01 en 15 A *bursts* de maximale waarden voor de hersenen en ruggengraat op 85 cm hoogte en 35 cm van het centrum van de spoel minder dan 0,5% en 2,5% van de grenswaarde van 82000 mA/m^2 bedragen. Ook de SAR-waarden worden niet overschreden, terwijl de actiewaarden met een factor van enkele tientallen malen wordt overschreden. Gandhi berekende met de weerstandsmethode voor het EAS-systeem met OID45 antenne van NEDAP dat zendt met een frequentie van 8,2 MHz en bestaat uit een poortje van twee panelen met een zendpaneel bestaande uit twee spoelen die beide een stroom van 0,1 A RMS voeren, de stroomdichtheid en de SAR voor een mensmodel op 20 cm van het zendpaneel. Gandhi vond dat de maximale stroomdichtheid minder dan 7% van de grenswaarde bedraagt en de maximale SAR minder dan 0,002% van de grenswaarde, bij een maximale blootstelling aan een niet-uniform magnetisch veld van minder dan 82% van de actiewaarde [19]. Hiermee valt deze specifieke applicatie NEDAP EAS OID 8,2 MHz in categorie I.

Uit bovenstaande metingen blijkt dat voor diverse anti-diefstalpoortjes van het niet-lineair magnetisch, het resonant inductieve en het radiofrequent inductieve type overschrijdingen van de actiewaarden worden gemeten. Bij de poortjes in de laagste frequentieband, de niet-lineair magnetische werd de hoogste relatieve overschrijding van de actiewaarden gemeten. Uit berekeningen van de geïnduceerde stroomdichtheid in het centraal zenuwstelsel blijkt dat er bij een inhomogeen veld met een maximaal gemeten veldsterkte van tien maal de

actiewaarde, geen overschrijdingen van de grenswaarden voorkomen. Blootstelling in arbeidssituaties aan deze drie systemen is te voorkomen door niet tegen de panelen en antennes van de systemen te leunen. Als vuistregel geldt een afstand van 1 m aanhouden [20]. Deze apparatuur valt in categorie IIa omdat er ondanks een overschrijding van de actiewaarden geen overschrijding van de grenswaarden is geconstateerd. Daarnaast zijn er eenvoudige maatregelen te treffen.

Voor niet-lineaire microgolfsystemen zijn geen overschrijdingen van de actiewaarden bekend, en ook niet van de grenswaarde. Hiermee valt deze applicatie in categorie I. Echter, het aantal gepubliceerde metingen is beperkt, dus ook hier is het raadzaam een meter afstand te bewaren.

Velden van deactivatoren blijken weliswaar op de positie van handen en armen de actiewaarden te kunnen overschrijden, maar ook hier geldt dat door de afstand tot de torso dit niet tot overschrijding van de grenswaarden leidt. Deactivatoren vallen hiermee in categorie I.

Metaaldetectoren

Er zijn twee soorten metaaldetectoren: handdetectoren en poortdetectoren. De werking is in grote lijnen hetzelfde als bij EAS-systemen. Er wordt een continu of pulserend magnetisch veld uitgezonden waarop door metalen voorwerpen binnen de detectiezone een verstoring wordt gegenereerd. Door het uitgezonden veld ontstaat in het metalen voorwerp een wervelstroom die een tegengesteld gericht veld opwekt. Deze verstoring wordt vervolgens gemeten. Metaaldetectoren worden gebruikt bij de beveiliging van bijvoorbeeld vliegvelden en horecagelegenheden en bij bodemonderzoek.

De signalen voor poortdetectoren zijn continue sinusvormige signalen op een of meer frequenties (630 Hz – 7,375 kHz) of laagfrequente, pulserende golven tussen 89 en 909 Hz. Handdetectoren werken doorgaans met ongemoduleerde sinusvormige signalen tussen 13 kHz en 1,9 MHz [21].

Hietanen *et al.* [9] merken op dat voor handdetectoren vlak bij het oppervlak overschrijdingen van de actiewaarden mogelijk zijn, maar de publicatie bevat geen meetresultaten. Boivin *et al.* [22] hebben zowel aan hand- als poortmetaaldetectoren gemeten. Ze vonden voor negen handdetectoren, werkend op een enkele frequentie tussen 94,8 en 132,9 kHz, op 5 cm maxima voor de RMS-waarden van het magnetische veld tussen 1,06 en 2,41 A/m. De laagste actiewaarde in het frequentiegebied van 12,1 A/m werd dus niet overschreden. De tien poortjes werken met gepulste en gemoduleerde signalen met equivalente frequenties van 0,1 - 3,5 kHz. Voor een systeem op 3,5 kHz werd een veldsterkte van 125% van de actiewaarde gemeten en voor een systeem op 0,2 kHz van een

veldsterkte van 106% van de actiewaarde. NRPB [8] heeft voor handdetectoren op 20 en 94 kHz geen overschrijdingen van de actiewaarden gemeten. Voor een poortdetector berekende NRPB de bijdragen van alle frequentiecomponenten (hoogste piek amplitude bij 1 kHz) volgens de sommatieregel en kwam uit op blootstellingsfactoren die de limiet van 1 niet overschreden: respectievelijk 0,69 en 0,40.

Voor handdetectoren zijn geen veldsterkten bekend van meer dan 25% van de actiewaarden. Deze vallen in categorie I.

Voor poortdetectoren zijn in enkele gevallen veldsterktes tot 125% van de actiewaarden in de poort gemeten. Doorgaans blijft de veldsterkte onder de actiewaarden. Aangezien de blootstelling in het niet-uniforme nabijeveld plaatsvindt, is het aannemelijk dat net als bij de EAS-systemen op deze frequentie, de grenswaarden niet overschreden zullen worden. Poortdetectoren vallen in categorie IIa. Een vuistregel om blootstelling boven de actiewaarden te voorkomen is om er enige afstand van te houden, dus in ieder geval niet in de doorgang of tegen de poort aan te gaan staan.

RFID-systemen

RFID-systemen detecteren niet alleen een verstoring zoals EAS-systemen, maar detecteren 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 respons naar de ontvanger. Soms zijn de zender en ontvanger in een onderdeel samengebracht, zoals bij in de hand gehouden afleesapparatuur. Toepassingen voor RFID-systemen zijn er bijvoorbeeld voor tolpoorten op de autowegen, toegangspoortjes, voorraadbeheer, het labellen van artikelen in winkels en het volgen van goederen zoals koffers, vlees en containers op transport. Ook het implanteren van buisjes met een chip in huisdieren vindt navolging bij mensen. Op deze manier kunnen medische dossiers en toegangsgegevens in mensen worden opgeslagen. De RFID-systemen kunnen werken met vast opgestelde antennes, met mobiele en ook met handaflezers.

Tabel 8 laat zien dat afhankelijk van de hoeveelheid over te dragen informatie en de vereiste leessnelheid, RFID-systemen op verschillende frequenties werken. Hoe meer de informatie of hoe hoger de leessnelheid, des te groter de bandbreedte. De Nederlandse werkgroep RFID-verpakkingsnormen streeft ernaar eind 2008 een standaard te hebben ontwikkeld [23]. RFID-systemen zijn nog volop in ontwikkeling en ook de hoeveelheid toepassingen neemt toe [24].

Tabel 8 *RFID-systemen en hun typische frequenties (overgenomen uit norm NEN-EN 50357:2001 [15]).*

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

De vermogens variëren voor korte-afstandtoepassingen zoals toegangspaslezers tussen 100 mW en 2 W [21]. Voor tolpoorten waarbij de afstand tussen de RFID-chip en de aflezer groter is, zullen doorgaans ook hogere vermogens worden gebruikt. Als grenswaarde geldt voor blootstellingen boven 100 kHz een lokale (hoofd en romp) SAR van 10 W/kg. Via een eenvoudige, conservatieve berekening kan de blootstelling beoordeeld worden.

Het volgende rekenvoorbeeld geeft aan wanneer de grenswaarde voor opwarming overschreden kan worden. Stel dat alle energie die door een RFID-apparaat wordt uitgezonden in 10 gram kubusvormig weefsel van het hoofd of de romp wordt opgenomen. Dan mag die 10 gram weefsel gemiddeld over een willekeurige periode van zes minuten niet meer dan 10 W/kg opnemen. De kubus mag dus $10 \text{ W/kg} \cdot 0,01 \text{ kg} = 100 \text{ mW}$ opnemen. Dus iedere antenne die gemiddeld over 6 minuten minder dan 100 mW uitstraalt kan geen aanleiding geven tot overschrijding van de grenswaarde. Dat betekent dat de blootstelling door een apparaat dat een maximaal zendvermogen van 2 W heeft, één twintigste van zes minuten, dus 18 seconden mag duren ($2 \text{ W}/20 = 100 \text{ mW}$). Let wel, deze berekening is erg conservatief. Doorgaans zal de energie door veel meer dan 10 g weefsel worden geabsorbeerd en zal niet alle uitgezonden energie door het lichaam worden geabsorbeerd.

ICNIRP merkte in 2004 op dat er weinig meetresultaten bekend zijn van blootstelling aan RFID-systemen [21]. Polichetti en Vecchia [25] hebben metingen aan vier typen paslezers (*proximity detectors*) gedaan. Alle vier gebruikten 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 niet tot een overschrijding van de actiewaarde van 13,3 A/m leidt. NRPB [8] constateerde bij een kaartlezer

(120 kHz, 7,5 cm afstand) een veldsterkte van 1,2 maal de actiewaarde, bij een RFID-antenne (134 kHz, 2,5 cm) een veldsterkte van 1,7 maal de actiewaarde en bij een kaartlezer (4,9 MHz, 2,5 cm) een veldsterkte van 4 maal de actiewaarde. Echter, uit een numerieke analyse door NRPB blijkt zowel voor de SAR als voor de stroomdichtheid in het centraal zenuwstelsel geen overschrijding van de grenswaarden.

Uit berekeningen aan twee in Nederland geproduceerde paslezers werkend op 120 kHz, blijkt op de normale leesafstand van 20 cm de fluxdichtheid minder dan 40% van de actiewaarde van 16,7 μT te bedragen. De blootstelling bedroeg minder dan 1% van de grenswaarde van 1200 mA/m^2 . Ook voor een bibliotheekstelsel werkend op 13,56 MHz bleek de SAR tot 3% van de grenswaarde van 10 W/kg voor hoofd en romp te bedragen.

RFID-systemen zijn nog volop in ontwikkeling en er zijn weinig metingen van gepubliceerd. Wel blijkt uit de hier besproken berekeningen dat de grenswaarde voor stroomdichtheid in het centraal zenuwstelsel niet worden overschreden. Bij frequenties onder 10 MHz zoals bij kaartlezers is het niet waarschijnlijk dat de grenswaarde voor de stroomdichtheid overschreden zal worden. Bij frequenties boven 100 kHz en vermogens tot 2 W is het niet waarschijnlijk dat de grenswaarde voor opwarming de SAR overschreden zal worden. Bij hogere vermogens dan 2 W moet met toepassing van de zes-minutenregel bepaald worden of de grenswaarden zouden kunnen worden overschreden (zie Bijlage 1). Dit vergt doorgaans enige eenvoudige berekeningen met behulp van vuistregels.

RFID-systemen tot 500 kHz vallen in categorie I. RFID-systemen met een vermogen tot 2 W, frequenties boven 100 kHz en een maximale blootstelduur van 18 seconden per zes minuten ofwel een *duty cycle* van 0,05 vallen in categorie I. RFID-systemen met een hoger vermogen of een langere *duty cycle* vergen, zoals bij antennes van zenders, een berekening. Deze systemen vallen daarmee in categorie IIa.

3.4 Diëlektrische verwarming

Diëlektrische, capacitieve of radiofrequente (RF) verwarming is de naam voor het proces waarbij warmte wordt toegevoerd aan een niet-metalen voorwerp door het tussen twee condensatorelektroden, vaak in de vorm van platen, te plaatsen. Diëlektrische verwarming wordt toegepast bij het verlijmen en drogen van hout, het drogen van diverse stoffen zoals tabak, keramiek, leer, vezels en papier, het vervaardigen van plastic en rubberen producten en in het verwerken van levensmiddelen. Bij kunststofvervaardiging en bewerking worden zogenaamde RF *plastic sealers* gebruikt en spreekt men wel van plastic- of kunststoflassen. De bedrijfstakken die capacitieve verwarming gebruiken zijn onderdeel van de

industrie (D): vervaardiging van meubels (DN), houtindustrie en vervaardigen van artikelen van hout, kurk, riet en vlechtwerk (geen meubels) (DD) en vervaardiging van producten van rubber en kunststof (DH).

Er worden verschillende frequenties gebruikt in de band van 10 tot 110 MHz. Typisch gebruikte frequenties zijn 13,56 MHz, 27,12 MHz en 40,68 MHz. De eerste twee frequenties zijn *Industrial, Scientific and Medical* (ISM) frequenties [26]. De actiewaarden bedragen bij deze frequenties 61 V/m en 0,16 A/m. Bij frequenties van 10 - 110 MHz verkeert de operator in het nabije veld en maakt dus impliciet deel uit van het zendsysteem. De actiewaarden zijn opgesteld voor het uniforme veld, terwijl de bedieningsplek voor diëlektrische apparatuur doorgaans in het niet-uniforme nabije veld is gelegen. Metingen moeten dus volgens een protocol worden uitgevoerd, gevolgd door een berekening of redenering of de grenswaarden in die situatie worden overschreden. ILO [27] noemt enkele methoden, zie ook Paragraaf 4.4.2 voor een voorbeeldredenering gebaseerd op informatie uit een HSE document [11]. Het volstaat in ieder geval niet om alleen op één bedieningspositie te meten, maar ook in een halve meter eromheen omdat een kleine verplaatsing blootstelling aan een andere veldsterkte kan opleveren. Ook is de mate waarin energie kan worden opgenomen afhankelijk van de stromen die door het lichaam gaan lopen. Het kan voorkomen dat een operator aan een werkbank de elektrodes of het kunststof werkstuk beet houdt. Wanneer een operator staat, bedient deze vaak een pers, waarbij aan de platen van de pers de condensatoren zitten (Figuur 5). Dan zal het hele lichaam blootgesteld worden, wat leidt tot inductiestromen door ondermeer de enkel. Er bestaan technieken om deze stromen door de enkel en de polsen direct te meten [11]. Deze stromen zijn hoger wanneer de operator aan de werkbank zit en dan doorgaans het werkstuk vasthoudt. Echter, voor het laatste geval zijn de handen vaak weer aan hogere veldsterktes blootgesteld [28].

Kleinjans en Schuurman [6] geven getallen van buitenlandse metingen uit 1993 waarbij het magnetische veld regelmatig enige malen de actiewaarde bedraagt (tot 478%). De elektrische veldsterkte varieert bij de bedieningspositie typisch van 10 tot 300 V/m en de magnetische veldsterkte tussen 0,1 en 20 A/m [9]. Gandhi heeft in 1988 en 1997 [29, 30] berekeningen gedaan waaruit blijkt dat werknemers een verhoging van de lichaams-SAR krijgen bij bepaalde posities van de handen tussen de condensatorplaten. Jokela en Puranen [31] merken op dat apparatuur voor diëlektrische verwarming het belangrijkste radiofrequente veiligheidsprobleem in de werkomgeving is. Zij maten ook piekwaarden van 1 kV/m en een geïnduceerde stroom van 600 mA; ze constateerden dat 194 V/m en 100 mA niet ongebruikelijk zijn. Er blijkt uit berekeningen dat bij 100 mA een lokale SAR van 20 W/kg voorkomt en de lichaams-SAR varieert van 0,12 tot 2 W/kg. Dit is een overschrijding van de grenswaarde van 0,4 W/kg [9, 31, 32, 33].

Ondanks dat de apparatuur veldsterkten boven de actiewaarden kan afgeven, is een gemiddelde blootstellingsduur van materiaal ongeveer 2-3 seconden op een handeling van 30 seconden voor kunststoflassen en 1 minuut op een verwarmingscyclus van 6 minuten voor het verlijmen van hout [27], zodat na toepassing van de zes-minutenregel (zie Bijlage 1), de gemiddelde blootstelling niet per se boven de actiewaarden, laat staan de grenswaarden, uit hoeft te komen als de werknemer niet volcontinu aan de werkbank staat. Dat de blootstelling door middeling van de kwadratische veldsterkte niet boven de actiewaarde hoeft te komen, werd bevestigd tijdens een bezoek aan een Nederlandse producent. Daarnaast zijn er doorgaans maatregelen doorgevoerd, of eenvoudig door te voeren om de veldsterkte te beperken, zoals afscherming van de persen, het aanbrengen van een markering op de grond om een gebied af te bakenen, of het plaatsen van het bedieningspaneel op meer dan 2 m van de persen en vele andere mogelijkheden [27, 34].

Een Nederlands bedrijf produceert, onderhoudt en renoveert RF-apparatuur die doorgaans werkt op 3 MHz - 70 MHz met vermogens van 1 - 80 kW. Uit hun geanonimiseerde meetrapporten over deze situatie blijkt dat de maximale elektrische veldsterkten de actiewaarden overschrijden. Echter, doordat bij velden met een frequentie hoger dan 100 kHz de zes-minutenregel mag worden toegepast, wordt de operator bij zijn normale verblijfsduur gemiddeld aan een veldsterkte onder de actiewaarden blootgesteld. Er moet bij frequenties tot 10 MHz ook gekeken worden of de stroomdichtheid in het centraal zenuwstelsel niet boven de grenswaarde komt, hierbij mag de zes-minutenregel niet worden toegepast alvorens te toetsen aan de actiewaarden.

Bij beschadiging van de afscherming, een breuk in de stroomgeleider of een defecte aardverbinding kan de blootstelling wel oplopen boven de actiewaarden. Daarnaast wordt soms bij het vastlopen van de machines de afscherming verwijderd om makkelijker bij mechanische onderdelen te kunnen komen, bijvoorbeeld bij houtverwerkingsmachines. Uit het praktijkonderzoek is gebleken dat men wel eens bedrijven, waar nuttig, aanraadt om bij het jaarlijks onderhoud ook de elektromagnetische velden te laten meten. Van de circa 300 gebruikers in Nederland van circa 500 hoogfrequente verwarmingsapparaten worden bij 40 gebruikers regelmatig metingen uitgevoerd. De machines zijn robuust en gaan vaak tientallen jaren mee zonder defect raken, waardoor jaarlijks onderhoud door klanten meestal als overbodig wordt gezien.

Diëlektrische apparatuur wordt in categorie IIb geplaatst, omdat geconstateerd is dat er bij onregelmatig onderhoud, bij onzorgvuldige maar ook bij normale bedrijfsvoering blootstelling boven de actiewaarden kan voorkomen. Bij deze apparatuur zijn maatregelen ter bescherming en onderhoud voorhanden.



Figuur 5 Diëlektrische pers voor kunststoflassen.

3.5 Elektriciteitsproductie en -distributie

De elektriciteitsproductie en -distributie omvatten een veelheid aan apparatuur die op 50 Hz werkt. Bij deze lage frequentie dienen het elektrische en het magnetische veld afzonderlijk te worden beschouwd. Het elektrische veld is goed af te schermen, terwijl het magnetische veld van deze frequentie vrijwel niet is af te schermen.

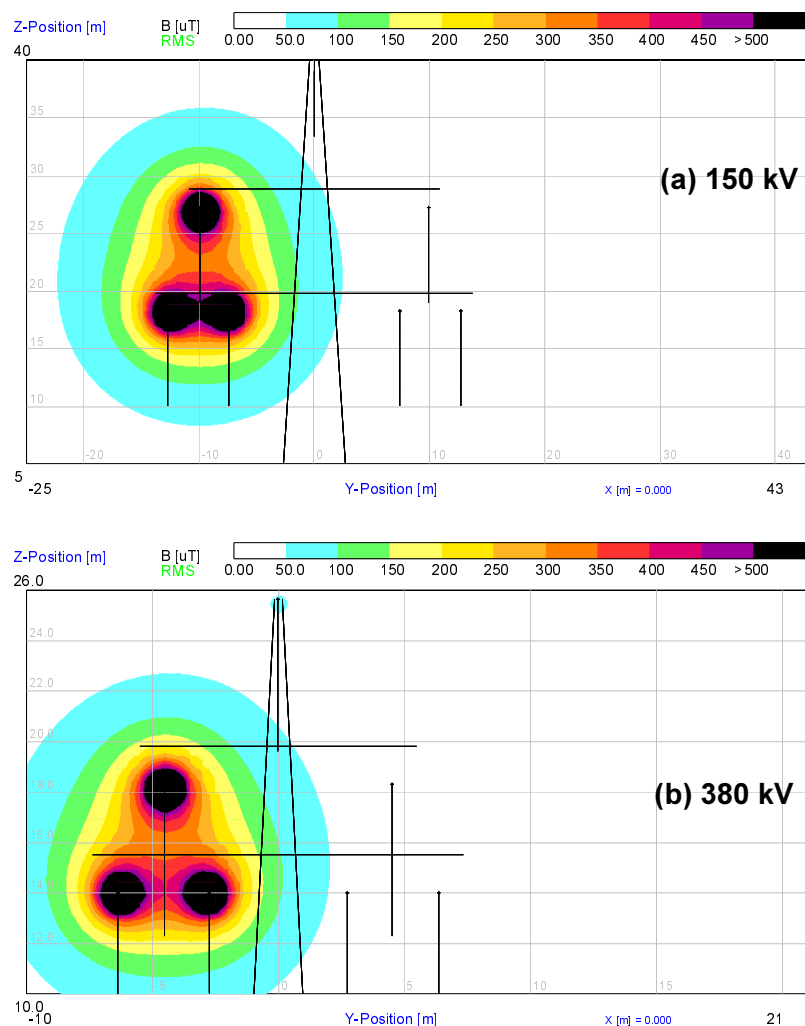
Uit de literatuur blijkt dat bij gelijkrichters, bekrachtigingsdynamo's, generatoren, stroomrails (*bus bars*) en transformatoren velden voorkomen die op benaderingsafstand en bedieningsafstand een overschrijding van de actiewaarden kunnen opleveren [8, 9]. Bij andere onderdelen, zoals de hoogspanningskabels, onderstations en schakel- en verdeeltoestellen is er wel eens een overschrijding van de actiewaarden geconstateerd, maar vaak slechts ter plaatse van de ledematen en niet van hoofd en lichaam, zodat de grenswaarden waarschijnlijk niet overschreden worden. In de controlekamer van centrales en onderstations is geen overschrijding van de actiewaarden gerapporteerd.

De bedrijfstak ‘Elektriciteitsproductie en -distributie’ omvat in de eerste plaats de grote en ook kleine eenheden die elektriciteit genereren voor levering aan het openbare elektriciteitsnet of voor eigen intern gebruik (zoals warmte-kracht-eenheden). In de tweede plaats gaat het om transport en distributie van elektriciteit. De ‘eindapparatuur’ die uiteindelijk de elektrische energie in andere vormen van energie omzet, behoort niet tot de bedrijfstak. In de schakelkast (‘de meterkast’) van de gebruiker ligt de overgang.

Over het algemeen geldt dat op plaatsen waar de afstand tussen de drie fasendraden van het driefasensysteem aanzienlijk is en waar sterke, ongebalanceerde, stromen lopen het resulterende magnetische veld ook aanzienlijk kan zijn.

Energiecentrale

In energiecentrales worden met generatoren hoge vermogens bij een lage spanning opgewekt. Deze lage spanning wordt vervolgens omhoog getransformeerd naar spanningen van 110 tot 380 kV voor transport via hoogspanningslijnen. Omdat deze hoogvermogen generatoren lage spanningen opwekken lopen er hoge stromen die sterke magneetvelden kunnen veroorzaken. Uit NRPB-metingen blijkt dat bij de generatoren in diverse elektriciteitscentrales de velden beneden de actiewaarden blijven. Er worden ook in de buurt van stroomgeleiders binnen elektriciteitscentrales magneetvelden gemeld die de actiewaarden met ongeveer een factor 10 overschrijden. Maar dat geldt eigenlijk alleen ter plaatse van armen en benen. De actiewaarden voor de magnetische fluxdichtheid kunnen voor hoofd en romp met een factor twee tot zes worden overschreden bij onder andere transformatoren, gelijkrichters en stroomgeleiders [8]. Vanwege deze mogelijke overschrijdingen van actiewaarden, worden elektriciteitscentrales ingedeeld in categorie II.



Figuur 6 Berekende veldsterkte nabij de draden van bovengrondse hoogspanningslijnen ter plaatse van de mast.

Hoogspanningslijn

Het RIVM heeft voor typische 150 en 380 kV lijnen met het computerprogramma EFC400 (Forschungsgesellschaft für Energie und Umwelttechnology GmbH; versie 5.1) berekeningen uitgevoerd van de magnetische veldsterkte ter plaatse van de mast: zie Figuur 6. Het is in Nederland de praktijk dat een circuit wordt uitgeschakeld als er aan wordt gewerkt. Het andere circuit wordt dan dubbel belast. De berekeningen zijn uitgevoerd voor een extreme situatie waarin de maximale stroom door één circuit gaat. Uit de berekeningen volgt dat de

actiewaarden van $500\ \mu\text{T}$ ter plaatse van de traverse niet wordt overschreden. Bovengrondse hoogspanningslijnen worden daarom ingedeeld in categorie I.

Onderstation met condensatorbanken

In het kader van het praktijkonderzoek zijn gesprekken gevoerd met enkele netbeheerders en is een onderstation bezocht waar zich een condensatorbank bevindt. In het bezochte onderstation wordt de actiewaarde van $500\ \mu\text{T}$ nergens overschreden. De locatie waar zich de luchtspoelen bevinden, is met een hek afgezet en de toegangsdeur is zodanig afgesloten dat deze alleen kan worden geopend als de condensatorbank is uitgeschakeld. Omdat in deze werkomgeving overschrijding van actiewaarden mogelijk is, wordt deze in categorie IIb ingedeeld.

Transformatorhuisje

In het praktijkonderzoek is geïnformeerd naar metingen van magnetische velden in de transformatorhuisjes in het distributienetwerk. De velden zijn het hoogst aan de laagspanningskant van de transformator. Op de buitenmuur van transformatorhuisjes worden meestal waarden gemeten van enkele μT . KEMA heeft in de directe nabijheid (ordegrootte 1 m) van distributietransformatoren waarden voor het magnetische veld gemeten van 10 tot $30\ \text{A/m}$ [14]. Deze waarden liggen meer dan een factor 10 onder de actiewaarde, die bij 50 Hz $400\ \text{A/m}$ bedraagt. Transformatorhuisjes worden daarom in categorie I ingedeeld.

3.6 Elektrochemische processen

Onder elektrochemische processen vallen alle processen waarbij de energie van het chemische proces wordt geleverd door een elektrische stroom, zoals bij elektrolyseprocessen of bij oppervlaktebehandelingen. Bij dergelijke processen worden stroomsterktes van enige tientallen kilo-ampères gebruikt, zodat er kans is op magnetische velden boven de actiewaarden.

Een elektrolyseproces werkt als een omgekeerde batterij. Er wordt gelijkstroom toegevoerd om een chemisch proces te laten verlopen. Voorbeelden zijn de elektrolyse van brijn (keukenzout) oplossingen om chloorgas en natronloog te maken, en de winning van metalen zoals zink, cadmium en aluminium uit in water en zuur opgeloste ertsverbindingen. Ook kan een aantal oppervlaktebehandelingsprocessen zoals galvaniseren, verchromen en vertinnen gezien worden als elektrolyseprocessen.

Een elektrolyse-installatie bestaat uit drie omgevingen waar werknemers aan hoge magnetische velden worden blootgesteld: de transformator-gelijkrichtruimte, de stroomgeleiders (Engels: *bus bars*) en de elektrolysehal. Deze hal bestaat

afhankelijk van de applicatie uit een aantal lange parallelle bakken, de elektrolyzers, met looppaden ertussen. Deze elektrolyser bestaan dan weer uit meerdere cellen waarin het eigenlijke elektrolyseproces plaatsvindt.

Elektrolysebedrijven hebben een totaal stroomverbruik vergelijkbaar met een stad als Gouda. Om gelijkstroom te maken moet de via een hoogspanningslijn aangevoerde wisselstroom van 50 Hz worden gelijkgericht. Doorgaans wordt van wisselstroom op drie fasen een gelijkstroom geproduceerd door met behulp van thyristoren de negatieve spanningswaarde van de 50 Hz-sinus om te klappen en zo drie in fase verschoven positieve sinusvormen te superponeren. Hierdoor ontstaat een gelijkstroomcomponent (DC³) met een wisselstroomcomponent (AC⁴) daarop gesuperponeerd. De wisselstroomcomponent bestaat voornamelijk uit een signaal van 300 Hz met enkele hogere harmonische bijdragen van 50 Hz. Deze wisselstroomcomponent kan, na gebruik van de sommatieregel leiden tot een blootstelling boven 1 [5, 35]. De belangrijkste bijdragen komen van 300, 600 en 900 Hz. Overschrijdingen van de actiewaarden zijn onder meer geconstateerd door Moen *et al.* [36]. Een mogelijkheid om de rimpel op de DC te beperken is door *smoothing* van de rimpel door een geschikt type gelijkrichter te gebruiken of door meer fasen te gebruiken in het gelijkrichtproces [37].

Uit metingen bij een zinkproducerende fabriek in Nederland die 60 kA gebruikt in het elektrolyseproces, blijkt de genormeerde blootstelling in gelijkrichterruimte na toepassing van de sommatieregel soms tussen 1 en 8 ligt en op enkele moeilijk bereikbare plekken veelvouden van 10. Rond de stroomgeleiders bij werkafstanden van meer dan 40 cm en in de elektrolysehal werd geen genormeerde blootstelling boven 1 gemeten. Maatregelen zijn dus nodig bij de gelijkrichterruimte. Strikte naleving van de richtlijn betekent dat werknemers deze niet meer mogen betreden en dat er rond de gelijkrichterruimte een afzetting nodig is tot waar de actiewaarden worden overschreden. Het is namelijk onwaarschijnlijk dat de werknemers niet boven de grenswaarden worden blootgesteld. Probleem is dat de ruimte zelf dagelijks betreden moet worden door ten minste één persoon voor visuele inspectie. Uit een bedrijfsbezoek bleek dat maatregelen als afzettingen rond de gelijkrichterruimte en buiten bereik plaatsen van de stroomgeleiders mogelijk is.

Uit het praktijkonderzoek bij een membraanelektrolysebedrijf voor de productie van chloor in Nederland blijkt de genormeerde blootstelling in gelijkrichterruimte na toepassen van de sommatieregel boven 5 uit te komen bij het transformeren naar 50 kA gelijkstroom op 400 V voor vier elektrolyzers. Ook rond de *bus bars* (die 50 kA vervoerden) kan de genormeerde blootstelling boven 5 uitkomen. In de

³ DC is de Engelse afkorting van *Direct Current* wat 'gelijkstroom' betekent.

⁴ AC is de Engelse afkorting van *Alternating Current* wat 'wisselstroom' betekent.

elektrolysehal, tussen de elektrolyzers waardoor 12,5 kA gaat, leidt alleen de 300 Hz component tot waarden van 160% van de actiewaarde van 60 A/m. Ook hier geldt dat er maatregelen genomen moeten worden bij de gelijkrichterruimte. Uit een bedrijfsbezoek blijkt dat rond de *bus bars* met verf gebieden gemarkeerd zijn die niet betreden mogen worden. Daarnaast kan het magnetische veld ook beperkt worden door de aan- en afvoerende *bus bars* naast elkaar van de gelijkrichter naar de elektrolyzers in de elektrolysehal te laten lopen. Echter, tussen de elektrolyzers moeten regelmatig visuele inspecties worden uitgevoerd om te kijken of er lekken optreden tussen de compartimenten. Deze inspecties zijn noodzakelijk om het vrijkomen van giftige of ontplofbare stoffen te voorkomen.

Op basis van bedrijfsbezoeken, metingen van KEMA en literatuur blijkt dat de gelijkrichterruimte in categorie III valt, omdat daar de blootstelling enkele tientallen malen boven de actiewaarden kan zijn. De stroomgeleiders vallen in categorie IIb, omdat er door afzettingen, markeringen en het over zo groot mogelijke afstanden langs elkaar leggen van de aan- en afvoerende geleiders de blootstelling onder de actiewaarden gehouden kan worden. De blootstelling in de elektrolysehal hangt af van het ontwerp van de hal, maar er hoeft geen overschrijding van de actiewaarden voor te komen. De elektrolysehal valt daarom in categorie IIb.

3.7 Inductieverwarming

Inductieverwarming is een verzamelnaam voor de processen die warmte opwekken door wisselstroom door grote spoelen te leiden. Inductieverwarming wordt gebruikt bij het maken van gereedschap en machineonderdelen, smeedprocessen, verharden van oppervlaktes, krimp-fitten, buigen van pijpen, solderen van plaatjes en in vacuümovens voor het smelten en bereiden van diverse metalen en legeringen zoals gietijzer, nikkel, zink, staalsoorten en aluminium [8]. De bedrijfstakken waar inductieverwarming voorkomt, zijn onder andere vervaardiging van diverse gereedschappen (DN) en vervaardiging van metalen in primaire vorm en van producten van metaal (DJ).

Hoewel het principe van inductieverwarming hetzelfde is, wordt de apparatuur vaak op aanvraag gemaakt en zijn er dus vele uiteenlopende modellen beschikbaar met verschillende vermogens en frequenties. Grote bulksmeltovens werken vaak op 50 Hz, omdat een grote golflengte leidt tot een homogene verwarming van het materiaal. Hogere golflengtes dringen minder diep door en worden gebruikt bij oppervlaktebehandeling. Typische frequenties liggen volgens Gabriel *et al.* tussen 50 Hz en 8 MHz, met een vermogen tussen 300 W en 5 MW [11]. Echter uit diverse folders blijkt dat de apparatuur op maat wordt gemaakt en dat vermogens van 10 MW voorkomen [38]. De gemeten veldsterktes voor het H-veld liggen tussen 0,1 en 20.000 A/m en voor het E-veld tussen 3 - 1.000 V/m. Uit diverse

onderzoeken [8, 9, 10, 37] blijkt dat inductieovens de sterkste bronnen van magnetische velden zijn in de industrie. Floderus *et al.* [10] maten bij een frequentie van 800 Hz elektrische veldsterktes van 4000 V/m op 0,1 m en 1400 V/m op 0,5 m. Dit is een overschrijding van enkele malen de actiewaarde van 625 V/m. Chadwick [37] meldt dat bij een staalstripverwerkingsmachine op een frequentie van 50 Hz de magnetische fluxdichtheid aan de linkerrand van de werkbank 0,9 mT bedraagt. Dit is bijna het dubbele van de actiewaarde die bij 50 Hz 0,5 mT bedraagt. Zowel NRPB [39] als het Finse Instituut voor Beroepsgezondheid (FIOH) [9] berichten dat ze bij diverse apparatuur voor inductieverwarming overschrijding van de actiewaarden hebben gemeten. Soms zijn spoelen niet afgeschermd en kunnen ze gedurende de productieprocessen tot 10 cm ^{benaderd} worden [8, 37], zodat blootstelling aan veldsterkten hoger dan de actiewaarden mogelijk is. Echter, volgens Cooper zijn die overschrijdingen vooral geconstateerd op plekken dicht bij de apparatuur dan waar de positie van de bediener is. Dat leidt ertoe dat bij de frequenties boven 100 kHz toepassing van de zes-minutenregel (zie Bijlage 1) zorgt dat de blootstelling toch onder de actiewaarden zal blijven.

Naast de uiteenlopende frequenties en vermogens is ook de werkwijze van groot belang. Uit observaties tijdens bedrijfsbezoeken aan metaalproducerende industrieën bleek ook dat er aan de ene kant hekken staan om inductieovens, maar aan de andere kant er soms looppaden tussen inductieovens zijn. Afstand houden is vaak een eenvoudige manier om de blootstelling te beperken, en in geval van ovens is de hitte voldoende om te zorgen voor het houden van afstand. Echter, bij kleinere inductiesmeltovens, bijvoorbeeld voor de productie van legeringen, komt het voor dat tijdens het smelten een werknemer in een hittevast pak materiaal bijvoegt of handmatig meet in de open vulopening. Metingen van Chadwick en van Rubio [40, 41] geven voor een 1 kHz oven aan dat de werknemer kan worden blootgesteld aan veldsterkten van tientallen malen de actiewaarde.

In Nederland heeft KEMA metingen uitgevoerd bij bedrijven die inductieverwarming gebruiken. Uit een rapport uit 1993 blijkt dat bij een alkaan- en fosforfabriek op enkele plekken overschrijdingen van de actiewaarde werden gemeten. Plekken in de fosforfabriek waar overschrijdingen tot 3 mT bij een bedrijfsstroom van 60 kA werden gemeten, zijn rondom het ovenhek op maximaal een halve meter en nog enkele plekken, bijvoorbeeld op één meter buiten het afzettingshek tussen de meetkamer en de elektrode en tussen de kolom en de elektrode, binnen een halve meter van de voedingskabels en de transformator. Aangetekend moet worden dat werknemers op hiervoor genoemde plekken niet hoeven te verblijven voor hun werkzaamheden. Het bleek dat de magnetische veldsterkte op plaatsen waar werknemers wel permanent of semi-permanent verblijven niet hoger was dan 0,04 mT.

Uit andere metingen van KEMA bij andere Nederlandse bedrijven [14] blijkt dat er bij diverse inductieverwarmingsapparatuur overschrijdingen van de actiewaarden mogelijk zijn, maar dat deze vaak door eenvoudige maatregelen te voorkomen zijn. Een inductieverwarmer op 50 Hz voor het opwarmen van lagers bestaat ruwweg uit een spoel op heuphoogte die handmatig wordt bediend. Hierbij is op een afstand van 5 cm van de spoel een overschrijding van vier maal de actiewaarde van 400 A/m gemeten. Echter, op een afstand van meer dan 20 cm is er geen overschrijding meer geconstateerd. Ook bij halfgemechaniseerde processen, waarbij het te verhitten voorwerp via een lopende band door de spoel geleid worden, werden overschrijdingen van de actiewaarden gemeten. Bijvoorbeeld bij een machine die buizen voorverwarmt voor het aanbrengen van een *coating* (10 kW, 3 kHz) blijkt dat recht voor de inlaat de overschrijding een factor 12 bedraagt, maar op een afstand van 20 cm is er geen overschrijding meer. Een buizenverwarmer (10 kHz) veroorzaakt buiten 50 cm geen overschrijdingen meer. Ook een inductieoven (50 Hz) voor het verwarmen van metalen wielen geeft een overschrijding op de wand, maar op 30 cm niet meer. Bij halfgemechaniseerde processen kan vaak eenvoudig afstand gehouden worden.

Uit een bedrijfsbezoek aan een groot Nederlandse bedrijf dat diverse inductieapparatuur onderhoudt, repareert en renoveert, bleek dat inductieapparatuur enkele tientallen jaren meegaat voordat renovatie nodig is. Dit kan een probleem geven omdat bij oude apparatuur de spoel niet altijd afgeschermd is (Figuur 7). Na een renovatie of bij een nieuwe inductieverwarmer zitten de inductiespoelen doorgaans in een kooi van Faraday zoals een oven, of draaien volautomatisch zoals draadverwarmers zodat werknemers niet worden blootgesteld boven de actiewaarden voor het elektrische of het elektromagnetische veld. Een kooi van Faraday schermt het magnetische veld uiteraard niet af bij voldoende lage frequenties.

Apparatuur voor inductieverwarming valt in categorie IIb, vanwege de in literatuur berichte gemeten overschrijdingen van de actiewaarden in EU landen en het in enkele gevallen geconstateerde gebrek aan afscherming. Ook in de Nederlandse situatie zijn metingen van overschrijdingen bekend, echter op plekken waar werknemers voor hun werkzaamheden niet hoeven te verblijven. Met eenvoudig uitvoerbare maatregelen van afscherming aan de bron en door afstandsmarkeringen en hekken op basis van metingen kan de blootstelling doorgaans onder de actiewaarden worden gehouden.



Figuur 7 Een te renoveren inductieverwarmer met open spiraal.

Smeltovens waarbij tijdens het proces handmatig materiaal moet worden toegevoegd of waarbij moet worden gemeten door een opening in de oven, kunnen leiden tot een blootstelling van enkele tientallen malen de actiewaarden, en vallen daarom in categorie III.

3.8 Lassen

Algemeen

Lassen is een manier om stukken metaal met elkaar te verbinden. De verbinding wordt gevormd door de metalen te verwarmen en samen te brengen. Soms wordt er ook, net als bij solderen, een voegmetaal gebruikt om de verbinding te maken. De websites www.nil.nl en www.dunneplaat-online.nl geven een overzicht van de meest gebruikte lasprocessen in Nederland en hun uitvoering. Naast gaslassen en laserlassen zijn er diverse soorten elektrisch lassen die zich laten verdelen in de volgende hoofdgroepen:

- booglasprocessen (o.a. bmbe, TIG, plasma-, MIG, MAG, onder poeder en stift-),
- weerstandslasprocessen (o.a. punt-, rolnaad-, zoom-, projectie-, afbrandstuik-),
- hoogfrequentweerstandslasprocessen (o.a. hoogfrequent, inductie) en
- elektronenbundellasprocessen.

Lassen wordt in diverse bedrijfstakken, zoals in de bouwnijverheid, bij het vervaardigen van diverse metalen voorwerpen en transportmiddelen, gebruikt.

Soorten lasprocessen

Bij booglasprocessen wordt gebruik gemaakt van een elektrische boog tussen elektrode en werkstuk om de te verbinden materialen tot smelten te brengen. Hierbij wordt zowel gelijkstroom, pulserende gelijkstroom als wisselstroom gebruikt. De frequentie van de wisselstroom is vaak de netfrequentie van 50 Hz, maar ook hogere frequenties worden gebruikt omdat dat een mooiere lasnaad oplevert. Bij het weerstandslasprocessen worden de te verbinden delen stevig tegen elkaar gedrukt en wordt door het scheidingsvlak een wisselstroom gestuurd gedurende korte tijd, vaak minder dan één seconde. Bij hoogfrequentweerstandslasprocessen wordt niet de netfrequentie, gebruikt, maar frequenties boven 100 kHz (100 - 500 kHz, 50 - 1500 kW). Het voordeel van een hogere frequentie is een geringere inbrandingsdiepte waardoor de energie meer geconcentreerd wordt aan het oppervlak van het werkstuk. Hierdoor kan met lagere stroomsterktes gewerkt worden. Bij elektronenbundellasprocessen wordt metaal opgewarmd door middel van elektromagnetische velden van een elektronenkanon. Deze methode wordt echter vaak in vacuüm uitgevoerd en is daardoor gemechaniseerd.

Blootstellingsfactoren en mogelijke overschrijdingen

De grenswaarde die mogelijk wordt overschreden is die voor geïnduceerde stroom als gevolg van een wisselend magnetisch veld. Bij de netfrequentie van 50 Hz ligt de actiewaarde op 0,5 mT en de grenswaarde op 10 mA/m². De belangrijkste factoren die de blootstelling aan magnetische velden bij lasprocessen bepalen, zijn:

- duur van het eigenlijke lasproces,
- stroomsterkte,
- stroomsoort (gelijkstroom, pulserende gelijkstroom of wisselstroom),
- hoogfrequente startpuls,
- mechanisatiegraad (handmatig, half-gemechaniseerd of gemechaniseerd),
- werkwijze (afstand tot het laswerk en tot de stroomvoerende kabels),
- afscherming en maatregelen.

Op hoogfrequentweerstandslas na, worden alle lasprocessen uitgevoerd bij gelijkstroom of wisselstroom met een frequentie van minder dan 100 kHz. Onder de 100 kHz mag de magnetische veldsterkte niet gemiddeld worden over de tijd. De inschakelduur van de apparatuur is dus, anders dan bij lasrook, geen factor van belang.

Stroomsterkte en -soort

De stroomsterkte verschilt per lasproces en varieert van enkele tientallen ampères bij plasmalassen, enkele honderden ampères, doorgaans minder dan 350 A, bij de andere booglasprocessen tot duizenden ampères bij weerstandslas. De spanning

is doorgaans enkele tientallen volts tot netspanning. Ruwweg geldt dat de blootstelling toeneemt met toenemende stroomsterkte. Bij gebruik van gelijkstroom wordt een statisch veld opgewekt, tenzij het gepulst lassen op doorgaans 25 Hz (dunne plaat) wordt gebruikt zoals bij TIG lassen van aluminium. Ook MIG lassen kan met gelijkstroom of een pulserende gelijkstroom met frequenties 0,2-3 kHz [42]. Tijdens twee bedrijfsbezoeken bleek dat er een tendens is om bij booglasprocessen, behalve bij bewerking van aluminium, (meer) met gelijkstroom te lassen [43]. Cie VIII van het Nederlands Instituut voor Lastechniek (NIL) geeft aan dat het handmatige booglassen voor 80% uit MIG/MAG lassen en voor 10% uit bmbe-lassen op gelijkstroom bestaat.

Stroombronnen die blokgolven en pulserende signalen produceren, worden onder andere gebruikt bij MIG/MAG. Deze kunnen opereren op frequenties tot 300 Hz en door de blok golfvorm zitten daar nog harmonische bijdragen bij. Op een in de praktijk voorkomende frequentie van 191 Hz bij een stroomsterkte van 420 A werd een overschrijding van de actiewaarde met een factor 3 gemeten [43]. Daarnaast ontstaan sterke elektromagnetische velden omdat er bij booglasprocessen een hoogfrequente puls van enkele milliseconden wordt gebruikt om de boog te starten.

Zelfs als er alleen gelijkstroom gebruikt wordt, kan de gelijkrichter nog magnetische velden van verschillende frequenties veroorzaken. Doorgaans levert een drie-fasentransformator met diode-gelijkrichters een gelijkstroom op met een kleine rimpel van ongeveer 4%, voornamelijk veroorzaakt door de zesde harmonische bijdrage (300-360) Regelbare stroombronnen met thyristoren leveren meer harmonische bijdragen omdat ze de sinusvorm afkappen [42]. Dit leidt dan tot hogere frequenties en tot hogere geïnduceerde stromen [44]. Bij één-fase weerstandslassen met wisselstroom blijken hogere harmonische bijdragen tot 1150 Hz een rol te spelen [43]. Na toepassing van de somregel voor verschillende frequentiecomponenten leidt dit tot overschrijdingen van de actiewaarden op de plaats van de bediener. Bovendien lieten metingen aan een frequentie invertor gebruikt bij weerstandslassen, zien dat bij een *switching* frequentie van 2000 Hz en een stroomsterkte van 5 kA en 15 kA het veld boven de actiewaarde van 0,03 mT komt op normale gebruikersafstanden.

Mechanisatiegraad

Voorbeelden van handmatig uitgevoerde lasprocessen zijn: bmbe-lassen (kan alleen handmatig), sommige anders booglasprocessen zoals TIG en sommige puntlasprocessen zoals projectie- en puntlassen. Bij handmatig lassen komt het voor dat het gewicht van de stroomkabels wordt gedragen door ze over de schouder te leggen. Om de hand stil te houden, wordt de kabel ook wel langs de dij gelegd of om de arm gestrengeld, zoals tijdens een bedrijfsbezoek is geconstateerd.

Het is te verwachten dat er dan bij deze stroomsterktes een overschrijding van de actiewaarden zal plaatsvinden [42, 45]. Voor de meeste booglasprocessen geldt volgens Health and Safety Executive (HSE) dat op een afstand van meer dan 10 cm van de kabel de actiewaarden niet overschreden worden. Voor booglassen met gelijkstroom bedraagt op 20 cm van de kabel de veldsterkte 30% van de actiewaarde. Hoewel de handen van de lasser wel worden blootgesteld boven de actiewaarden, is het niet aannemelijk dat de grenswaarden worden overschreden. Bij halfgemechaniseerde lasprocessen, waarbij een operator aan een werkbank staat, zullen de armen en handen, die immers raken aan of zich op enkele centimeters bevinden van de stroomdraden of elektroden, blootgesteld kunnen worden boven de actiewaarden. Voorbeelden van halfgemechaniseerde of geheel gemechaniseerde processen zijn: sommige booglasprocessen (stift- en onderpoeder), weerstandslasprocessen (zoomlassen en puntlassen), hoogfrequent-lasprocessen en elektronenlasprocessen. Overschrijdingen van de actiewaarden voor puntlasprocessen zijn gemeten door HSE [43, 44], Cooper [8] en Hamnerius en Persson [46].

De HSE mat overschrijdingen van de actiewaarden bij weerstandslassen met 15 kA binnen 30 cm van de elektrodes, dus op de bedieningsplek van de lasser. Op een afstand van 10 cm van de elektrodes werd, na toepassing van de somregel op de hogere harmonische bijdragen, een overschrijding van de actiewaarden met een factor 60 geconstateerd. Nadeem *et al.* [44] maten bij 11 kA op 50 Hz, waar de actiewaarde 0,5 mT bedraagt, 3,7 mT op 26 cm en 1,1 mT op 42 cm. Ook berekenden zij dat tot op 34 cm de geïnduceerde stroomsterkte 14 mA/m^2 bedraagt, zodat de grenswaarde voor blootstelling van 10 mA/m^2 wel werd overschreden. Daarentegen vindt Cooper (NRPB) het niet aannemelijk dat de grenswaarden worden overschreden als slechts handen en ledematen boven de actiewaarden worden blootgesteld. Immers, de richtlijn geeft grenswaarden voor stroomdichtheid om de weefsels van het centraal zenuwstelsel te beschermen: zie Noot 2 in Tabel 1. De handen maken geen deel uit van het centraal zenuwstelsel. Zelfs wanneer de blootstelling aan hoofd en romp boven de actiewaarden ligt, hoeven door de niet-uniforme verdeling van het magnetische veld de grenswaarden niet overschreden te worden.

Ook KEMA [14] heeft in Nederland bij diverse halfgemechaniseerde, hoogfrequente inductielasapparatuur (200 – 400kHz, 1000 - 250 W) voor het lassen van buizen veldsterktes gemeten. Op afstanden waar een werknemer zich in de praktijk zal kunnen bevinden (80 – 110 cm) werden veldsterktes van 100 – 300% van de actiewaarden ($8 - 4 \text{ A/m}$) gemeten. Weliswaar worden de machines niet bediend, maar men loopt er wel langs. In dergelijke situaties is vanwege de 6-minutenmiddeling het aanhouden van een beperkte blootstellingsduur of het houden van afstand voldoende om blootstelling boven de actiewaarden te voorkomen. Echter, het aanbrengen van fysieke afscheidingen zoals

veiligheidsdeuren is raadzaam. Bij metingen aan industriële inductie-soldeermachines (20, 25 kW, 10 kHz) werden maximale overschrijdingen tot 9 maal de actiewaarde (24,4 A/m) gemeten. Hier mag geen middeling worden uitgevoerd en is het aanhouden van een afstand van 1 m aan te raden. Op de voedingskabel werd een veld van meer dan 2000 A/m gemeten. Hier moet een afstand van zeker 1 m worden aangehouden als de machine in bedrijf is.

Processen die volledig gemechaniseerd uitgevoerd worden, hebben vaak een afstand van meer dan een armlengte tot de operator, omdat deze immers het werkstuk tijdens het lasproces niet hoeft te begeleiden. De kans op een blootstelling boven de actiewaarden neemt daarmee af. Processen die in principe met robots kunnen worden uitgevoerd zijn: puntlassen, MIG/MAG lassen, TIG lassen, plasmalassen en laserlassen [47].

Werkwijze, afscherming en maatregelen

Anders dan voor blootstelling aan UV en infrarode straling, geven fabrikanten of beroepsverenigingen in veiligheidsbladen doorgaans geen veiligheidsvoorschriften voor de diverse lasapparatuur op het gebied van elektromagnetische straling [48]. Het NIL [49] geeft wel een waarschuwing voor elektromagnetische compatibiliteit. Het waarschuwt dat bij TIG-lassen de hoogfrequente spanning van pulsen van enkele duizenden volts gedurende enkele microseconden elektromagnetische velden tot gevolg kan hebben die andere apparatuur verstoort. Er worden ook aanbevelingen gegeven om de veldsterkte te verminderen in NEN-EN 60974-10 [50]. Daarnaast zijn er een basisnorm [51] en een productnorm [52] voor de evaluatie van de blootstelling van het menselijk lichaam aan elektromagnetische velden van apparatuur voor booglassen en verwante processen.

Maatregelen ter vermindering van emissie van magnetische velden zijn [50]: afscherming van de stroomkabel bij permanent geïnstalleerde booglasapparatuur; onderhoud; de kabels zo kort mogelijk te houden, dicht bij elkaar te positioneren en te positioneren zo dicht mogelijk bij de vloer; equipotentiaal verbinden van stukken metaal; directe aarding of aarding via een capaciteit van het werkstuk; en afscherming van de lasinstallatie en stroombronnen.

Daarnaast zijn bij hoogfrequent inductielassen de verblijfsduur beperken en afstand houden eenvoudig uit te voeren maatregelen. Ook verdient het aanbeveling de voedingskabels af te schermen en de kabels te twisten [14].

Categorie-indeling

Weerstandslasprocessen (halfgemechaniseerd), vooral puntlassen, horen in categorie III. Bij deze lasprocessen is meerdere malen blootstelling boven de

actiewaarden op de bedieningsplek, 30 cm van de elektroden, geconstateerd, terwijl gangbare lashandelingen en instellingen werden gehanteerd. Uit berekeningen blijkt ook dat de grenswaarden overschreden kunnen worden.

Booglasprocessen vallen in categorie IIb. Mits een afstand van 20 cm tot de kabel wordt gehanteerd, wordt doorgaans geen overschrijding van de actiewaarden voor hoofd en romp geconstateerd. De gangbare praktijk om de kabel langs het lijf of over de schouders te leiden om het gewicht te dragen, moet worden vermeden.

Lasprocessen die pulserende stroom of blokgolven gebruiken vallen in categorie III. Er blijkt dat na toepassing van de somregel de actiewaarden van hogere harmonische bijdragen enige tientallen malen boven waarde 1 kunnen uitkomen.

3.9 Medische toepassingen

Doorgaans geldt voor apparatuur voor medische toepassingen dat de patiënt aan veldsterkten boven de actiewaarden wordt blootgesteld, deels ook omdat dit bewust deel uitmaakt van de behandeling. Het behandelend medisch personeel kan daardoor ook mogelijk boven de actiewaarden worden blootgesteld. Hier worden de volgende groepen medische toepassingen onderscheiden: apparatuur voor MRI, diathermie, hyperthermie, elektrochirurgie en overige toepassingen.

MRI

Apparatuur voor *Magnetic Resonance Imaging*, ook wel MRI-scanner genaamd, produceert drie soorten velden: een statisch magnetisch veld, gradiënt magnetische velden en gepulste radiofrequente velden. Het statische veld (voor interventie-MRI waarschijnlijk maximaal 1 tot 3 T) staat altijd aan, de gradiënt (0,025 tot 65 kHz) en radiofrequente velden (10-400 MHz; bijvoorbeeld voor een 1,5 T scanner 63 MHz) alleen tijdens het scannen [53]. Tijdens het scannen kunnen werknemers afstand houden, maar er worden inmiddels toepassingen, zoals interventie-MRI, ontwikkelend waarbij de arts of andere werknemers dicht bij de apparatuur handelingen moeten verrichten. Er is bovendien een tendens om steeds sterkere velden, van alle drie de soorten, te gebruiken om zo de resolutie, dus de beeldkwaliteit, te verbeteren. De WHO meldt dat er systemen in gebruik zijn tot ongeveer 10 T [54]. MRI-scanners worden inmiddels in vrijwel alle ziekenhuizen gebruikt.

Het statische magnetische veld wordt hier buiten beschouwing gelaten omdat de richtlijn daarvoor geen grenswaarde voor blootstelling bevat. Wel dient met overige effecten op de gezondheid rekening te worden gehouden, zoals als gevolg van rondvliegende ferromagnetische voorwerpen zoals scharen en gasflessen,

aantrekking van metalen implantaten en verstoring van de werking van actieve medische implantaten (*Active Implanted Medical Devices*; AIMD). Ook raadt de WHO aan om langzaam te bewegen en abrupte hoofdbewegingen te voorkomen in een statisch magnetisch veld sterker dan 2 T [54, 55]. Deze bewegingen kunnen namelijk leiden tot duizeligheid en misselijkheid.

De radiofrequente velden van MRI-apparatuur liggen onder de actiewaarden, mede door de zes-minutenregel (zie Bijlage 1) [9, 11, 56, 57]. Uit de literatuur blijkt dat het vermoeden bestaat dat de blootstelling van werknemers aan gradiënt magnetische velden nabij de huidige scanners niet tot overschrijding van actiewaarden zal leiden [58]. Hill *et al* [53] melden dat tijdens hartkatheterisatie in een 1,5 T scanner de sterkte van het gradiëntveld ter plaatse van het hoofd de actiewaarde van 50 μ T bij 500 Hz met een factor 40 overschrijdt.

De producenten en gebruikers van MRI-scanners maken zich grote zorgen over de toepasbaarheid van MRI-scanners onder de richtlijn [59, 60, 53]. Zij noemen drie werkomgevingen waar actiewaarden voor de gradiënt magnetische en de radiofrequente velden worden overschreden:

- tijdens de ontwikkel- en productiefase en dan alleen in *trouble shoot* en andere weinig voorkomende omstandigheden,
- tijdens onderhouds- en reparatie-omstandigheden, ook weer in *trouble shoot* omstandigheden waarin de apparatuur aan moet staan om de storing te kunnen opsporen,
- tijdens het scannen, bijvoorbeeld om de patiënt mentaal te begeleiden of in de gaten te houden of bij het verrichten van interventiewerkzaamheden.

De vraag is nu of in de situaties waarin actiewaarden worden overschreden ook grenswaarden worden overschreden. Het praktijkonderzoek heeft geen informatie opgeleverd waaruit blijkt dat voor de radiofrequente velden de plaatselijke SAR-waarden wel of niet worden overschreden. Hill *et al.* noemen het onwaarschijnlijk dat de totaal-lichaam SAR-waarden worden overschreden [53]. Ook voor de gradiëntvelden is niet bekend of de grenswaarden voor de stroomdichtheid voor hoofd en romp worden overschreden. Er is een amendement in de maak op de, voor de bescherming van de patiënt geschreven, standaard IEC 60601-2-33:2002 waarin ook de blootstelling van werknemers verder wordt uitgewerkt.

Omdat niet expliciet via metingen of berekeningen is aangetoond dat de grenswaarden bij de huidige apparatuur niet worden overschreden en ook vanwege de tendens naar steeds sterkere velden, worden de drie genoemde MRI-werkomgevingen in categorie III ingedeeld. De werkomgeving ‘gebruik van MRI-apparatuur waarbij zich alleen werknemers op afstand bevinden’ wordt in categorie IIb ingedeeld.

Diathermie

Diathermie-apparatuur wordt gebruikt voor verwarming van lichaamsdelen en stimuleren van biologische processen voor meestal therapeutische doeleinden, zoals revalidatie en pijnbestrijding. Men maakt onderscheid in kortegolfdiathermie bij 27 MHz en microgolfdiathermie bij meestal 2,45 GHz. Uit een onderzoek in Canada van meer dan 20 jaar geleden bleek dat de verhouding tussen het aantal apparaten voor kortegolfdiathermie en microgolfdiathermie 10 : 1 was [61]. In Nederland is de verhouding niet bekend, maar uit het praktijkonderzoek is gebleken dat microgolffapparatuur ook hier minder wordt gebruikt. Diathermie vindt in ziekenhuizen plaats, maar ook in fysiotherapiepraktijken buiten ziekenhuizen en sporadisch in veterinaire instellingen. Omdat diathermie al vele decennia in gebruik is, zijn er reeds diverse metingen van ongewenste strooivelden, die ook wel lekstraling worden genoemd, beschikbaar. De hoogste veldsterkten komen voor bij elektroden, toevoerdraden en aansluitingen [61, 62, 63, 64, 65]. De diverse onderzoekers zijn het er over eens dat er geen eenvoudige formule bestaat waarmee de sterkte van de strooivelden kan worden berekend. Een eenvoudige rekenregel lijkt dan ook niet mogelijk.

De blootstelling kan significant worden verminderd door afstand te houden. Diverse instanties hebben waarden voor die afstand geadviseerd. Voor kortegolfdiathermie varieert deze geadviseerde afstand van 0,2 tot 1,1 m [65]. Shields, *et al.* wijzen er echter op dat bij het vaststellen van deze afstand moet worden gemeten aan een brede range van apparaten, in diverse configuraties en operationele omstandigheden en bij het hoogst mogelijk uitgangsvermogen. Shields *et al.* hebben in Ierland aan tien apparaten gemeten, waarvan de helft afkomstig is van de fabrikant die in Nederland vermoedelijk de meeste apparatuur levert. Zij concluderen dat fysiotherapeuten een afstand van 2 m moeten aanhouden tot apparaten die gebruik maken van de capacitieve methode met continue signalen, 1,5 m tot apparaten met capacitieve methode en gepulste signalen en 1 m tot apparaten die gebruik maken van de inductieve methode. Er moet dan ook worden gezorgd dat zich binnen deze afstanden geen andere werknemers, zoals administratief personeel in aangrenzende ruimtes, kunnen bevinden. De capacitieve methode is overigens de meest gebruikte methode. Shields *et al.* bevelen aan dat voor een bepaald apparaat pas kleinere afstanden kunnen worden aangehouden nadat dit met goed uitgevoerde metingen is aangetoond.

Voor microgolfdiathermie bij 2,45 GHz worden waarden boven de actiewaarden gemeld: tot 440 W/m² op 5 cm afstand [66]. Op plekken waar de operator zich bevindt, worden de actiewaarden (137 V/m bij 2,45 GHz) niet overschreden: 17 – 70 V/m [67]. Tzima *et al.* melden in 1994 overschrijdingen van de actiewaarden tot op 0,5 m bij 2,45 GHz en tot 1,0 m bij 434 MHz. Ze concluderen dat als een

afstand van 1,0 m wordt aangehouden en als voorkomen wordt dat de werknemer zich dicht bij grote metalen objecten bevindt die de velden mogelijk reflecteren, dat dan de actiewaarden niet worden overschreden [63]. Grandolfo *et al.* kwamen in 2002 tot de conclusie dat moderne apparatuur bij 434 MHz de actiewaarden niet overschrijden, terwijl dat voor 2,45 GHz kan voorkomen tot op afstanden van 1,0 m [68].

In het praktijkonderzoek is contact gelegd met fabrikanten en leveranciers. De toepassing van diathermie door 16.000 tot 20.000 fysiotherapeuten is aan het afnemen, hoewel harde getallen daarover ontbreken. Vermoedelijk dat er nog ongeveer 5000 apparaten voor korte-golfdiathermie in gebruik zijn. Sinds enkele jaren zijn fysiotherapiepraktijken niet meer verplicht om diathermieapparaat in huis te hebben. Naast de blootstelling van fysiotherapeuten dient ook aandacht te worden besteed aan de blootstelling van onderhoudspersoneel. Uit contacten met het Koninklijk Nederlands Genootschap voor Fysiotherapie is gebleken dat fysiotherapeuten meestal doseren aan de hand van subjectieve temperatuurstijging. Bijvoorbeeld: ‘We gaan de dosis vaststellen die aanleiding geeft tot een net voelbare temperatuurstijging’ (bij een sensitieve aandoening) of: ‘Om het gewenste effect te realiseren gaan we de temperatuur verhogen tot boven de pijngrens’ (maar onder de tolerantiegrens) om bijvoorbeeld de rekbaarheid van bindweefsel te verbeteren. Fysiotherapeuten meten dus niet de elektrische veldsterkte. Subjectief doseren staat dus op de voorgrond. Fysiotherapeuten zijn bekend met de pacemaker als contra-indicatie voor het toepassen van deze apparatuur, hoewel in de opleiding tot fysiotherapeut daaraan minder dan vroeger aandacht wordt besteed.

Omdat bij diathermie-apparatuur actiewaarden kunnen worden overschreden, wordt deze in categorie IIb ingedeeld. De afstanden waarbinnen de actiewaarden kunnen worden overschreden, kunnen tot 2 m reiken.

Hyperthermie

Hyperthermie-apparatuur die ten behoeve van behandeling van kanker wordt gebruikt om tumoren te verwarmen met als doel de therapeutische werking van chemo- en/of radiotherapie te verbeteren, wordt in Nederland op vier locaties toegepast. Er zijn twee methoden in gebruik, namelijk oppervlakkige hyperthermie bij 434 MHz (50 – 100 W) en diepe hyperthermie bij 70 MHz (800 W). Uit metingen die in de literatuur worden gemeld en uit metingen die in Rotterdam zijn uitgevoerd, blijkt dat bij oppervlakkige hyperthermie actiewaarden niet worden overschreden [68, 69]. Bij diepe hyperthermie kan volgens de literatuur wel overschrijding van actiewaarden optreden [8]. Er zijn metingen beschikbaar van de locaties Amsterdam en Rotterdam. In Amsterdam heeft men strooistraling rond twee apparaten gemeten waaruit blijkt dat elektrische veldsterkten van meer dan

61 V/m tot op een afstand van 1 m van de antennes kunnen voorkomen. In Rotterdam is de situatie vergelijkbaar [69]. Uit overleg met betrokken verantwoordelijke personen is gebleken dat maatregelen mogelijk zijn door de verblijftijd in het veld te beperken en door afstand te houden. Bovendien is het aannemelijk te maken dat de grenswaarde die aan de lichaams-SAR wordt gesteld, niet wordt overschreden. Vanwege de richting van het veld (horizontaal) ten opzichte van de oriëntatie van de werknemer (verticaal) is de inkoppeling van het veld niet optimaal. Apparatuur voor diepe hyperthermie wordt ingedeeld in categorie IIa en die voor oppervlakkige hyperthermie in categorie I.

Elektrochirurgie

In de chirurgie worden radiofrequente elektromagnetische velden op twee manieren toegepast: voor snijden en coaguleren. Bij snijden ontploffen de cellen en bij het coaguleren verdampt de inhoud van de cellen, waardoor ze uitdrogen en aan elkaar plakken. Het coaguleren, waarvoor een lager vermogen dan het snijden wordt gebruikt, wordt vooral toegepast voor het dichtens van bloedvaten. De frequenties die worden toegepast liggen in het frequentiegebied van 300 tot 600 kHz [70]. Lagere frequenties kunnen niet worden gebruikt omdat er dan spiersamentrekkingen bij de patiënt optreden. Deze apparatuur wordt ook wel met ‘medische diathermie apparatuur’ aangeduid, wat soms tot verwarring leidt [10]. In de monopolaire systemen wordt met een actieve elektrode gewerkt. De retourstroom wordt via een plaat onder het lichaam van de patiënt naar de generator teruggevoerd. Ook komen bipolaire systemen voor waarbij twee elektroden door de chirurg worden vastgehouden (‘geïsoleerde pincet’, bijvoorbeeld voor het afschillen van de prostaat). Elektrochirurgie wordt ook toegepast door tandartsen en in privé-praktijken van KNO-artsen en dermatologen. Zelfs huisartsen passen het toe, bijvoorbeeld om wratjes weg te branden. Er bestaan ook toepassingen voor elektrisch epilieren die werken bij een frequentie van 13,5 MHz, 27 MHz of 54 MHz.

De toevoerdraad kan als zendantenne worden opgevat. Uit het praktijkonderzoek is gebleken dat deze draad, die zich dicht bij het lichaam van de chirurg kan bevinden, meestal niet wordt afgeschermd, ondermeer omdat tussen elektrode en afscherming lekstromen kunnen optreden die ernstige brandwonden bij de patiënt kunnen veroorzaken.

Volgens meldingen in de literatuur worden de actiewaarden voor blootstelling overschreden [63, 71]. Tzima en Martin hebben in 1994 in Groot-Brittannië metingen gedaan en zij schatten dat de velden op 1 tot 5 cm van de kabels 500-2500 V/m en 2-10 A/m kunnen bedragen. Ze achten het echter onwaarschijnlijk dat de grenswaarde voor de plaatselijke SAR wordt overschreden, mede omdat de apparatuur maar een klein deel van de tijd wordt gebruikt (zes-minutenregel, zie

Bijlage 1). Ze vinden speciale voorzorgsmaatregelen dan ook niet nodig. In het artikel wordt echter niet aannemelijk gemaakt dat de grenswaarde voor de geïnduceerde stroomdichtheid niet wordt overschreden [63].

Uit de Zweedse studie uit 2003 blijkt dat de handen van de chirurg bij een frequentie van 500 kHz worden blootgesteld aan typische waarden van het elektrische en magnetische veld van 15 kV/m en 16 μ T, respectievelijk. Deze liggen boven de actiewaarden van 610 V/m en 4 μ T in de richtlijn. Liljestrang, *et al.* melden dat een geaarde metalen afscherming van de toevoerdraad het elektrische veld met een factor tien doet afnemen [71]. Dezelfde groep uit Zweden heeft berekeningen van de geïnduceerde stroomdichtheden en de SAR uitgevoerd. De stroomdichtheden kunnen oplopen tot waarden rond de grenswaarde voor blootstelling bij 500 kHz gelijk aan 5 mA/m². Berekende SAR-waarden komen niet in de buurt van de 0,4 W/kg (de grenswaarde voor de lichaams-SAR bij 500 kHz) [72].

In het praktijkonderzoek is geïnformeerd bij twee grote leveranciers van deze apparatuur. Uit een lijst van een universitair medisch centrum blijkt dat deze twee leveranciers driekwart van de elektrochirurgieapparatuur hebben geleverd. Voor beide leveranciers geldt dat de fabrikant zich buiten Nederland bevindt. De leveranciers hebben bij de fabrikant naar meetrapporten geïnformeerd, maar zonder succes. Eén van de genoemde redenen was dat er nog geen 100% eenduidige definities zijn voor het meten aan elektrochirurgieapparatuur.

Apparatuur voor elektrochirurgie wordt vanwege de mogelijke overschrijding van actiewaarden ingedeeld in categorie IIa.

Overige medische toepassingen

Tot de groep van overige toepassingen behoren bijvoorbeeld toepassingen zoals PEMF (*pulsed electromagnetic fields*; ten behoeve van pijnbestrijding en bevordering van botgroei bij slecht genezende botfracturen) en TMS (*transcranial magnetic stimulation* ten behoeve van depressiebestrijding, waarbij een extern magnetisch veld wordt aangelegd) [58, 73]. Het is onbekend óf en zo ja waar, binnen of buiten ziekenhuizen, hoeveel enz. deze toepassingen in Nederland voorkomen en wat de mogelijke velden voor werknemers kunnen zijn. Bij TMS worden statische magnetische velden van 2 T toegepast, die snel met de afstand afnemen [74]. Karlström *et al.* adviseren om een afstand van minstens 0,7 m tot de apparatuur aan te houden en om de electrodes op een mechanische arm te monteren [75].

Apparatuur voor elektrotherapie met elektroden die op de huid worden geplakt, zijn niet bedoeld voor het produceren van elektromagnetische velden. Voor

toepassingen zoals elektrische dekens, vloerverwarming, couveuse-apparatuur, microscopen, centrifuges, lampen voor fototherapie en dergelijke geldt dat actiewaarden niet worden overschreden [76, 77, 78].

In ziekenhuizen is sprake van een toenemend aantal toepassingen van draadloze technologie, onder andere voor het monitoren van patiënten. Hoewel dit geen directe medische toepassingen van elektromagnetische velden zijn, zijn dergelijke toepassingen wel steeds meer een essentieel onderdeel van de medische praktijk. Uit metingen en berekeningen blijkt dat deze toepassingen niet tot overschrijding van actiewaarden leiden [79]. De hier genoemde overige medische toepassingen worden ingedeeld in categorie I.

3.10 Microgolfdrogen

Microgolfdrogen is een bijzondere toepassing van diëlektrisch drogen. Bij diëlektrisch drogen wordt het te drogen product in een elektromagnetisch veld gebracht. Dat kunnen microgolven met een frequentie van 2450 MHz zijn of hoogfrequente velden met een frequentie van 27 MHz. Meestal wordt het product in een afgesloten ruimte of ‘kast’ gebracht of er via een lopende band doorheen gevoerd. Het veld wordt geproduceerd door een microgolfantenne zoals in een magnetron of in het geval van hoogfrequente velden tussen twee evenwijdige platen. Strooivelden zijn bij dergelijke toepassingen relatief eenvoudig af te schermen. Echter, als deze vorm van drogen bijvoorbeeld in de bouw (SBI-code F Bouwnijverheid) wordt toegepast bij het drogen van vloeren, muren en plafonds is deze afscherming moeilijker te realiseren.

Volgens Hietanen *et al.* worden microgolven (915 en 2450 MHz) toegepast om ‘waterschade aan wanden en vloeren’ te drogen [9]. Zij maken melding van verplaatsbare apparaten met een vermogen van 1 tot 5 kW, waarbij de vermogensdichtheid van de uitgezonden microgolven op 20 cm afstand 10 kW/m² bedraagt. Aan de achterkant van een muur kunnen volgens hen vermogensdichtheden voorkomen van meer dan 1 kW/m², afnemend tot 100 W/m² op 2 m achter de muur. Ook kunnen er velden ontstaan door verstrooiing aan andere oppervlakken in de buurt. De vermogensdichtheid van deze velden kan volgens Hietanen *et al.* oplopen tot boven 50 W/m² op 50 cm afstand. Dergelijke microgolfdrogers zouden volgens hen alleen maar door deskundig personeel mogen worden toegepast.

Er is navraag gedaan of deze apparatuur ook in Nederland wordt toegepast. Via ondermeer de Nederlandse Werkgroep Drogen bleek dat het hooguit gaat om experimentele opstellingen waarin ‘open magnetrons’ worden toegepast ten behoeve van enkele bijzondere toepassingen zoals het ontsmetten van grond [80, 81, 82]. Hierbij geldt wel dat het van belang is er door *interlock* schakelaars voor te zorgen, dat de open magnetron alleen ingeschakeld kan worden wanneer deze

gericht staat op het voorwerp, dus naar beneden gericht op de grond. Uit de interviews bleek ook dat er naar alle waarschijnlijkheid bij die experimenten geen veldsterkten zijn berekend of gemeten. Ook omdat het hooguit om enkele experimentele opstellingen gaat, is niet verder uitgezocht welke vermogensdichtheden door deze experimentele apparatuur worden veroorzaakt. Wel werd in juli 2005 de bestrijding van de bonte knaagkever met microgolven voor het eerst in Nederland toegepast [83]. Omdat actiewaarden worden overschreden en technische maatregelen nodig zijn, wordt deze toepassing in categorie IIb ingedeeld.

3.11 Onderzoekstoepassingen

De onderzoekstoepassingen van elektromagnetische velden zijn vooral zeer divers. Het volledig in kaart brengen van alle toepassingen waar mogelijk actiewaarden worden overschreden is binnen de context van dit rapport niet mogelijk gebleken. Onderzoekstoepassingen zijn vaak nauw verbonden met opleidingsactiviteiten, waardoor het mogelijk is dat relatief onervaren werknemers met of dicht bij dergelijke apparatuur werken. Toch worden onderzoekers en andere werknemers in de R&D afdelingen verondersteld dusdanig veel achtergrondkennis over elektromagnetische velden te hebben, dat ze kunnen inschatten wat hun blootstelling zal zijn. Ook wordt verondersteld dat deze groep daar voldoende rekening mee kan houden, zodat hun blootstelling door het nemen van maatregelen wordt beperkt. Het is echter belangrijk om dit zeker te stellen, dus het is raadzaam dat de werkgever duidelijke instructies verstrekt over de omgang met apparatuur en welke risico's toelaatbaar zijn om te nemen. Ook is het belangrijk om voor diverse onderzoeks- en ontwikkelingsomgevingen beschermingsmaatregelen te nemen.

Onderwijs is in dit verband een bijzondere bedrijfstak. De werknemers kunnen in principe in aanraking komen met alle mogelijke apparatuur die in de overige onderzochte bedrijfstakken wordt toegepast. Het onderwijs dat plaatsvindt bij bedrijven zelf, zoals stages, valt onder verantwoordelijkheid van de desbetreffende werkgever. Het onderwijs bij de onderwijsinstelling zelf, zoals practica, valt wel onder de verantwoordelijkheid van de betreffende instelling.

Mede gezien de diversiteit van de beheersmaatregelen die bij onderzoekstoepassingen moeten worden genomen, is deze werkomgeving ingedeeld in categorie IIa/b.

3.12 Vervoer en tractiesystemen

De belangrijkste kenmerken van de apparatuur die voor vervoer of tractiesystemen wordt gebruikt, zijn de aanvoer en toepassing van hoge stromen en/of spanningen

en de toepassing van elektromotoren. Bij gelijkstroommotoren zijn de noodzakelijke gelijkrichters bronnen van mogelijk sterke velden. Hier wordt onderscheid gemaakt in systemen die bedoeld zijn voor vervoer en de overige systemen met elektromotoren.

Railvervoer

Nederland heeft vooral railvervoer dat vanuit stroomvoerende draden of rails met gelijkstroom wordt gevoed: trein en light rail, metro, tram en trolleybus. De Havenspoorlijn maakt inmiddels gebruik van 25 kV wisselstroom. De Betuwelijn en de Hoge Snelheids Lijn Zuid maken binnenkort ook gebruik van 25 kV wisselstroom en in de toekomst zullen mogelijk alle 1500 V gelijkstroombovenleidingen van de spoorwegen overschakelen op 25 kV wisselstroom [84].

Hietanen, *et al.* melden dat de magnetische veldsterkten voor werknemers aan spoorwegen op een wisselspanning van 50 Hz kunnen variëren van 10 μT tot 6 mT [9]. In de literatuur worden voornamelijk metingen aan wisselstroomsystemen gerapporteerd, omdat die in de meeste landen worden gebruikt. Voor machinisten in Zwitserland zijn overschrijdingen (tot maximaal een factor 4) van de actiewaarde van 1500 μT bij 16 2/3 Hz alleen gevonden ter plaatse van de kuiten en dan ook nog alleen in sommige locomotieven [85, 86].

In Nederland zijn in opdracht van de Projectorganisatie Betuweroute (POBR) metingen gedaan aan de Havenspoorlijn die als proefproject voor de Betuwelijn is gebouwd. Uit metingen en berekeningen aan dit systeem blijkt dat magnetische velden van meer dan 500 μT alleen kunnen voorkomen op korte afstand (orde 10 cm) van draden in de bovenleiding en van spoorstaven (ook in sporen die buiten dienst zijn, maar parallel aan een in bedrijf zijnd spoor lopen, kan stroom lopen).

De huidige bovenleiding in Nederland (1500 V gelijkstroom) wordt gevoed vanuit ongeveer 200 onderstations die op hun beurt worden gevoed via ondergrondse 10 kV kabels. In het onderstation bevinden zich gelijkrichters die zorgen voor wisselspanningsrimpels vooral bij 300 en 600 Hz. Vanwege de relatief lage spanning van 1500 V en de benodigde hoge vermogens, kunnen er stromen in de bovenleiding lopen van 4000 A. De retourstroom loopt via de rails en niet via een extra draad in de bovenleiding, waardoor er geen uitdoving van het magnetische veld optreedt. In Italië, waar ook gelijkstroom wordt gebruikt, zijn waarden niet hoger dan enkele μT 's gemeten [87, 88]. In de metro van Rome zijn de gemeten waarden nog lager.

Door niet-ideale contacten tussen de bovenleiding en de stroomafnemers (pantograaf) op treinen ontstaan er vonken die tot radiofrequente velden boven de 9 kHz leiden [89]. In verband met EMC-problemen zijn in de norm NEN-EN

50121-2 uit 2000 emissielimieten gesteld aan de elektrische en magnetische velden in het frequentiegebied van 9 kHz en 1 GHz. Deze waarden gelden op een afstand van 10 m van het hart van de buitenste spoorlijn en op 3 m van het hek rond een onderstation. Omdat werknemers zich vooral binnen die afstand kunnen bevinden, zijn de metingen volgens deze norm niet bruikbaar voor de toetsing aan actiewaarden uit de richtlijn. Ook de typische maximale elektrische en magnetische velden die in Annex C van deze norm worden genoemd, leveren geen informatie over mogelijke veldsterkten voor werknemers. Een document dat in Italië is opgesteld, bevat een gedetailleerde beschrijving van een methode waarmee metingen op de werkplek van de machinist kunnen worden uitgevoerd, geanalyseerd en gepresenteerd [90]. Deze methode levert een index die aangeeft of de actiewaarden worden overschreden, rekening houdend met het gehele spectrum aan uitgezonden frequenties die niet beperkt blijven tot alleen harmonische bijdragen van 50 Hz. Helaas is deze methode niet tot een vuistregel terug te brengen.

De gelijkstroomsystemen worden in categorie I ingedeeld. Het wisselstroomstelsel dat gebruik maakt van 25 kV wisselstroom wordt in categorie IIa ingedeeld. Het gaat dan vooral om het schouwen van de bovenleiding (blootstelling van het hoofd) en lopen over spoorstaven (blootstelling van de voeten)

Overig vervoer

Naast de rail-systemen zijn er de systemen die via benzine- of dieselmotoren en generatoren elektriciteit opwekken - of uit een accu betrekken - die voor het functioneren van de transportsystemen noodzakelijk is. Voorbeelden zijn: diesellocomotief, bus, auto, motor en bromfiets, kraan- en takelwagen, vorkheftruck, bulldozer, graafmachine, landbouwvoertuig, vaartuigen en vliegtuigen. In de literatuur worden meestal alleen metingen in het ELF-gebied gemeld. Er zijn geen overschrijdingen van actiewaarden gemeld in het ELF-gebied tot 3000 Hz [91] in onder andere de volgende transportsystemen: lift, auto, lichte vrachtauto, elektrisch aangedreven tram, veerboot, conventionele bus, elektrisch aangedreven bus en straalvliegtuig. De metingen worden meestal niet zodanig gepresenteerd dat een goede toetsing over alle relevante frequentiegebieden mogelijk is. Vaak zijn deze metingen breedbandig uitgevoerd. Nicholas *et al.* melden bijvoorbeeld metingen in de cockpit van vier type verkeersvliegtuigen [92].

KEMA heeft in de machinecontrolekamer van een met een dieselmotor aangedreven kustschip bij 50 Hz magnetische velden gemeten van maximaal 26 A/m (actiewaarde 400 A/m). Op de brug van het schip is in het

frequentiegebied tussen 100 kHz en 3 GHz 0,65 V/m gemeten (laagste actiewaarde in dit gebied is 61 V/m) [14]. Ook hier worden geen actiewaarden overschreden.

Op grond van deze metingen worden deze systemen in categorie I ingedeeld.

Elektromotoren

Elektromotoren komen voor in bijna elke machine, van huishoudelijke apparatuur zoals de wasmachine, droger, mixer, e.d., tot een diversiteit aan toepassingen in de industrie, zoals pompen, ventilatoren, transportbanden, centrifuges, molens, hijskranen, zagen e.d. Het zijn vooral de kleine apparaten die op korte afstand van het lichaam worden gebruikt, zoals elektrische scheerapparaten, stofzuigers, boormachines en handzagen, die op enkele centimeters laagfrequente magnetische velden tot 1 mT kunnen veroorzaken [93].

Ferrari, *et al.* hebben EMC-metingen gedaan van magnetische veldsterkten in het frequentiegebied van 9 kHz tot 30 MHz in de buurt van enkele motoren en generatoren met elk een vermogen van 6 tot 200 MW [94]. Op 4 m afstand van deze installaties worden actiewaarden niet overschreden, maar uit deze metingen is moeilijk af te leiden of actiewaarden dichterbij wel worden overschreden. De apparatuur is bovendien gemeten in een testsituatie waarin delen van de afscherming is verwijderd.

KEMA heeft in een metaalverwerkingsfabriek bij 50 Hz op een afstand van 5 cm van onderdelen van een productielijn met elektromotoren een magnetisch veld van maximaal 160 A/m gemeten, wat lager is dan de actiewaarde van 400 A/m [14].

Ook hier geldt weer dat er slechts enkele exemplarische metingen beschikbaar zijn. Uit contacten met buitenlandse deskundigen blijkt dat zij geen meetrapporten kennen waarin melding wordt gemaakt van veldsterkten in de buurt van elektromotoren die de actiewaarden overschrijden [95]. Elektromotoren worden in categorie I ingedeeld.

3.13 Zendinstallaties

Zenders zijn hier verdeeld in drie groepen: twee-weg communicatiezenders, één-weg omroepzenders en radars. Het RIVM heeft in 2004 de blootstelling van leden van de bevolking aan deze zendinstallaties al uitgebreid geanalyseerd [96]. Op plekken die toegankelijk zijn voor leden van de bevolking bleek de blootstelling onder de referentieniveaus en basisrestricties uit de EU-aanbeveling voor leden van de bevolking te blijven [5]. In arbeidssituaties komt het echter voor dat werknemers aan of in de buurt van zenders moeten werken. Doorgaans betekent dit dat er een mogelijkheid is dat de werknemer wordt blootgesteld boven de

actiewaarden wanneer de antenne maar dicht genoeg benaderd wordt. Een en ander is afhankelijk van de gebruikte frequenties, vermogens en de afstanden tot de antennes.

Op zendinstallaties zijn diverse normen van toepassing, zoals 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)'. Deze norm moet in twee productnormen worden gevolgd om vast te stellen of de blootstelling van leden van de bevolking (EN 50385) en de beroepsbevolking (EN 50384) aan de ICNIRP guidelines voldoen [2]. De laatste norm draagt degene die verantwoordelijk is voor het op de markt brengen van het product op om onder meer informatie over de contouren te verschaffen waarbinnen de actiewaarden worden overschreden en ook om informatie te verschaffen hoe het product zo kan worden geïnstalleerd dat werknemers zich buiten deze contouren zullen bevinden. Wanneer deze CENELEC norm wordt gevolgd, zoals de Europese richtlijn opdraagt, betekent dit dat impliciet alle radiobasisstations in categorie IIa vallen, omdat tenminste een contour moet worden aangegeven, met uitzondering van basisstations die minder dan 100 mW vermogen uitzenden, deze vallen in categorie I (EN 50384:2002).

Het is van belang dat werknemers die zendinstallaties installeren en onderhouden goed geschoold zijn. Tijdens hun werkzaamheden moeten ze de veldsterkte kunnen meten en kunnen berekenen onder welke omstandigheden, dat wil zeggen op welke afstand, bij welke frequentie en welk zendvermogen, de veldsterkte boven de actiewaarden komt. Op grond daarvan kunnen maatregelen getroffen worden, zoals het uitschakelen of met lager vermogen laten werken van de zender, een afscherming plaatsen, afstand houden of een beschermend pak dragen dat radiofrequente velden weert. Daarnaast is voor zenders met frequenties boven 100 kHz de zes-minutenregel van toepassing (zie Bijlage 1). Die zegt dat de veldsterkte mag worden vermenigvuldigd met de wortel uit de *duty cycle*. De *duty cycle* is de fractie blootstellingsduur over een willekeurige periode van zes minuten⁵. Dus soms kan ook het verminderen van de blootstellingsduur voldoende zijn.

⁵ Er moet bij frequenties boven 100 kHz gemiddeld worden over E^2 . Dus de waarde van het E-veld moet vermenigvuldigd worden met de wortel uit de *duty cycle*, de ratio van de gebruikte tijd per ongunstigst gekozen periode van zes minuten. Een blootstellingsduur van 30 s aan een veld op 2400 MHz met een veldsterkte van 200 V/m, levert na toepassing van de zes-minutenregel: $\sqrt{(30/360)} = \sqrt{(1/12)} = 0,28$. Het resulterend E-veld is dus $0,28 * 200 = 58$ V/m. Dat is onder de actiewaarde van 137 V/m.

Onderhoudsmedewerkers die niet aan of met zenders werken, maar wel in de buurt ervan, zoals schilders en dakdekkers, dienen goed op de hoogte gesteld te worden van de aan te houden afstand en ook hier kan het vermogen aangepast worden.

De volgende paragrafen geven beknopt de belangrijkste karakteristieken voor het type zender, zoals gebruikelijke vermogens, frequenties en eventuele vuistregels.

Mobiele telefonie: GSM- en UMTS basisstations

Global System for Mobile Communications (GSM) en Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) worden gebruikt voor mobiele telefonie. Een macrocellulair basisstation bedient een straal van ongeveer 35 km en bestaat uit een mast met een aantal antennes. Per antenne kunnen meer zend-ontvangstinstallaties worden aangesloten. Daarnaast bestaan er ook micro- en picocellulaire basisstations die voor dekking zorgen in gebouwen. Macrocellulaire basisstations worden doorgaans met instemming van bewoners en eigenaars geplaatst op daken van hoge gebouwen. Afspraken tussen overheid en de providers van mobiele telefonie over het omgaan met de opstelpunten zijn vastgelegd in het Antenneconvenant [97]. De antenne straalt doorgaans in een horizontale van het gebouw afgerichte bundel (Figuur 8). Mensen die werken op het dak kunnen dan boven de actiewaarden worden blootgesteld, mits ze de antennes dicht genoeg naderen, en voldoende lang worden blootgesteld.

In Nederland zijn er twee frequentiebanden waarop zenders voor GSM opereren: de 900 MHz-band (880-960 MHz) en de 1800 MHz-band⁶ (1770-1880 MHz). Uit de informatie van het Agentschap Telecom (AT-EZ) van april 2003 blijkt dat er in Nederland 55.104 zend/ontvangers staan, 21.669 in de 900 MHz-band en 33.435 in de 1800 MHz-band. Op respectievelijk 3.339 en 8.237 unieke locaties⁷. In totaal zijn er 11.140 unieke locaties. Dat betekent dat er 436 locaties van 900 MHz en 1800 MHz overlappen⁸. Het UMTS-telefonienetwerk werkt op frequenties tussen 1920 en 2170 MHz. Het moet in 2007 operationeel zijn in steden met meer dan 25.000 inwoners, langs de verbindingswegen tussen die steden, langs grote autosnelwegen en bij de luchthavens. Het Nationaal Antennebureau meldt op zijn website: ‘... Er zijn in Nederland ongeveer 16.000 antenne-installaties voor GSM en 3.500 antenne-installaties voor UMTS. Een antenne-installatie bestaat meestal uit drie antennes, waardoor er op dit moment ongeveer 58.000 antennes voor

⁶ 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.

⁷ ‘Unieke locatie’ betekent hier een unieke combinatie van x - en y -coördinaten (als ruwste afgerond op 50 m).

⁸ Aantal overlappende opstelpunten = totaal GSM900+GSM1800 minus totaal unieke opstelpunten = 11.576 - 11.140 = 436.

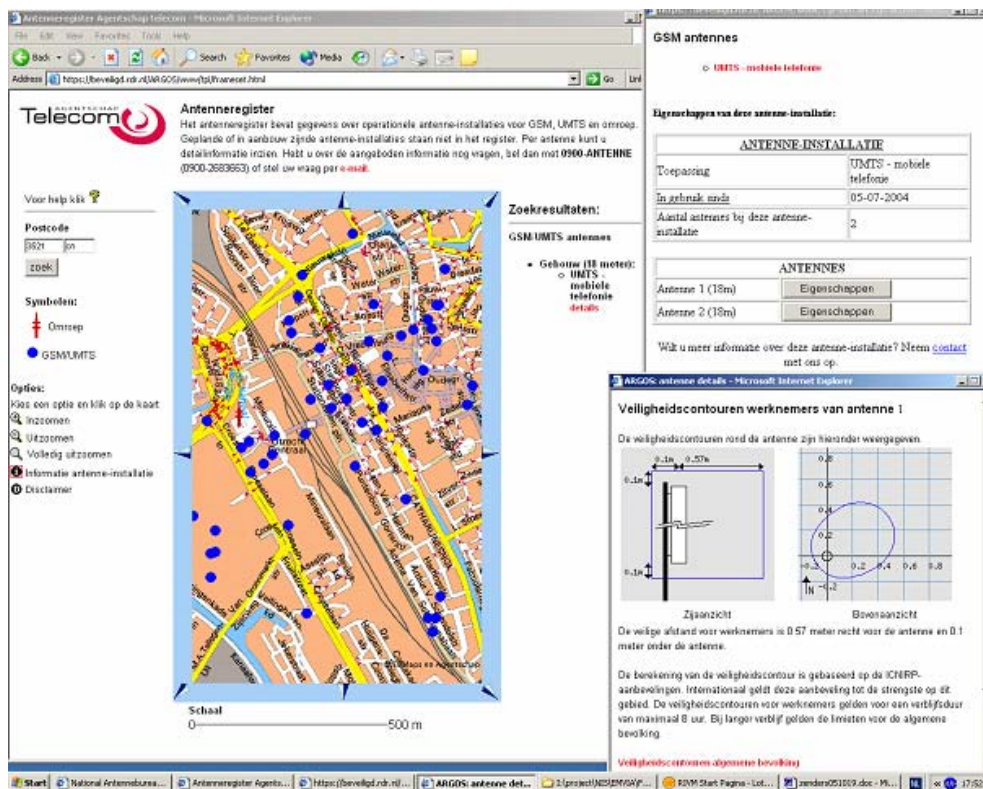
mobile telecommunicatie in Nederland geplaatst zijn. ...' [98]. Dergelijke getallen worden ook genoemd in het rapport Evaluatie Nationaal Antennebeleid uit februari 2006 [99, pag. 29].



Figuur 8 Voorbeeld van een dakopstelling van GSM-antennes

De GSM- en UMTS-providers registreren periodiek hun GSM- en UMTS-masten in het Antenneregister [100]. Het Antenneregister van het Nationaal Antennebureau geeft deze geregistreerde GSM- en UMTS-antennes in Nederland op een kaart weer. Per antenne in het register is voor zowel de leden van de algemene bevolking als de werknemers een plaatje met een veiligheidscontour aangegeven (Figuur 9). Uit het register blijkt dat de afstanden waar de actiewaarden overschreden worden, tussen de 1 en de 3 meter voor de antenne liggen. Hierbij zijn de cumulatieve effecten van meerdere zenders niet

meegenomen. Er zijn wel voorbeelden van metingen en berekeningen bekend om de veiligheidscontour bij gelijktijdige blootstelling aan velden van meerdere GSM-antennes vast te stellen [101]. Daarnaast geldt dat de zes-minutenregel mag worden toegepast (zie Bijlage 1), mocht de werknemer zich toch ophouden in het gebied waarbinnen de actiewaarden worden overschreden.



Figuur 9 Veiligheidscontouren van basisstations zijn in het Antenneregister van het Agentschap Telecom (AT-EZ) te vinden.

Via de website van hun samenwerkingsverband, MoNet, stellen de vijf providers van mobiele telecommunicatie software ter beschikking aan de werkgevers en eigenaren van daken met antenne-installaties om deze te helpen met het opstellen van hun RI&E [102]. Het programma ondersteunt werkgevers om werknemers te informeren hoe zij zonder blootgesteld te worden boven de actiewaarden, kunnen werken in de buurt van antennes voor mobiele telecommunicatie. Volgens MoNet bestaat bij normale werkzaamheden op het dak geen gevaar voor overschrijding van de actiewaarden omdat vrijwel alle antennes meer dan manshoog zijn bevestigd. Dat betekent dat werknemers dan niet blootgesteld worden, omdat de vrijwel horizontale waaiervormige hoofdbundel over het hoofd van de werknemer

straalt. Het Antennebureau raadt echter aan om een halve meter onder de antenne te blijven.

Zodra men dicht in de buurt van de antenne moet komen (of het totaal van antennes) dan kunnen maatregelen genomen worden, zoals het uitzetten van de antenne, het verminderen van het zendvermogen of het verkorten van de blootstellingsduur. GSM-basisstations en UMTS-basisstations zijn desondanks in categorie IIa ingedeeld.

Mobiele telefonie: TETRA-zenders

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) [103, 104] het C2000 netwerk uitgerold. Dit is het netwerk voor mobiele communicatie voor de politie, brandweer, ambulancediensten en de Koninklijke Marechaussee. Commerciële zelfbouwnetwerken worden wel geadverteerd door de fabrikanten, maar zijn in Nederland nog niet wijdverspreid in gebruik.

Aan TETRA zijn verschillende frequentiebanden toegewezen tussen 380 en 465 MHz. Het C2000-netwerk werd geplanned op 390 opstelpunten: 320 nieuwe vakwerkmasten en 70 bestaande masten of dakopstellingen [105]. Bij de oplevering van het C200-netwerk in juli 2004 waren er 386 opstelpunten gerealiseerd [106]. In 2006 meldt de C2000-website dat er nu 450 opstelpunten zijn [104]. Zij staan in het middelpunt van cellen met een straal van 1 tot 6 km [107]. 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)⁹ netwerk. De vierde antenne is een speciale antenne voor luchtmobiele communicatie. Deze zal slechts in 24 van de 390 masten geplaatst worden [108]. 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 [104]. 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 *Time Division Multiple Access* (TDMA) protocol met vier tijdsloten [109]. Basisstations zenden typisch met een maximaal

⁹ Dit net staat ook wel bekend als *paging* netwerk.

zendvermogen van 25 W. Het flexnet gebruikt een frequentieband van 154 tot 174 MHz in combinatie met een zendvermogen tot 150 W [107].

Op basis van TNO-metingen [110], berekeningen gepubliceerd op de C2000-website [104] en metingen van de NRPB [111] blijkt dat aan de voet van de masten en op de plaats waar de hoofdbundel het maaiveld raakt de veldsterktes onder de referentieniveaus liggen uit de EU-aanbeveling voor bescherming van leden van de bevolking. In het horizontale vlak van de bundel bedraagt de afstand waarbinnen de actiewaarden worden overschreden ongeveer twee meter [111].

TETRA-zenders in masten vallen in categorie IIa. Werknemers worden alleen blootgesteld boven de actiewaarden wanneer ze in de mast klimmen. In dat geval moeten of de zenders worden uitgezet, of het zendvermogen verminderd worden, of de blootstelling door de tijdsmiddeling onder de grenswaarden blijven of een radiofrequentwerend pak gedragen worden. Een radiofrequent werend pak heeft echter als nadeel dat in de praktijk geen zware werkzaamheden kunnen worden verricht, maar hooguit lichte inspanningen zoals het meten van de veldsterkte. Uitzetten van de zender of verminderen van het zendvermogen heeft als nadeel dat de dekking van het C2000 netwerk te klein kan worden, wat als gevolg heeft dat de communicatie tussen de hulpdiensten niet meer voldoende kan zijn.

Portofoons/mobieltjes: GSM-telefoons

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 [112]. 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 [113]. 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. Afhankelijk van de afstand tot het basisstation kan de *Automatic Power Control* (APC) de verzonden hoeveelheid energie tot een factor 1000 verminderen [114]. 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. 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 [115]. 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 één nachtste van de tijd gezonden kan worden [114].

Omdat de GSM-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, en is het ook mogelijk dat lokaal de actiewaarden overschreden kunnen worden. Daarom moeten de SAR-waarden berekend worden. In Nederland is dat gedaan in het THERMIC-project dat in 1999 is uitgevoerd door het toenmalige TNO-FEL in samenwerking met het toenmalig Academisch Ziekenhuis Utrecht (AZU) [116]. 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. Hiermee worden noch de basisrestricties, noch de actiewaarden overschreden. 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.

Portofoons/mobieltjes: UMTS-telefoons

UMTS-telefoons werken met een vermogen van maximaal gemiddeld over zes minuten met 0,125 W. Aangezien de blootstellingssituatie, op de zendfrequentie na, sterk gelijk is op die van GSM-telefoons met een vermogen van 0,125 W, is het vermoeden dat ze niet zullen leiden tot blootstelling boven de grenswaarden.

Portofoons/mobieltjes: TETRA-portofoons en -voertuigzenders

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 [117].

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 [109].

TNO berekende met een computermodel gebaseerd op een MRI-scan de maximale SAR 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 [109] en NRPB [111] 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 [111] 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 grenswaarden.

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 [118].

TETRA-installaties die zich op 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 voor leden van de algemene bevolking zoals genoemd in de Europese aanbeveling [5], en dus ook niet van de grenswaarde geven, omdat het voertuig het veld afschermt. Voor werknemers die zich buiten, dicht bij de antenne bevinden, zouden de grenswaarden kunnen worden overschreden wanneer het hoofd zich op enkele centimeters en gedurende enkele minuten bij de antenne op een voertuig bevindt, terwijl meer dan één tijdslot wordt benut [111]. Echter, de blootstelling neemt snel af met de afstand.

Alle GSM- en UMTS-telefoons en TETRA-portofoons vallen in categorie I omdat de grenswaarden niet overschreden worden. TETRA-zenders op voertuigen met een zendvermogen van 10 W vallen in categorie IIa.

Draadloze verbindingen

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.

Draadloze verbindingen: 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 de 2,6 GHz- (2530 - 2667 MHz) de 3,5 GHz- (3500 - 3580 MHz) en de 26 GHz-band [119]. Elke operator die gebruik maakt van PMP systemen, moet ten minste 20 basisstations bouwen, elke operator die gebruik maakt van MP-MP systemen, zal tenminste 300 aansluitpunten (*terminals*) moeten bouwen. 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 [120] 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 [121]. 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 voor de eerder genoemde systemen of rond 20 W voor DS-CDMA.

In de richting van de hoofdstraal kan de versterkingsfactor van een bundelende antenne leiden tot een grotere vermogensdichtheid op dezelfde afstand in de bundel dan een isotroop uitzendende antenne met hetzelfde vermogen. Voor de 2600 MHz band en voor de 3500 MHz band leidt dit tot afstanden in de hoofdbundel waarbinnen de actiewaarden worden overschreden van maximaal 0,9 m.

WLL-systemen vallen in categorie IIa omdat een afstand tot de antenne moet worden aangehouden.

Draadloze verbindingen: 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. Opstelpunten zijn doorgaans op hoge gebouwen, masten en de zendertorens. Om bij deze straalzenders in de buurt te komen is het gebruikelijk dat er (schriftelijk) toestemming moet worden gevraagd. Dit is mede om te controleren of de blootstelling niet boven de actiewaarden kan komen. Omdat straalzenders tot doel hebben hun energie in een zo strak mogelijke bundel te zenden of te ontvangen, geldt als vuistregel dat zolang men niet in de bundel, dus voor de schotel gaat staan, de actiewaarden niet worden overschreden.

De vaste verbindingen zijn doorgaans vergunningsplichtig. 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. De ERP¹⁰ vermogens variëren van 0,01 W tot 63 kW.

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 [122] heeft een straalzender ongeveer op een achtste verreveldafstand in de hoofdbundel zijn maximale vermogensdichtheid. Deze is in het nabijevel bij benadering gelijk aan vier maal het beschikbare vermogen gedeeld door de diameter van de schotel in het kwadraat [123]. Voor een gangbaar vermogen van 130 mW en een diameter kwadraat van $0,09 \text{ m}^2$ leidt dat tot $5,8 \text{ W/m}^2$, ofwel 12% van de actiewaarde van 50 W/m^2 . Dus zelfs in de bundel kan de actiewaarde niet overschreden worden.

Kleine straalzenders gebruikt bij GSM-basisstations, waarbij het vermogen wordt beperkt tot 1 W en een schoteldiameter van 30 of 60 cm, vallen in categorie I.

¹⁰ ERP staat voor *Effective Radiated Power* en is het vermogen dat nodig is als de zender als een halve-golflengte dipool zou uitzenden en toch dezelfde vermogensdichtheid bij de ontvanger teweeg zou brengen. Bij een bundelende antenne is het ERP dus groter dan het feitelijke *input* vermogen.

Straalzenders vallen in categorie IIa. Zolang men niet in de bundel, dus voor de schotel gaat staan, worden de actiewaarden niet overschreden.

Omroep

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 [124] wordt ernaar gestreefd om de analoge zenders op termijn te vervangen door digitale zenders. Op de website van het Antenneregister kunnen de locaties en gegevens van de landelijke analoge en digitale omroepzenders gevonden worden [100]. Net als voor de GSM- en UMTS-basisstations worden de contouren voor werknemers gegeven waarbinnen de actiewaarden worden overschreden. De AM-zenders en de lokale en regionale zenders ontbreken. Op de website van het Agentschap Telecom kan men voor iedere TV-zender de frequentie, de locatie en het vermogen opzoeken [125].

In maart 2006 variëren de vermogens van de 56 analoge televisiezenders tussen de 0,1 en 1000 kW ERP. Er zenden 18 zenders met 1 kW of minder en 38 zenders met 100 kW of minder. Er zijn vier zenders die met 1000 kW zenden. De vermogens van de 111 operationele digitale TV-zenders variëren tussen 0,1 en 18 kW ERP, 60% van de zenders heeft een vermogen van 5 kW of minder. Er zijn ook nog 324 digitale TV-zenders in coördinatie. De digitale zenders hebben dus een lager vermogen dan de analoge en daarmee ook kleinere contouren waarbinnen de actiewaarden overschreden worden. Ook de digitale radiozenders zoals de *Terrestrial Digital Audio Broadcasting* (T-DAB), een in Europees verband ontwikkelde opvolger voor de analoge FM en de opvolger van de analoge AM, de *Digital Radio Mondial* (DRM) hebben lagere vermogens dan de analoge FM- en AM-zenders.

Het Agentschap Telecom onderscheidt lokale, regionale en landelijke zenders. Lokale zenders produceren maximaal 100 W ERP en zijn bedoeld om een gebied met een straal van ongeveer 5 km te bestrijken. Regionale zenders kunnen zenden met een vermogen tot enkele kilowatts ERP. Lokale zenders staan meestal op daken en masten, regionale zenders staan op daken, maar ook op antennemasten en –torens. Omroepzenders zijn in dit rapport opgedeeld in kleine en grote omroepzenders. Met kleine omroepzenders worden de lokale en regionale zenders die op daken staan, bedoeld.

Landelijke FM- en TV-omroepzenders staan doorgaans in vrijstaande masten en omroeptorens of op masten bovenop gebouwen. Meestal worden dergelijk opstelpunten gedeeld met andere zendantennes. Werknemers die dergelijke masten

beklimmen gaan vrijwel altijd door de contouren waarbinnen de actiewaarden worden overschreden. Metingen in het Verenigd Koninkrijk uit 2004 laten zien dat werknemers in masten bij VHF en UHF omroepzenders in ieder geval piek blootstellingen buiten de range van de persoonsdosimeter (126% van de actiewaarde) ervaren [126]. Ook zijn er in een zendmast in Finland ter hoogte van FM-zenders overschrijdingen bekend van vijf maal de actiewaarde. Voor VHF-TV antennes is deze doorgaans lager dan voor FM-antennes, maar de actiewaarden kunnen nog steeds overschreden worden. De actiewaarden werden enkele tientallen malen overschreden bij UHF-antennes bovenin een mast. Niet alleen de zenders, maar ook de secundaire emissie door aanliggende mastdelen zorgen voor blootstelling. Hierdoor is de blootstelling niet eenvoudig vast te stellen, anders dan door metingen [127]. Ook digitale TV-antennes met vermogens van 15 kW ERP kunnen voor blootstellingen zorgen van enkele malen de actiewaarden [128].

Het kortegolf AM-zenderpark staat in de Flevopolder en 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 actiewaarden mogelijk. Er is dan ook een groot terrein afgezet voor het publiek. Middengolf AM-zenders gebruiken hoge, rondstralende antennes die op de grond staan. De hele mast van typisch 200 m hoogte fungeert als antenne. Er zijn 15 middengolfzenders in gebruik met vermogens van 3 tot 3300 W EIRP. Doorgaans is de omgeving van de antenne afgezet, zodat buiten de omheining de referentieniveaus niet overschreden worden, en de actiewaarden dus ook niet. Uit voorbeelden van berekeningen van Dahme [129] 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 bedragen enkele malen de actiewaarde van 61 V/m.

Naast actiewaarden voor directe blootstelling aan elektromagnetische velden, gelden voor frequenties tot 110 MHz ook actiewaarden voor contactstroom. Contactstromen kunnen optreden bij aanraking van metalen voorwerpen in een elektromagnetisch veld. In 2002 zijn rapporten van TNO [130] en het Agentschap Telecom [131] uitgekomen met metingen aan een AM-zender bij Trintelhaven. 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 0,16 A/m voor het magnetische veld. TNO heeft een maximaal elektrisch veld met een sterkte van 60 V/m gemeten en een maximale stroom in het voorstag van 0,3 A. Uit aanvullende metingen van TNO 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 uit 2000 wordt aangehouden overschrijden de gemeten veldsterktes deze waarde (100 V/m) niet [132].

Grote omroepzenders vallen in categorie III. Het is zeker dat de actiewaarden overschreden worden. Doorgaans kunnen er geen eenvoudige maatregelen genomen worden.

Kleine (lokale en sommige regionale) FM-zenders staan ook opgesteld op gebouwen en vallen door hun eenvoudige voorkomen mogelijk niet op voor dakwerkers. Deze zenders zijn nog niet opgenomen in het Antenneregister. Totdat dit wel het geval is, en er duidelijkheid is over de veiligheidscontour, vallen ze in categorie IIb. Voorzichtigheid is dus vooralsnog geboden, en een extra inspanning als meten ter plekke is raadzaam.

Zenders van zendamateurs vallen om dezelfde redenen als de regionale FM-zenders ook in categorie IIb.

Radar

Radar is een afkorting voor het Engelse *Radio Detection And Ranging*. 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 van de frequentie van het aan een bewegend object weerkaatste signaal.

Er zijn verschillende typen 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. 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 niet wanneer hij landinwaarts gericht is, of is er een afscherming voor de bundel aangebracht. Een dergelijke 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* vermenigvuldigd 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-richtlijn staat dat voor de piekwaarden van gepulste elektromagnetische velden moet gelden dat de vermogensdichtheid gemiddeld over de pulsbreedte niet meer mag bedragen dan 1000 maal de equivalente vermogensdichtheid of dat de veldsterktes niet meer dan 32 maal de actiewaarden bedragen die gelden voor de draagfrequentie.

Jokela en Puranen [127] geven typische waarden voor de vermogensdichtheid in de hoofdbundel van een radar vlak voor de antenne. Deze waarden bedragen voor vaste radars tussen 100 en 1000 W/m². Dat betekent dat op enkele honderden meters de actiewaarde in de hoofdbundel overschreden kan worden. Echter, bij roterende radars bevindt men zich meestal buiten de hoofdbundel en is de gemiddelde vermogensdichtheid in gebieden toegankelijk voor werknemers zelden hoger dan 1 W/m². Het piekvermogen is typisch 100 tot 10000 maal hoger dan het gemiddelde. Bij gepulste radars variëren de pulsbreedtes tussen 0,1 tot 100 µs. Het kan voorkomen dat wanneer een radarbundel het hoofd raakt de grenswaarde van 100 mJ/m² voor korte microgolfpulsen (< 30 µs) overschreden wordt, terwijl de actiewaarde voor gemiddelde vermogensdichtheid niet wordt overschreden.

Radar kent vele toepassingen in Nederland. Navigatieradars worden onder andere gebruikt in de scheepvaart en in de luchtvaart. Daarnaast zijn er weerradars zoals de neerslagradar en de *windprofiler* van het KNMI. 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, is een verdere inschatting van radar niet mogelijk.

Aangezien weerradars omhoog gericht staan en de bundel dus geen personen raakt en blootstelt, vallen ze in categorie I.

Radars zoals gebruikt door de politie bij snelheidsmetingen in het verkeer, waarbij de bundel dus is gericht van de bediener af en op het voertuig waarvan de snelheid wordt gemeten, vallen in categorie I. Hun veldsterkte blijft onder de actiewaarde.

Overige radars vallen in categorie IIb. Door de hoge vermogens is het mogelijk dat bij vaste radars in de hoofdbundel op honderden meters de actiewaarden overschreden worden. Hoewel bij roterende radars door de *duty cycle* de gemiddelde blootstelling afneemt met enkele honderden of duizenden malen, is het noodzakelijk om bij iedere radar vast te stellen door middel van metingen of

berekeningen welke zone door werknemers niet mag worden betreden. Deze zone kan dan bijvoorbeeld worden afgezet of op de grond worden aangegeven. Deze praktijk wordt door de Nederlandse marine op schepen toegepast.

3.14 Overige werkomgevingen

Tot slot is er apparatuur die niet goed in één van de voorgaande groepen is in te delen. Deze is in een groep ‘overige’ ingedeeld. Het betreft apparatuur zoals bandenwissers (*tape erasers*), inductiekookplaten, radiofrequente- en microgolfverlichting en niet-destructief magnetisch onderzoek.

Inductiekookplaten maken gebruik van frequenties tussen 20 en 50 kHz en vermogens van enkele kilowatts [25]. De inductiekookplaat warmt voedsel op door eerst energie toe te voeren aan een inductieve spoel die vervolgens magnetische velden opwekt, die weer leiden tot kringstromen in de pan. Deze kringstromen wekken ten slotte weer warmte op. Uit diverse berekeningen blijkt dat de basisrestrictie uit de Europese aanbeveling [5] voor de hele lichaamsSAR niet wordt overschreden [25]. Uit metingen aan twee typen 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 [64]. 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 [133]. Aangezien uit berekeningen blijkt dat de basisrestricties uit de Europese aanbeveling niet worden overschreden en ook uit metingen blijkt dat de actiewaarden niet overschreden worden, vallen inductiekookplaten in categorie I.

Niet-destructief magnetisch onderzoek wordt gebruikt voor het aantonen van onvolkomenheden aan of dicht onder het oppervlak van materialen van ijzer en staal [134]. Deze methode wordt op vele (industriële) locaties toegepast bij het controleren van lasnaden, buisleidingen, etc. Bij de juk-methode (*hand yoke*) wordt het apparaat waarin zich een spoel bevindt meestal met de hand tegen het materiaal gedrukt. Cooper meldt dat meestal alleen handen en ledematen boven de actiewaarden worden blootgesteld [8]. Uit het praktijkonderzoek is gebleken dat er in Nederland metingen zijn gedaan: bij gebruik van wisselstroom (50 Hz) is ter plaatse van de handen 6000 μT gemeten en op 0,5 m afstand 200 μT ter plaatse van de borst van de operator. Het hoofd en de romp bevinden zich meestal op armlengte afstand van de apparatuur. Cooper concludeert dat in situaties waar het hoofd of de romp (hersenen en ruggenmerg) van de werknemer aan magnetische velden boven de actiewaarde wordt blootgesteld een kans bestaat dat ook grenswaarden worden overschreden. Dit zal echter afhangen van de ruimtelijke verdeling van het magnetische veld dat door de apparatuur wordt veroorzaakt. Niet-destructief magnetisch onderzoek wordt in categorie IIb ingedeeld.

4 Inventarisatie van methoden

Om te kunnen beoordelen of actiewaarden wel of niet worden overschreden, is een verzameling vuistregels en rekenregels geformuleerd. Vuistregels zijn eenvoudig gereedschap en moeten door niet-deskundigen toe te passen zijn. De gegevens voor de vuistregels zijn zoveel mogelijk ontleend aan CENELEC/NEN-normen en standaardboeken [135, 136]. Daarnaast is gebruik gemaakt van documenten van diverse gezaghebbende instituten zoals ICNIRP [2, 35], NRPB [137], HSE [11] en ILO [27].

De methoden die in het stroomschema (Figuur 3) zijn opgenomen, zijn in dit hoofdstuk nader omschreven.

4.1 Vuistregels, rekenregels en normen - algemeen

In het ideale geval zou voor elk type apparaat een meetrapport beschikbaar moeten zijn waarin de werkgever per mogelijke toepassing en instelling van het apparaat zou kunnen opzoeken hoe sterk de velden dan zijn. De werkgever zou daarmee te allen tijde zelf kunnen bepalen of actiewaarden worden overschreden. Echter, deze ideale situatie komt slechts zelden voor. Er zijn ook niet voor iedere soort apparatuur CENELEC normen. Voor diëlektrische verwarming en inductieverwarming bestaan ze bijvoorbeeld nog niet. Om te kunnen beoordelen of actiewaarden of grenswaarden worden overschreden, wordt hier een verzameling vuistregels en rekenregels geformuleerd.

Tijdens een internationale, wetenschappelijke workshop over de invoering van de richtlijn (Warschau, 5-7 september 2005) bleek dat CENELEC geen expliciete vuistregels gaat opstellen, ondanks het feit dat lang niet iedere werkgever kennis van elektromagnetische velden heeft en voor kleine ondernemingen inschakelen van deskundigen om te meten en te rekenen een kostbare aangelegenheid kan worden. Wel bevatten diverse productnormen al vuistregels. De voorzitter van CENELEC werkgroep TC106x merkte op dat: ‘... door de op verscheidenheid aan – en zelfs op maat gemaakte – toepassingen er een oneindige lijst van apparatuur zou moeten worden opgesteld. ...’. Op de workshop kwamen als veiligst voor de werknemer en als kostenbesparendst voor werkgever twee alternatieven voor vuistregels en zelf meten naar voren. Ten eerste pleit men voor het opstellen van een EU-database van metingen aan elektromagnetische velden per apparaat. Hiervoor moet dan wel worden afgesproken wie dit betaalt, beheert en beoordeelt welke metingen goed genoeg zijn uitgevoerd om opgenomen te worden. Ten tweede geldt als meest kansrijke initiatief de verplichting aan fabrikanten van apparatuur om aan te geven wat de veroorzaakte velden zijn door middel van een tabel of formule en door het aangeven van een contour waarbinnen de

grenswaarden kunnen worden overschreden bij normale bedrijfsvoering en een contour bij maximaal vermogen.

Disclaimer

De hiergenoemde vuistregels, gebaseerd op bestaande CENELEC normen en algemeen geaccepteerde wetenschappelijke inzichten, vervallen zodra CENELEC in toekomstige normen vuistregels publiceert om veldsterktes in te schatten in een van haar normen (generieke, workplace-, basis-, en productnormen). Ook zal CENELEC waarschijnlijk in de algemene survey-norm een lijst met toepassingen geven waar voor geldt dat overschrijding van de grenswaarden niet voorkomt. Uiteraard zal die CENELEC-lijst prevaleren over de in dit rapport genoemde categorie I werkomgevingen.

4.2 Generieke vuistregels

Eind 2005 is een basisstandaard prEN 50413:2005 in ontwikkeling voor meten en berekenen: 'Basisstandaard voor meet- en rekenprocedures voor menselijke blootstelling aan elektrische, magnetische en elektromagnetische velden (0 Hz – 300 GHz)'. Deze geeft uitgebreide meet en berekeningsmethodes. Daarnaast is er norm NEN 50392:2004: 'Algemene norm om de overeenstemming aan te tonen van elektronische en elektrische apparaten met de basiseisen voor de blootstelling van de mens aan elektromagnetische velden (0 Hz – 300 GHz)'. Op het moment (september 2005) wordt er een generieke norm opgesteld voor de blootstelling van werknemers door Werkgroep 4 van Technische Commissie TC106x van CENELEC. De hier genoemde regels stemmen zoveel mogelijk overeen met de bestaande (pre)normen en de draft van Werkgroep 4.

Verrevelt en nabijeveld

Een elektromagnetisch veld is opgebouwd uit verschillende elektrische en magnetische veldcomponenten. Deze componenten hebben een andere richtingsvector en hebben verschillende eigenschappen. Zo nemen ze verschillend af in sterkte naarmate de afstand tot de bron groeit, en beschrijft een deel de energie die in de buurt van de bron blijft en een deel beschrijft de energie die van de bron af reist, de zogenaamde straling. Ruwweg ontstaat een elektrisch veld door een spanningsverschil, dus door een lading(sverschil). Een magnetisch veld ontstaat bij een bewegende lading, dus door stroom. Iedere stroom gaat dus gepaard met zowel een elektrisch als een magnetisch veld. Afhankelijk van de afstand tot de bron overheersen veldcomponenten met andere richtingsvectoren en eigenschappen. In het gebied in de buurt van de bron heerst het nabijeveld, op grotere afstand heerst het verrevelt. Het verreveltgebied begint waar de afstand tot de bron groot genoeg is om van een gekoppeld elektrisch en magnetisch veld te spreken waarvan de veldcomponenten loodrecht op elkaar staan, een zogenaamd

elektromagnetisch veld. Daarbij moet dit veld lokaal als een vlakke golf kunnen worden beschouwd, zodat de blootstelling uniform is over het lichaam of lichaamsdeel. In het verreveldgebied heerst het stralende deel van het veld. In het verreveld geldt de volgende relatie tussen het elektrische veld (E-veld) in volt per meter (V/m) en de magnetische fluxdichtheid (B-veld) in tesla (T) of het magnetische veld (H-veld) in ampère per meter (A/m):

$$\frac{E}{H} \approx \mu_0 \frac{E}{B} \approx 377 \text{ Ohm } (\Omega),$$

met μ_0 de magnetische permeabiliteit in vacuüm ($= 4 \pi 10^{-7} = 1,25664 \cdot 10^{-6}$ henri per meter (H/m)), hier bij benadering de permeabiliteit voor lucht gebruikt. Het is dus genoeg om alleen het elektrische veld of alleen het magnetische veld te meten om vast te stellen of de actiewaarden niet worden overschreden.

In het nabijevelsgebied zijn de magnetische en elektrische velden niet meer gekoppeld, en moeten de bijdragen van beide velden los van elkaar geëvalueerd worden. Bij blootstelling in het nabijevel gebied is de blootstelling niet meer uniform en zijn de actiewaarden conservatief. Dat wil zeggen dat bij overschrijding van de actiewaarden het heel goed mogelijk is dat de grenswaarden niet overschreden worden [2, pag 510]. Echter, om er zeker van te zijn dat de grenswaarden niet worden overschreden, moet dan de stroomdichtheid of de SAR-waarde zelf berekend of gemeten worden in plaats van de actiewaarden.

Norm EN 50392:2004 geeft enkele formules voor het berekenen van verre- en nabijevelen. Het verreveld begint op een afstand r van de bron, waarvoor geldt:

$$r > \frac{2D^2}{\lambda},$$

hierin is D de maximale afmeting van de antenne en λ de golflengte beide in meters.

Root-Mean-Square (RMS) waarde

Volgens de richtlijn moeten de *Root-Mean-Square* (RMS) waarden van een veld getoetst worden aan de actiewaarden. De RMS-waarde is de wortel uit het tijdsgemiddelde van het kwadraat van de veldsterkte. 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 (exact half wortel twee maal) de maximale waarde.

Uniform vs. niet-uniform: koppelingsfactor

In het nabijeveld geldt dat de blootstelling afhankelijk is van de ruimtelijke verdeling van het elektrische of het magnetische veld, de gebruikte frequentie, de soortelijke geleiding van weefsel σ , de diëlektrische permittiviteit van het weefsel ε , het contact van het lichaam met de aarde en de machine, en de houding en daarmee de geometrie van de blootgestelde persoon.

De actiewaarden en de grenswaarden zijn opgesteld voor blootstelling aan een uniform, homogeen veld in het verreveldgebied voor de desbetreffende blootstelling. Voor blootstelling aan niet-uniforme velden wordt vaak een koppelingsfactor gebruikt die corrigeert voor de niet-uniforme verdeling van het veld en tevens de afhankelijkheid van de frequentie, de soortelijke geleiding en de diëlektrische eigenschappen in zich heeft.

Voor niet-uniforme magnetische velden is de koppelingsfactor volgens prEN 50392:2002:

$$k(d, f, \sigma) = \frac{J_{\max}(d, f, \sigma)}{B_{\max, \text{Sensor}}(d, A_{\text{Sensor}})},$$

waarin $J_{\max}$ de maximaal gemeten stroomdichtheid in ampère per vierkante meter (A/m^2) is, d de afstand van het midden van de stroomkring tot de bron in meter (m), f de frequentie in hertz (Hz) en $B_{\max, \text{Sensor}}$ de maximaal gemeten magnetische fluxdichtheid in tesla (T). De parameter A_{Sensor} staat voor de oppervlakte van de desbetreffende sensor; deze bepaalt de maximaal te meten magnetische fluxdichtheid. Voorts wordt doorgaans 0,2 siemens per meter (S/m) aangehouden voor de soortelijke geleiding σ van een homogeen lichaamsmodel. Voor velden die niet diep doordringen wordt ook 0,1 S/m gebruikt. De norm geeft een tabel met de soortelijke geleiding per frequentie voor diverse weefseltypen. Door toepassen van deze koppelingsfactor mag er een veel hogere veldsterkte gemeten worden dan de actiewaarden terwijl er nog wel wordt voldaan aan de grenswaarden.

De koppelingsfactor k geeft dus een mogelijkheid om te berekenen wat de overschrijding van de actiewaarden mag zijn. De wegingsfactor W waarmee de gemeten B_{RMS} moet worden gewogen alvorens aan de actiewaarde B_L bij een betreffende frequentie L te toetsen, bedraagt:

$$W = \frac{k}{J_L},$$

waarin J_L de grenswaarde voor blootstelling voor de stroomdichtheid voor de betreffende frequentie L is. De norm voor huishoudelijke apparatuur, EN 50366: 2003 geeft tabellen met koppelingsfactoren voor huishoudelijke apparatuur, die overigens in prA1 EN 50366 van maart 2005 al ingrijpend zijn gewijzigd. De term ‘koppelingsfactor’ is niet in alle gevallen op dezelfde manier gedefinieerd. Het

verdient aanbeveling om bij elke norm en voorschrift te controleren wat de term behelst.

Voor het niet-uniforme elektrische veld bestaan ook koppelingsfactoren. HSE [11] geeft een voorbeeld bij blootstelling aan apparatuur voor diëlektrische verwarming op 10, 27 en 40 MHz en geeft ook koppelingsfactoren.

Generieke vuistregels

Bij frequenties van 1 Hz tot 10 MHz is de bescherming gebaseerd op geïnduceerde stroom door een elektrisch veld (E-veld) of een magnetisch fluxdichtheidsveld (B-veld). Bij frequenties van 100 kHz tot 300 GHz is de bescherming gebaseerd op opwarming.

B-veld:

- Sterkte van de magnetische fluxdichtheid B in tesla (T) en sterkte van het magnetische veld H in ampère per meter (A/m) kunnen voor vacuüm in elkaar worden uitgedrukt volgens:

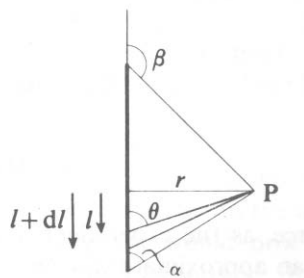
$$B = \mu_0 H,$$

met μ_0 de magnetische permeabiliteit in vacuüm ($= 4 \pi \cdot 10^{-7} = 1,25664 \cdot 10^{-6}$ henri per meter (H/m)).

- Eindige stroomvoerende draad:

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r} (\cos(\beta) - \cos(\alpha)),$$

met I de stroomsterkte in ampère (A), r de afstand loodrecht op de draad tot de waarnemer en β de stompe hoek tussen de draad en de kortste verbinding van het uiteinde van de draad tot de waarnemer, en α de scherpe hoek tussen de draad en de kortste verbinding van het andere uiteinde van de draad tot de waarnemer. Als lengte van de draad naar oneindig gaat dan gaat β naar 0 en α naar π (Figuur 10):

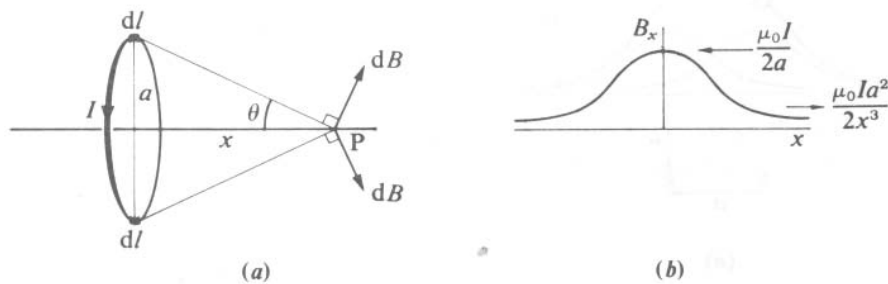


Figuur 10 B-veld van een eindige stroomvoerende draad (Bron: Duffin, 1980 [136])

- Oneindige stroomvoerende draad, de wet van Ampère:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r},$$

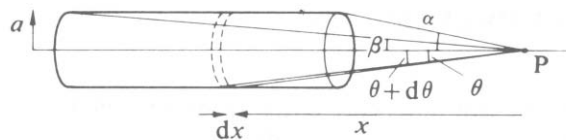
- Stroomvoerende parallelle draden, waarbij aan- en afvoerdraad naast elkaar liggen: B-veld neemt evenredig af met $1/r^2$.
- Huishoudelijke apparatuur: het B-veld kan beschreven worden volgens een magnetische dipool en neemt evenredig af met $1/r^3$.
- Generiek B-veld *loop*:
op afstand x op de as van de *loop* met radius a (Figuur 11):
$$B_x = \mu_0 I a^2 / 2(a^2 + x^2)^{3/2}$$



Figuur 11 B-veld door een stroomvoerende loop: (a) geometrie, (b) verloop van veldsterkte met de afstand over de x-as (Bron: Duffin, 1980 [136])

- Generiek B-veld op de as van een spoel
$$0,5\mu_0 nI(\cos(\beta) - \cos(\alpha)),$$

met $\beta = \arctan(a/x)$ en $\alpha = \arctan(a/(x-l))$, met l de lengte van de spoel, a de straal van de spoel en de linkerkant van de spoel op $x = 0$ (Figuur 12).



Figuur 12 B-veld op de as van een spoel (Bron: Duffin, 1980 [136])

- H-veld van equivalente spoelen: Norm huishoudelijke apparatuur EN 50366:2003 en norm prEN 50413:2005.

E-veld:

De sterkte van het elektrische veld (E-veld) wordt uitgedrukt in volt per meter (V/m).

- Veldsterkte bij een geladen draad:

$$E = \frac{\Lambda}{2\pi\epsilon r},$$

met ϵ de elektrische permittiviteit, de waarde voor vacuüm is $\epsilon_0 = 8,85419 \cdot 10^{-12}$ in farad per meter (F/m). Λ staat voor de lineaire ladingsdichtheid:

$$\Lambda = Q/l,$$

met l de lengte van de draad in meter (m) en Q de lading in coulomb (C).

- Veldsterkte bij een geladen plaat

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon},$$

met σ de oppervlakte ladingsdichtheid:

$$\sigma = Q/A,$$

met A de oppervlakte van de plaat in vierkante meter (m²).

Zie voor een uitgebreide uitleg van het B-veld en het E-veld van meerdere geleiders naast elkaar Annex A van prEN 50413:2005 A1.1.2.

Geïnduceerde stroom:

- Ten gevolge van een E-veld:

$$J = kfE,$$

met J de stroomdichtheid in A/m², f de frequentie in Hz en k een koppelingsfactor afhankelijk van afmeting, vorm en soortelijke geleiding van het lichaam. kf komt overeen met de geleidbaarheid in S/m. Een conservatieve maat voor k is $9,6 \cdot 10^{-9}$ Ss/m (E parallel aan lichaam, geaard persoon) de waarde is de helft als of het E-veld loodrecht op het lichaam staat, of als lichaam ongeaard is door bijvoorbeeld het dragen van isolerende veiligheidsschoenen.

- Ten gevolge van een B-veld:

$$J = \pi f r \sigma B,$$

met J de stroomdichtheid in A/m², f de frequentie in Hz, r de straal in meter (m) van grootste cirkel die getrokken kan worden op het lichaam in een vlak loodrecht op B , σ de gemiddelde soortelijke geleiding in S/m.

Hierbij is uitgegaan van maximale inductiestroomdichtheid J als het B-veld loodrecht op de borst en minimaal als het B-veld langs de as van het lijf staat.

Een gebruikelijke standaardmaat voor de gemiddelde soortelijke geleiding σ van menselijk weefsel is 0,2 S/m.

Contactstroom

Een elektrische veldsterkte onder de 10.000 V/m geeft voldoende veiligheidsmarge om effecten door contactstromen te voorkomen voor alle mogelijke omstandigheden [2, pag 510].

Opwarming (100 kHz – 300 GHz)

De grenswaarde voor blootstelling in het gebied van 100 kHz tot 10 GHz wordt gegeven door de *Specific Absorption Rate* (SAR) die de hoeveelheid geabsorbeerde energie per tijdseenheid per lichaamsmassa aangeeft in watt per kilogram (W/kg). De SAR is verbonden aan de *Root-Mean-Square* (RMS) waarde van het elektrische veld E_{RMS} volgens:

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

waarin ρ de dichtheid is in kilogram per kubieke meter (kg/m^3). Uit deze formule is ook te zien dat geïnduceerde stroom tot opwarming kan leiden. Wanneer men wordt blootgesteld in het inductieve nabieveld op een frequentie van 100 kHz tot 10 MHz is het veld niet-uniform en is er vaak geen sprake van een vlakke golf. In dat geval is het beter om de SAR te berekenen aan de hand van de stroomdichtheid J . De stroomdichtheid kan dan weer bepaald worden uit H .

De eenvoudigste vuistregel om te controleren of wordt voldaan aan de grenswaarden voor de lichaams-SAR is:

$$\frac{P_{\text{max, uitgestraald}}}{m_{\text{lichaam}}} < SAR_{\text{helelichaam}},$$

waarin P_{max} staat voor het maximaal uitgestraalde vermogen in watt (W) en m_{lichaam} voor de massa van de blootgestelde persoon in kilogram (kg). Voor een zestienjarige werknemer is het minimale standaardgewicht op 42 kg gesteld. Dit betekent dus dat als al het uitgestraalde vermogen, dat altijd kleiner is dan het maximaal vermogen opgenomen uit het elektriciteitsnet, minder is dan 42 maal 0,4 = 16,8 W, de lichaams-SAR niet overschreden kan worden. Echter, de lokale SAR kan nog wel overschreden worden.

Tijdsmiddeling voor toetsing aan opwarming: zes-minutenregel

Het kwadraat van de maximaal gemeten RMS-waarde van het elektrische veld met een frequentie tussen 100 kHz en 10 GHz moet ook nog gemiddeld worden over een willekeurige tijdsduur van 6 minuten wanneer getoetst wordt of de SAR-waarde voor opwarming wordt overschreden. Dat betekent dat voor elke willekeurige tijdsduur moet gelden:

$$\sqrt{(F_{mid} (E_{RMS})^2)} = \sqrt{F_{mid}} E_{RMS} < E_L.$$

De maximale gemeten E_{RMS} mag dus nog vermenigvuldigd worden met de wortel uit de tijdsmiddelingsfactor (Engels: *duty cycle*) F_{mid} alvorens te toetsen aan de actiewaarde E_L bij de geldende frequentie.

Een rekenvoorbeeld is een machine die op 6 minuten 3 minuten uitstaat, dus in ieder geval de helft van iedere willekeurige 6 minuten niet zendt. Dan geldt dat $F_{mid} = 3/6 = 0,5$ bedraagt. Dus alvorens te toetsen aan de actiewaarde mag de gemeten elektrische veldsterkte met de wortel uit 0,5 vermenigvuldigd worden. Een bediener die op iedere 8 minuten 4 minuten in een veld staat, wordt dus in de worst case te kiezen 6 minuten 4 minuten blootgesteld, dus $F_{mid} = 4/6 = 0,67$.

Tijdsmiddeling voor toetsing aan geïnduceerde stromen

Tijdsmiddeling bij frequenties tot 10 MHz om te controleren op stroomdichtheid in het centraal zenuwstelsel is niet toegestaan.

Piekactiewaarden en middeling tussen 10-300 GHz

Zie ook Bijlage 1 voor middeling van veldsterktes voor frequenties tussen 10 GHz en 300 GHz en voor de berekening van de maximale piekactiewaarden.

4.3 Sommatieregels voor verschillende signaaltvormen van een of meer bronnen (ICNIRP statement)

De actiewaarden en grenswaarden zijn per frequentie vastgesteld voor sinusvormige signalen. Echter, er bestaan ook signalen die bestaan uit meerdere sinusvormige signalen van verscheidene frequenties tegelijk, uit pulsen of uit niet-sinusvormige, fase-coherente golfvormen. Deze signalen kunnen door één apparaat worden gegenereerd, maar kunnen ook het resultaat zijn van signalen afkomstig van verschillende apparaten. Noot 10 bij Tabel 1 en Noot 5 bij Tabel 2 van de richtlijn melden dat er geschikte methodes voor de beoordeling van deze golfvormen door CENELEC moeten worden opgesteld. Dit laatste omdat de sommatieregel voor blootstelling aan meerdere frequenties (zie Bijlage 1 van dit rapport) zoals genoemd in de EU-aanbeveling 1999/519/EG hierbij niet altijd rechtstreeks toepasbaar is, en kan leiden tot een te conservatieve schatting van de blootstelling. Deze schatting is conservatief, omdat er dan wordt uitgegaan dat de

hoogste bijdrage wordt bereikt wanneer in het tijdsignaal de toppen of dalen van alle sinussen op hetzelfde moment (in fase) voorkomen, wat doorgaans niet het geval is.

In 2003 gaf ICNIRP een statement uit om deze golfvormen te beoordelen [35]. Ook CENELEC noemt deze methode in norm: NEN-EN50392:2004 ‘Algemene norm om de overeenstemming aan te tonen van elektronische en elektrische apparaten met de basiseisen voor de blootstelling van de mens aan elektromagnetische velden (0 Hz - 300 GHz)’, en in NEN-EN 50366:2003 ‘Huishoudelijke en soortgelijke toestellen - Elektromagnetische velden - Methoden voor de evaluatie en meting’. Daarnaast zijn er publicaties van Jokela [20] en Chadwick [37, 137] waarin met achterliggende theorie en voorbeelden nader in wordt gegaan op de blootstelling aan diverse golfvormen.

Ruwweg kunnen vijf golfvormen worden omschreven:

- 1 Rechthoekige puls
- 2 Smalbandige sinusvormige puls
- 3 Sinusvormige golf met hogere harmonische bijdragen
- 4 Meerdere sinusvormige golven gesuperponeerd
- 5 Meerdere niet-sinusvormige, fase-coherente golfvormen.

Rechthoekige puls

Hierbij wordt de tijdsduur t_p van de puls opgevat als de helft van een periodiek signaal, zodat de totale periode $2 t_p$ is en de equivalente frequentie om mee te toetsen aan de actiewaarden $1/(2 t_p)$ is.

Smalbandige sinusvormige puls

Wanneer in series van pulsen wordt gezonden en iedere puls bestaat uit tenminste vijf sinusvormige oscillaties zonder hogere harmonische bijdragen, dan moet de piekwaarde onder wortel 2 maal de actiewaarde blijven voor signalen onder 100 kHz, daarboven mag gecorrigeerd worden met de *duty cycle*. Deze pulsvorm komt voor bij EAS systemen onder 100 kHz.

Sinusvormige golfvorm met hogere harmonische bijdragen

Deze golfvorm komt typisch voor bij gelijkrichters, waarbij na het gelijkrichten van de 50 Hz drie-fasenstroom er een duidelijke 300 Hz rimpel op de gelijkstroomcomponent achterblijft. Hierbij kan na meten van het frequentiespectrum eenvoudig de sommatieregel (zie Bijlage 1) gebruikt worden. De sommatieregel geeft echter een conservatief beeld, omdat de relatieve fase van de frequentiecomponenten niet wordt meegenomen in de sommatie. NEN-EN50392:2004 geeft aan dat ook de gewogen-piekwaardemethode mag worden gebruikt in het geval dat de onderlinge fasen van de harmonische bijdragen niet significant variëren.

Meerdere sinusvormige golven gesuperponeerd

Zolang het gaat om een lijnspectrum, dus een signaal opgebouwd uit meerdere sinusvormige signalen van verscheidene frequenties, is de sommatieregel (zie Bijlage 1) eenvoudig toepasbaar, waarbij iedere frequentiecomponent een eigen wegingsfactor meekrijgt die de inverse is van zijn actiewaarde.

Meerdere niet-sinusvormige, fase-coherente golfvormen

Voor frequenties van 1 tot 10 MHz kan in de tijd worden geëvalueerd volgens de gewogen-piekwaardemethode. Deze methode wordt nauwkeurig beschreven in de generieke standaard NEN-EN50392:2004, in de productnorm voor huishoudelijke apparatuur NEN-EN50366:2003, door Jokela [20] en in het ICNIRP statement [35]. De gewogen-piekwaardemethode houdt rekening met de relatieve fase en kan zowel worden uitgevoerd door berekeningen op een tijdsignaal, of door direct te meten met een ingebouwd weegcircuit.

Het komt erop neer dat er een weegfunctie is, gebaseerd op de piekwaarden (dus de actiewaarden, die RMS waarden zijn, maal wortel 2) uit de richtlijn. Vervolgens wordt een equivalente frequentie opgelegd gedefinieerd zoals bij de puls. Nu is echter t_p gelijk aan de smalste stijg- (de tijd waarin het signaal van de basisveldsterkte naar de pieksterkte opbouwt) en valtijd van het B-veld (transiënt tijd), in plaats van de breedte van de puls.

Voor signalen met equivalente frequenties tot 820 Hz betekent dit dat de piekwaarde voor de afgeleide van de magnetische fluxdichtheid naar de tijd, dB/dt, onder 0,22 T/s moet blijven om te voldoen aan de richtlijn. Bij frequenties boven 820 Hz moet dB/dt met een wegingsfactor worden vermenigvuldigd, zoals genoemd in de onderhavige normen.

4.4 Specifieke rekenregels

4.4.1 Artikel- en persoonsdetectie

In het kader van de EU-aanbeveling bestaan er twee normen:

- EN 50357:2001 Evaluation of human exposure to electromagnetic fields from devices used in Electronic Article Surveillance (EAS), Radio Frequency Identification (RFID) and similar applications. (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)
- EN 50364:2001 Limitation of human exposure to electromagnetic fields from devices operating in the frequency range 0 Hz to 10 GHz, used in Electronic Article Surveillance (EAS), Radio Frequency Identification (RFID) and similar

applications. (Beperking van de blootstelling van het menselijk lichaam aan elektromagnetische velden afkomstig van toestellen die werken in het frequentiegebied 0 Hz tot 10 GHz, gebruikt in Elektronische Artikel Bewaking (EAB), Radio Frequency Identification (RFID) en soortgelijke toepassingen)

Voor RFID worden vier banden van het frequentiespectrum gebruikt:

1. 1 Hz - 500 kHz
2. 2 – 30 MHz
3. 850 – 950 MHz
4. 2,45 GHz en 5,8 GHz

Voor EAS worden vier gebieden van het frequentiespectrum gebruikt:

1. magnetisch 0,01 – 20 kHz
2. resonant inductief 20 - 135 kHz
3. resonant radiofrequent inductief 1 – 20 MHz
4. niet-lineaire microgolven 0,8 – 2,5 GHz

Voor metaaldetectoren worden diverse magnetische velden opgewekt.

EN 50357:2001 geeft enige informatie over berekeningen en metingen in Paragraaf 4, maar deze leveren geen vuistregels.

Voor velden tot 30 MHz is de blootstelling aan RFID, EAS en metaaldetectoren doorgaans in het nabijeveld, dat zich enkele meters van de apparatuur uitstrekt. Hierdoor is de blootstelling niet aan een vlakke elektromagnetische golf, en zijn ook de E-veld en H-veld component zwak gekoppeld, maar wordt doorgaans gerekend met de H-veld component. Dit geldt ook voor het gebied tussen 100 kHz en 30 MHz waar de SAR de overheersende grenswaarde voor blootstelling is. Dan wordt de SAR berekend aan de hand van de door het H-veld geïnduceerde stroomdichtheid J :

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

Voor het gebied waar blootstelling aan magnetische velden overheersend is, is de benadering van het H-veld te maken door de benadering van een enkelvoudige *loop* te gebruiken. Daarnaast moet de sommatieregel gebruikt worden voor de diverse componenten waaruit een puls is samengesteld. De volgende rekenregel om te voldoen aan de lichaams-SAR van 0,4 W/kg geldt [EN 50357:2001]:

$$H \leq \frac{23\sqrt{5}}{f},$$

met f de frequentie in MHz, en H de magnetische veldsterkte in A/m. Daarnaast moet voor velden tot 10 MHz ook gelden dat de grenswaarde voor blootstelling voor geïnduceerde stroom niet overschreden wordt, ofwel dat geldt $H < 24,4$ A/m.

Bij EAS en metaaldetectorsystemen worden in de poort wel veldsterktes gemeten boven de actiewaarden, maar dit leidt volgens berekeningen niet tot overschrijding van de grenswaarden. Volgens Jokela [20] is er een permanente blootstelling aan veldsterktes rond de actiewaarden mogelijk voor kassiers. Voor RFID-systemen zijn weinig berekeningen bekend, wel werken deze doorgaans op lage vermogens en is een overschrijding niet te verwachten.

Vuistregel voor EAS-apparatuur en metaaldetectorpoortjes:

De afstand van werknemer (bijvoorbeeld: kassier of beveiligingsbeambte) tot de poortjes moet groter zijn dan 1 m.

4.4.2 Diëlektrische verwarming

Er bestaat in september 2005 geen CENELEC norm voor diëlektrische apparatuur. Diverse gezaghebbende instituten hebben documenten opgesteld voor berekeningen, metingen en beschermingsmaatregelen: *guidance note 51* van HSE [34], *Occupational Safety and Health Series 71* van ILO [27] en een HSE document door een Gabriel en Lau [11, formules C.1 en C.2].

Er zijn drie actiewaarden tussen 10 MHz en 110 MHz waaraan voldaan moet worden: contactstroom (40 mA), geïnduceerde stroom in ledematen (100 mA) en elektrisch veld (61 V/m). De actiewaarden zijn opgesteld voor het uniforme verreveld, terwijl de bedieningsplek voor diëlektrische apparatuur doorgaans in het niet-uniforme nabijeveld is gelegen. Metingen moeten dus volgens een protocol worden uitgevoerd, gevolgd door een berekening of redenering die laat zien of de grenswaarden in die situatie worden overschreden. Doorgaans geldt dat het toetsen van veldsterkten gemeten in het nabijeveld aan de actiewaarden, die zijn opgesteld voor het verreveld, een conservatieve inschatting geven voor het eventueel overschrijden van de grenswaarden [2, pag 510]. Vuistregels om de elektrische veldsterkte te berekenen zijn er niet, metingen zijn dus aan te raden. Er zijn wel, soms empirische, berekeningsmethoden om de veldsterkte of geïnduceerde stroom naar SAR om te rekenen [11, 27, 29, 30, 32, 33]. Op deze wijze kan een inschatting gemaakt worden. Voor exacte resultaten zijn uitvoerige berekeningen en modelleringen nodig. In ieder geval dient rekening gehouden te worden met: de *duty cycle*, middeling van het veld over het lichaam, omrekening van nabijeveld naar verreveld en toepassing van koppelingsfactoren.

Als de verhouding van de elektrische veldsterkte tot de magnetische veldsterkte boven 15 Ohm ligt, dan is de door het magnetische veld veroorzaakte absorptie

veel lager dan die door het elektrische veld en mag het magnetische veld buiten beschouwing gelaten worden. Dit is doorgaans het geval bij diëlektrische apparatuur.

Omdat sprake is van een niet permanente blootstelling boven 100 kHz mag de gemeten veldsterkte worden vermenigvuldigd met de wortel uit de *duty cycle*.

Door de niet-uniformiteit van het veld volstaat het niet om alleen op één bedieningspositie de veldsterkte te meten, maar ook in een halve meter eromheen, om de mate van niet-uniformiteit te bepalen. Een kleine verplaatsing kan immers een andere veldsterkte opleveren. Ook is de mate waarin energie kan worden opgenomen afhankelijk van de stromen die door het lichaam gaan lopen. Dus het meten van de geïnduceerde stroom door de enkels en de polsen is ook raadzaam. Vanwege de niet-uniforme blootstelling wordt ook de geïnduceerde stroom en de elektrische veldsterkte gemeten op verschillende plekken en vervolgens gemiddeld over het hele lichaam [11, 28].

Vervolgens zijn er, empirische, omrekeningsformules voor metingen in het nabijeveld naar equivalente metingen in het verreveld.

Daarnaast zijn er bij dit niet-uniforme veld koppelingsfactoren van toepassing voor de berekening naar SAR. Gabriel en Lau geven voorbeelden van enkele factoren [11]. Deze koppelingsfactoren zijn doorgaans een correctie naar beneden op de SAR berekening. Dat betekent dat blootstelling boven de actiewaarden niet direct hoeft te leiden tot overschrijding van de SAR.

De blootstelling bij een frequentie van 10 MHz betekent dat de bediener binnen en een golflengte, 30 cm, van de bron staat en daarmee in het nabijeveld. Het is dus aan te nemen dat hij niet blootgesteld is aan een uniform veld. Gabriel en Lau [11, formules C.1 en C.2] geven koppelingsfactoren en omrekeningswijzen voor de gemeten nabijeveldsterkte naar equivalente waarden in het verreveld en opgewekte lichaams-SAR. Uit een inschatting op basis van deze formules blijkt dat bij een permanente blootstelling afkomstig van een plasticlasmachine op een maximale waarde van 300 V/m bij een frequentie van 27 MHz de maximale lichaams-SAR van 0,4 W/kg niet overschreden zou hoeven worden, ook al is hier sprake van een overschrijding van de actiewaarde van 61 V/m.

4.4.3 Elektriciteitsproductie en -distributie

Elektriciteitscentrales bestaan ruwweg uit drie deelomgevingen:

- Generatoren
Hierbij zijn geen overschrijdingen van de actiewaarden bekend uit metingen.

- Transformatoren en gelijkrichters,
Vaak worden drie-fasen gelijkrichters gebruikt waarbij 50 Hz hoogspanning wordt omgezet naar gelijkstroom, waardoor er een significante 300 Hz rimpel en hogere harmonische bijdragen worden opgewekt. Het spectrum dient gemeten te worden, en de blootstelling dient met de sommatieregel of de gewogen-piekwaardemethode (zie Paragraaf 4.3) te worden berekend. De gemeten veldsterktes zijn vele malen de actiewaarden en de beste vuistregel is om de installaties af te schermen en op tientallen meters te plaatsen van werknemers.
- Stroomgeleiders
Dit zijn metalen (koperen) elementen voor het vervoeren van hoge stromen van enige kA. Bij benadering kan het B-veld bepaald worden aan de hand van de generieke formule voor een stroomvoerende draad, of van naast elkaar gelegen heen en terugvoerende geleiders.

Voor onderstations met condensatorbanken geldt dat er bij de luchtspoelen in de condensatorbanken een blootstelling boven de actiewaarden kan voorkomen als ze in bedrijf zijn. Als vuistregel, die in de praktijk ook al zo wordt toegepast, geldt dat ze in een afgesloten ruimte moeten staan en dat de ruimte slechts dan betreden kan worden als de condensatorbanken uitgeschakeld zijn.

4.4.4 Elektrochemische processen

Er zijn geen CENELEC normen specifiek voor elektrolyse-installaties, wel is er een hoogspanningsrichtlijn.

In geval van een elektrolyse-installatie zijn er drie onderdelen die beschouwd dienen te worden. Deze zijn, tezamen met hun vuistregels:

- Stroomgeleiders (Engels: *Bus bars*)
Dit zijn metalen (koperen) elementen voor het vervoeren van hoge stromen van enige kA. Bij benadering kan het B-veld bepaald worden aan de hand van de generieke formule voor een stroomvoerende draad, of van naast elkaar gelegen heen en terugvoerende geleiders.
- Gelijkrichters,
Vaak worden drie-fasen gelijkrichters gebruikt waarbij 50 Hz hoogspanning wordt omgezet naar gelijkstroom, waardoor er een significante 300 Hz rimpel en hogere harmonische bijdragen worden opgewekt. Het spectrum dient gemeten te worden, en de blootstelling dient met de sommatieregel of de gewogen-piekwaardemethode (zie Paragraaf 4.3) te worden berekend. De gemeten veldsterktes zijn vele malen de actiewaarden en de beste vuistregel is om de installaties af te schermen en op tientallen meters te plaatsen van werknemers.
- Elektrolysehal,

Afhankelijk van de inrichting door gelijktijdige blootstelling aan verschillende bronnen en stroomvoerende elementen en de gebruikte stroomsterkte is de afstand uit te rekenen zoals bij enkelvoudige stroomvoerende draden.

4.4.5 Inductieverwarming

Er bestaat in september 2005 geen CENELEC norm voor inductieverwarming. Wel is er een in ontwikkeling.

De vuistregel is, uitgaand van de worst case blootstelling, te doen alsof de opening van de spoel gericht is op de werknemer, waardoor er maximale blootstelling is aan het B-veld op de torso. Gebruik zowel voor het B-veld van een spoel als voor een de opgewekte inductiestroom in een werknemer de generieke formules.

4.4.6 Lassen

Voor blootstelling aan elektromagnetische velden bij lassen zijn er twee ontwerpnormen:

prEN 50444:2004 (ontwerpnorm) Basisnorm voor de evaluatie van de blootstelling van het menselijk lichaam aan elektromagnetische velden van apparatuur voor booglassen en verwante processen.

prEN 50445:2004 (ontwerpnorm) Productgroepnorm om de overeenstemming aan te tonen van apparatuur voor weerstandlassen, booglassen en verwante processen met de basiseisen voor de blootstelling van het menselijk lichaam aan elektromagnetische velden (0 Hz – 300 GHz).

Daarnaast zijn er nog enkele EMC normen, waaronder de norm die enige maatregelen noemt ter vermindering van de emissie van elektromagnetische velden: NEN-EN60974-10 Uitrusting voor booglassen - Deel 10: Elektromagnetische compatibiliteit (EMC)-eisen.

De berekening van blootstelling aan lasapparatuur betekent dat er bij gelijkstroom moet worden berekend wat de blootstelling aan de rimpel van harmonische bijdragen is. Bij gepulste gelijkstroom, of gebruik van wisselstroom moet de frequentie-inhoud van de puls worden bepaald volgens de generieke regels.

De maximale waarde van de frequenties die moeten worden beschouwd, is afhankelijk van de soort lasstroom [zie Paragraaf 5.1.8 in 51]:

- 1 kHz voor enkelvoudige fase transformator-gelijkrichters
- 3 kHz voor drie-fasen transformator-gelijkrichters
- 10 maal de *switching* frequentie voor inverters
- 10 maal de wisselstroomfrequentie voor sinusvormige gelijkstroomvermogensbronnen

- de frequentie f zoals gedefinieerd door de minimale stijg/valtijd t_p van de maximale uitgangsstroom I_{max} bij niet-sinusvormige wisselstroom of gepulste stroom: $f = 1/4t_{p\min}$

Vuistregels en rekenregels zoals gesteld in de twee ontwerpnormen zijn:
H-veld:

$$H = F_G \frac{I}{2d\pi}$$

of de magnetische fluxdichtheid:

$$\frac{dB}{dt} = F_G \mu_0 \frac{I}{2d\pi} \frac{dI}{dt},$$

waarbij F_G de geometriefactor is, zoals vermeld in Annex A van prEN50444:2004, d is de afstand tot de laskabel, dI/dt is de gemeten verandering in tijd van de uitgangsstroom.

Benader het veld door een stroomdichtheid in een discus met straal r loodrecht op het magneetveld:

$$J_{(r)} = \frac{r\sigma}{2} \frac{dB}{dt},$$

of als de frequentie f bepaald wordt volgens: $f = 1/2t_p$ met t_p de duur van een halfcyclus voor symmetrische niet-sinusvormige golfvormen, dan geldt ook de generieke formule voor maximale koppeling van het B-veld met een discus:

$$J_{(r)} = \sigma \pi r f B.$$

4.4.7 Medische toepassingen

MRI

Op het gebied van MRI bestaat de norm NEN-EN-IEC 60601-1-2-33:2002 voor de bescherming van patiënten. In een nieuw amendement zal ook de bescherming van medisch personeel worden opgenomen.

MRI-apparatuur die in *trouble shoot* situaties in de ontwikkel- en productiefase of tijdens reparatie en onderhoud wordt gebruikt, valt in categorie III. Gebruik met

interventiewerkzaamheden of intensieve patiëntbegeleiding geeft ook blootstelling boven de actiewaarden.

Eenvoudige rekenregels om de blootstelling te bepalen zijn niet mogelijk. Hiervoor dienen speciale modellen gebruikt te worden of metingen verricht te worden. Als vuistregel geldt dat bij toepassing het medisch personeel op enkele meters van het apparaat dient te blijven.

Diathermie

Voor apparatuur voor diathermie is er IEC norm: IEC 60601-2-3:1993/A1:1998 Medisch-elektrische toestellen - Deel 2-3: Bijzondere veiligheidseisen voor kortegolf-therapietoestellen.

De drie voornaamste bronnen van strooivelden bij diathermie: de elektroden, de toevoerdraden en de aansluitingen. Er zijn er geen eenvoudige rekenregels voor deze strooivelden. Over vuistregels zijn wel voorstellen, maar de verschillende groepen zijn het niet eens over de aan te houden afstanden, die tot 2 m kan reiken.

Vuistregels bestaan uit afstand houden en de gemiddelde blootstelling te verminderen door de blootstellingsduur per zes-minuteninterval te beperken (zes-minutenregel). Om de exacte verblijftijd per zes-minuteninterval en afstand vast te stellen zijn metingen nodig.

Diepe hyperthermie

Er zijn overschrijdingen bekend van de actiewaarde, 61 V/m bij 70 MHz, op een afstand van 1 m. Echter, door de stand van de antennes, kan het veld niet optimaal op het lichaam inkoppelen, waardoor het niet waarschijnlijk is dat de grenswaarden overschreden worden.

Vuistregels bestaan uit afstand houden en de gemiddelde blootstelling te verminderen door de blootstellingsduur te beperken. Door afstand te houden van tenminste 1 m daalt de blootstelling onder de actiewaarden. Door de verblijftijd te beperken in combinatie met toepassing van de zes-minutenregel, blijft de gemiddelde veldsterkte ook onder de actiewaarde. Om de exacte verblijftijd per zes-minuteninterval en afstand vast te stellen zijn eenvoudige metingen nodig.

Elektrochirurgie

Voor elektrochirurgische toestellen bestaat er norm NEN-EN-IEC 60601-2-2:2000 Medische elektrische toestellen - Deel 2-2: Bijzondere eisen voor de veiligheid van hoogfrequent chirurgische toestellen.

4.4.8 Microgolfdrogen

Open microgolfdrogers, ook wel ‘open magnetron’ genoemd, worden o.a. gebruikt voor het drogen van muren en het verhitten van hout. Doorgaans wordt de energie in een bundel door een soort straalkanon op het op te warmen voorwerp gericht. Bij benadering kan de generieke formule voor (straal)zenders worden toegepast, zie Paragraaf 4.4.10.

Verdere vuistregels bestaan uit: niet in de bundel gaan staan en afstand houden van meer dan een halve meter van de oppervlakken waar de bundel op gericht is.

4.4.9 Vervoer en tractiesystemen

Volgens Chadwick [95] vallen tot nog toe alle 50 Hz motoren onder categorie I en er zijn dus tot er metingen bekend zijn geen verdere maatregelen nodig. Wel is het van belang de velden rond stroomvoerende draden uit te rekenen.

Uit Italiaans onderzoek [88] aan de velden bij DC spoorwegen blijkt dat hier geen overschrijdingen van de actiewaarden plaatsvinden en ook deze zijn daarom categorie I.

Voor de berekeningen van railvervoer op wisselstroom zijn modellen nodig.

4.4.10 Zendinstallaties

NEN 50383:2000 is de basisnorm voor de berekening van blootstelling aan velden aan basisstations voor telecommunicatie [138]. Hierin worden ook enkele vuistregel formules genoemd. Ook de Amerikaanse Federal Communication Commission (FCC) heeft diverse bulletins uitgegeven met vuistregels om de blootstelling in te schatten [123].

Een vuistregel voor blootstelling aan het E-veld in de hoofdbundel van de antenne voor een persoon in het verreveld is:

$$E = \frac{\sqrt{30 \cdot 1,64 \cdot ERP}}{r} = \frac{\sqrt{30 \cdot EIRP}}{r} = \frac{\sqrt{30 \cdot P \cdot G}}{r},$$

waarin EIRP staat voor *Equivalent Isotropic Radiated Power*, wat gelijk is aan het ingangsvermogen van de antenne P in watt (W) maal de *gain* G van een antenna relatief tot een isotrope straler en r is de afstand in meter van de bron tot het onderzoekspunt. 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. ERP staat voor *Effective Radiated Power* en is het vermogen dat nodig is als de zender als een halve-golflengte dipool zou uitzenden

en toch dezelfde vermogensdichtheid bij de ontvanger teweeg zou brengen. Het EIRP kan worden gevonden door het ERP te vermenigvuldigen met de versterkingsfactor van een halve-golflengte dipool ten opzichte van een isotrope straler, namelijk met 1,64. Bij een bundelende antenne zijn het EIRP en het ERP dus groter dan het feitelijke vermogen.

In het nabijeveld is het noodzakelijk te meten om tot een exacte bepaling te komen, al zijn er benaderingsformules mogelijk. De toepassing van de formule voor het verreveld zal leiden tot een overschatting van de veldsterkte [123].

Voor straalzenders geldt dat de blootstelling in de arbeidssituatie doorgaans voorkomen kan worden door niet voor de schotel in de bundel te gaan staan. Wanneer dit niet te voorkomen is, bevindt men zich meestal in het nabijeveld. De afstand van de bron tot de grens van het nabijeveld, R_{nv} , en blootstelling kan berekend worden aan de hand van de volgende vuistregels van de FCC [123]:

$$R_{nv} = \frac{D^2}{4\lambda},$$

waarin D staat voor de diameter van de schotel in meter en λ voor de golflengte in meter. De maximale vermogensdichtheid in de bundel binnen het nabijeveld, $\max(S_{nv})$ kan dan benaderd worden door:

$$\max(S_{nv}) = \frac{16\eta P}{\pi D^2} \approx \frac{16 \cdot 0,75 P}{3 \cdot D^2} = \frac{4P}{D^2},$$

waarin η de apertuurefficiëntie is die doorgaans tussen 0,5 en 0,75 ligt. P is het toegevoerde vermogen aan de antenne in watt. Door een ruwe benadering, waarbij η gekozen wordt op 0,75 en π als 3, kan de volgende vuistregel gesteld worden: de maximale waarde van de vermogensdichtheid in het nabijeveld bedraagt vier maal het toegevoerde vermogen gedeeld door het kwadraat van de diameter van de schotel.

Kleine schotelantennes die gebruikt worden in GSM-masten, hebben een typische diameter van 30 cm, een toegevoerd vermogen van 130 mW en zenden op een golflengte van 24 tot 40 GHz. Het nabijeveld strekt zich dan maximaal uit tot 3 m voor de schotel. Daarbinnen geldt dat de maximale vermogensdichtheid $4 \times 0,13 / 0,09 = 5,8 \text{ W/m}^2$ bedraagt. Dat is 12% van de actiewaarde van 50 W/m^2 .

Algemene formules voor het berekenen van velden afkomstig van één of meer antennes zijn amper te geven. De antennevorm en daarmee het uitstralingspatroon en de *gain* van de antenne zijn van belang om de blootstelling uit te kunnen rekenen. Er is een grote verscheidenheid aan commerciële software om zenders te modelleren en velden te berekenen. Ook zijn er diverse boeken met overzichten, zoals *Antenna Theory- Analysis and design* van Balanis [139]. Voorbeelden van

berekeningen met betrekking tot de gelijktijdige blootstelling aan signalen van meerdere GSM-antennes op daken wordt gegeven door een RI&E [101].

Er zijn ook diverse formules opgesteld voor de berekening aan verscheidene type radars door onder andere Puranen en Jokela in 1996 [140].

Generieke formules zijn vaak niet toereikend, en voor een goede berekening moeten numerieke berekeningen worden uitgevoerd en gebruik gemaakt worden van de technische antennegegevens en stralingspatronen zoals verschaft door de fabrikant van de antenne.

4.5 Omschrijving van ‘afwijkende omstandigheden’

Algemeen

Volgens artikel 4, lid 5 van de richtlijn dient de werkgever bij de risicobeoordeling aandacht te besteden aan de volgende afwijkende omstandigheden:

- 1 de mogelijke gevolgen voor de gezondheid en veiligheid van werknemers die een bijzonder risico lopen; volgens richtlijn 89/391/EEG moeten ‘bijzonder kwetsbare risicogroepen worden beschermd tegen voor hen specifieke gevaren’;
- 2 interferentie met medische elektronische apparatuur en hulpmiddelen (inclusief pacemakers en andere implantaten);
- 3 het risico van rondvliegend ferromagnetisch materiaal in een statisch magnetisch veld met een magnetische fluxdichtheid van meer dan 3 mT;
- 4 de activering van elektrische ontstekingsmiddelen (detonatoren); en
- 5 branden en explosies als gevolg van de ontbranding van ontvlambaar materiaal door vonken ten gevolge van inductievelden, contactstroom of vonkontladingen.

In de praktijk bestaat de behoefte aan informatie hoe hiermee om te gaan. Hier zou eigenlijk een matrix van ‘werkomgevingen’ versus ‘afwijkende omstandigheden’ moeten worden opgesteld waarin de werkgever kan zien welke extra ‘werkplekkwesties’ moeten worden bekeken. Het is echter ondoenlijk om een uitputtende lijst van alle afwijkende omstandigheden op te stellen.

Om de afwijkende omstandigheden te kunnen inschatten, dient de werkgever bij de uitvoering van de risico-inventarisatie te beschikken over persoonlijke medische gegevens van werknemers die in werkomgeving uit categorie II of III hun werkzaamheden verrichten. Een mogelijkheid is om dit te regelen via een door de werknemer naar waarheid in te vullen en zonodig te ondertekenen vragenlijst waarin ondermeer wordt gevraagd of de werknemer drager is van een actief implantaat, zoals een pacemaker, een defibrillator, een pomp voor vloeistoftoevoer

(bijvoorbeeld insuline) of een passief implantaat zoals metalen voorwerpen. Daarnaast is het aan te raden om de huidige praktijk te volgen waarin apparatuur van een teken wordt voorzien die de dragers van deze apparatuur waarschuwt.

Risicogroepen

Volgens het Arbobesluit (artikel 1.1 lid 5b) wordt een zwangere medewerker gedefinieerd als ‘de werknemer die zwanger is en de werkgever hiervan in kennis heeft gesteld’. Op het moment dat de werkgever deze kennisgeving heeft ontvangen, dient hij maatregelen te treffen om te voorkomen dat de zwangere werknemer zich in werkomgevingen kan bevinden die mogelijk tot gevaren kunnen leiden. Echter, er zijn geen limietwaarden voorhanden om de maximale toelaatbare blootstelling voor zwangere vrouwen aan te testen.

Interferentie met medische elektronische apparatuur en hulpmiddelen

Active Implantable Medical Devices (AIMD) is de verzamelnaam voor pacemakers, defibrillatoren, neurostimulators, pijnbestrijding, insulinepompjes, implantaten in het binnenoor en allerlei apparaatjes voor het monitoren van lichaamsfuncties. Deze AIMD's kunnen in hun werking worden gestoord door elektromagnetische velden.

Fabrikanten van bijvoorbeeld pacemakers en defibrillatoren hebben uitgebreide overzichten gemaakt van apparatuur of situaties waarin interferentie kan optreden. Er wordt aangeraden om een afstand van minstens 15 cm tussen objecten die magneten bevatten en een pacemaker of defibrillator aan te houden om te voorkomen dat een interne schakelaar wordt bediend. Deze interne schakelaar wordt tijdens controlebezoeken in het ziekenhuis met een magneet geactiveerd om de pacemaker of defibrillator te testen en om er gegevens uit te kunnen halen. Na weghalen van de magneet keert de pacemaker of defibrillator weer terug naar de oorspronkelijke situatie.

In het algemeen wordt door de fabrikanten een eenvoudige maatregel voorgesteld als de pacemaker of defibrillator wordt gestoord: neem afstand tot de apparatuur, dan verdwijnen de effecten.

De fabrikanten noemen diverse situaties waarin interferentie kan optreden, zoals bij medische toepassingen, in thuissituaties en op het werk en tijdens het maken van reizen. In al deze situaties kunnen zich werknemers bevinden. Men maakt daarbij onderscheid in drie soorten situaties.

Ten eerste komen situaties waarin interferentie waarschijnlijk is en die beter vermeden kunnen worden, voor in de buurt van boogglas-apparatuur, industriële

weerstandslasapparatuur, uitzonderingszones bij omroepzenders, kettingzagen, diëlektrische verwarmingsapparatuur, industriële inductieverwarmingsapparatuur, industriële magneten, inductieovens, uitzonderingszones in elektriciteitscentrale, matrassen en kussens voor magnetische pijnbestrijding, MRI-apparatuur en elektrochirurgieapparatuur. In enkele gevallen wordt aanvullende informatie gegeven. Voor anti-diefstalpoortjes wordt aangeraden om er snel doorheen te lopen. Voor las-apparatuur wordt aangeraden om de lasstroom te beperken tot maximaal 130 ampère.

Volgens Pinski kan elektrochirurgie veilig worden toegepast in patiënten met een geïmplanteerde defibrillator (ICD) mits de defibrillator vooraf wordt gedeactiveerd en na de ingreep weer wordt geactiveerd [141]. Uit een onderzoek naar de interferentie van veertien typen tandartsapparatuur met twee typen pacemakers bleek dat de elektrochirurgieapparatuur tot op 10 cm afstand storingen kon veroorzaken [142]. Irnich geeft een uitgebreid overzicht van de onderzoeken die zijn gedaan aan de storing van AIMD's als gevolg van detectiepoortjes (EAS, RFID en metaaldetectie) [143]. Hij pleit ervoor dat én de fabrikanten van AIMD's én de fabrikanten van de detectiepoortjes maatregelen nemen om storingen te voorkomen.

Ten tweede komen situaties waarin interferentie kan optreden en waarin voorzorgsmaatregelen nodig zijn, voor bij gebruik van bladblazers, boormachines en ander hoog-vermogen gereedschap, soldeerpistolen, decoupeerzagen, elektrische heggenscharen, gazonmaaiers en andere gereedschap met een benzinemotor, bij reparatie van automotoren, in de buurt van anti-diefstalpoortjes, elektronische beveiligingssysteem, metaaldetectiepoorten, antennes van zendamateurs, radioantennes in de Citizens Band en bij gebruik van sommige draagbare telefoons (afhankelijk van type), walkie talkies en de-magnetiseer-apparatuur.

Ten slotte worden er vele situaties genoemd die veilig zijn. Het betreft vooral huishoudelijke apparatuur en apparatuur in de kantooromgeving en het gebruik van allerlei gereedschap. Deze situaties komen goed overeen met de werkomgevingen die in dit rapport in categorie I zijn ingedeeld.

Metalen implantaten, zoals heupprothesen, hartkleppen, aneurisma-clips en hechtingen (clips in hersenen), kunnen in een wisselend elektromagnetisch veld (of bij bewegen in een sterk statisch veld) gaan bewegen of in hoogfrequente velden verhit raken. De WHO oppert dat dragers van AIMD's en ferromagnetische implantaten plaatsen moeten mijden waar het magnetische veld sterker is dan 0,5 mT [54].

Rondvliegend ferromagnetisch materiaal in een statisch magnetisch veld

In de buurt van de volgende sterke permanente magneten of elektromagneten kunnen velden voorkomen met een sterkte van meer dan 3 mT: MRI-scanners, NMR-apparatuur en grote degaussers. De risico's bestaan uit verwondingen door weggeslingerde voorwerpen, zoals schroevendraaiers, scalpels, injectienaalden of scharen, of doordat personen bekneeld kunnen raken tussen de magneet en metalen mobiele apparatuur zoals gasflessen, metalen rolwagens (schoonmaakapparatuur) en metalen stoelen. Ter voorkoming van dergelijke onveilige situaties kan bijvoorbeeld gebruik worden gemaakt van een toegangsregeling in combinatie met opleiding en instructies van bevoegde werknemers of kan een metaaldetectiepoort worden geplaatst.

Activering van elektronische ontstekingsmiddelen en ontbranding van ontvlambaar materiaal

Radiofrequente elektromagnetische velden kunnen door de inductie van elektrische stromen explosieven en ontvlambare materiaal. Volgens een WHO-factsheet is dit een uitzonderlijke gebeurtenis die zich normaal gesproken alleen voordoet bij een concentratie van radarsystemen, zoals aan boord van marineschepen, waar overigens maatregelen zijn getroffen om zulke effecten te voorkomen [144].

Voor het beoordelen van het gevaar van onbedoeld initiëren van elektrische ontstekingsmiddelen met hittedraad door radiofrequente elektromagnetische velden van 9 kHz tot 60 GHz is in januari 2005 leidraad NPR-CLC/TR 50426:2005 en verschenen. Volgens deze leidraad is deze echter niet toepasbaar voor elektronische ontstekingsmiddelen. Voor het beoordelen van het gevaar van onbedoeld ontsteken van ontvlambare gas- of dampmengsels door radiofrequente elektromagnetische velden van 9 kHz tot 50 GHz is in januari 2005 leidraad NPR-CLC/TR 50427:2005 en verschenen. Verder moeten per 1 juli 2006 alle arbeidsplaatsen in Nederland voldoen aan de minimumeisen van de Richtlijn 1999/92/EG (ATEX 137) [145].

5 Inventarisatie van beheersmaatregelen

Paragraaf 2.5 geeft een overzicht van de toepassing van vuistregels en eenvoudige beheersmaatregelen per werkomgeving. Voor iedere werkomgeving geeft dit hoofdstuk een uitgebreider overzicht en onderbouwing van de maatregelen. De eerste paragraaf noemt de algemene eisen aan maatregelen zoals genoemd in de richtlijn, de tweede geeft een overzicht van algemeen mogelijke maatregelen ingedeeld naar de drie categorieën werkomgevingen (zie 2.2) en de derde geeft per werkomgeving specifieke maatregelen die genomen kunnen worden om te kunnen voldoen aan de eisen uit de richtlijn.

Er is getracht zo goed mogelijk aan te sluiten bij de huidige praktijksituatie. Naast gegevens uit literatuur, zijn de aangereikte maatregelen opgesteld op basis van overleg met vertegenwoordigers van bedrijfsleven en werkgeversorganisaties en op grond van observaties tijdens bedrijfsbezoeken. De benodigde maatregelen om de blootstelling onder de actiewaarden te houden kunnen per bedrijf erg verschillen. Door de diversiteit aan typen apparatuur binnen een werkomgeving, het verschil in de al genomen maatregelen en de verschillen in bedrijfsgrootte zal er ook een grote spreiding in de kosten tussen de werkgevers zijn.

De hier genoemde maatregelen zijn bedoeld als overzicht. Voor diverse specifieke situaties bestaat er uitgebreide literatuur of zijn rapporten beschikbaar. De hier genoemde maatregelen beogen de blootstelling te beperken. Na het uitvoeren van maatregelen dient gecontroleerd te worden door metingen of berekeningen of de blootstelling ook daadwerkelijk lager dan de actiewaarden is.

Ten slotte geldt voor werkomgevingen uit iedere categorie dat er geen maatregelen hoeven te worden genomen als wordt aangetoond dat de grenswaarden niet overschreden worden.

5.1 Eisen in de richtlijn en de Arbowet

Volgens artikel 5.2 van de richtlijn moet op basis van de beoordeling worden vastgesteld of het noodzakelijk is beheersmaatregelen te treffen om de blootstelling te beperken. Daarbij wordt rekening gehouden met de stand der techniek en de mogelijkheden om maatregelen te nemen om het risico aan de bron te beheersen, vooral met inachtneming van:

- a alternatieve werkmethoden die leiden tot minder blootstelling;
- b de keuze van arbeidsmiddelen die minder elektromagnetische velden uitzenden;
- c technische maatregelen om de emissie van elektromagnetische velden te beperken, waar nodig ook door het gebruik van blokkering, afscherming of soortgelijke mechanismen;

- d passende onderhoudsprogramma's voor de arbeidsmiddelen en de werkplek;
- e het ontwerp en de indeling van de werkplek;
- f beperking van de duur en intensiteit van de blootstelling;
- g de beschikbaarheid van doeltreffende persoonlijke beschermingsmiddelen.

De Arbowet geeft in artikel 3 de volgorde aan die gehanteerd moet worden bij het nemen van beheersmaatregelen. Rekening houdend daarbij met de stand van de wetenschap en de stand van de techniek, betreft dit achtereenvolgens: het aan de bron voorkomen of beperken van het gevaar van blootstelling; het bieden van collectieve bescherming; het bieden van individuele bescherming; en ten slotte, het beschikbaar stellen van passende persoonlijke beschermingsmiddelen. Voor iedere overgang naar een volgende fase in deze stapsgewijze aanpak geldt dat de bescherming op het kwalitatief lagere niveau slechts acceptabel is als aan het hogere niveau redelijkerwijs niet kan worden voldaan. Het gebruik van de term “redelijkerwijs” geeft aan dat een belangenafweging mag plaatsvinden. Daarbij zullen de technische, operationele en economische haalbaarheid van de beschermingsmaatregelen enerzijds, afgewogen moeten worden tegen de gevaren van de blootstelling anderzijds.

5.2 Algemene maatregelen voor alle werkomgevingen

Als aanvulling op de regels uit de richtlijn zijn er algemene maatregelen die genomen kunnen worden voor alle werkomgevingen. Deze maatregelen zijn afhankelijk van de categorie (zie Figuur 3) waarin de werkomgeving is ingedeeld. Daarnaast zijn er maatregelen die bij alle categorieën moeten worden getroffen voor afwijkende omstandigheden bijvoorbeeld bij zwangere vrouwen en mensen met medische implantaten.

Categorie I werkomgevingen vereisen geen specifieke maatregelen. Categorie IIa betekent dat het waarschijnlijk voldoende is om eenvoudige maatregelen te treffen in de vorm van een gebruiksaanwijzing of een instructie. Een voorbeeld is het hanteren van een voorgeschreven afstand. Categorie IIb betekent dat er zwaardere, technische maatregelen moeten worden genomen. Voor werkomgevingen van deze categorie zal het nodig kunnen zijn om metingen uit te voeren. Categorie III werkomgevingen vereisen omvangrijke maatregelen. Voorbeelden variëren van het ontoegankelijk maken van een ruimte, de bedieningspanelen erbuiten plaatsen en de ruimte bewaken met camera's tot het veranderen van de totale lay-out van een fabriek.

Voor een hogere categorie zijn ook de maatregelen van toepassing die voor lagere categorieën genoemd worden. Dus de maatregelen genoemd bij de laagste categorie, categorie IIa, zijn voldoende voor categorie IIa, maar bij een

werkomgeving in categorie IIb zijn zowel de maatregelen genoemd voor categorie IIa als IIb van toepassing.

Als algemene maatregel valt ook te overwegen dat de fabrikanten van apparatuur aangeven, afhankelijk van de frequentie en het vermogen, binnen welke afstand en positie de actiewaarden of grenswaarden overschreden kunnen worden. Of wanneer geen overschrijding mogelijk is, dit ook aan te geven. Dergelijke informatie zou kunnen worden opgenomen in de gebruiksaanwijzing. Dit is voor sommige apparatuur al praktijk: fabrikanten van mobiele telefoons nemen bijvoorbeeld de maximale SAR op waar het hoofd aan blootgesteld zal worden, op in de gebruiksaanwijzing. Ook is er diverse apparatuur die in het kader van de Machinerichtlijn 98/37/EG [146] al informatie verschaft over zaken zoals de gebruiksaanwijzing, signalering en veiligheid.

5.2.1 Verplichte algemene maatregelen voor alle werkomgevingen

De hier genoemde beheersmaatregelen zijn gebaseerd op artikel 4 en 6 van de richtlijn en artikel 8 van de Arbowet:

- inventarisatie van de huidige blootstelling, hierbij kan meten of berekenen noodzakelijk zijn;
- voorlichting:
 - bekendmaking van de richtlijn en de limieten;
 - bekendmaking van de effecten waartegen de richtlijn beschermt (expliciet melden dat deze niet is opgesteld om bescherming te bieden tegen langetermijneffecten);
 - bekendmaking van de omstandigheden wanneer werknemers aanspraak kunnen maken op gezondheidsonderzoek;
 - bekendmaking van de geïnventariseerde risico's en de beheersmaatregelen die genomen zijn;
- training:
 - aanleren van de bedieningsvoorschriften en veiligheidsvoorschriften;
 - aanleren van een veilige werkwijze; bijvoorbeeld het herkennen van signaleringen en het gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen;
 - herkennen van defecte apparatuur;
 - rapporteren over situaties met een blootstelling boven de actiewaarden;
- categoriebeoordeling van nieuwe apparatuur en toepassingen alsmede nieuwe werkwijzen met eerder beoordeelde apparatuur; bij invoering van de richtlijn dient uiteraard alle apparatuur beoordeeld te zijn, gevolgd door passende beheersmaatregelen die de blootstelling onder de actiewaarden

brengen. Of er moet worden aangetoond dat de grenswaarden niet worden overschreden in de werkomgeving.

5.2.2 Algemene maatregelen per categorie

Per categorie zijn de volgende maatregelen mogelijk. Uitgebreidere overzichten worden gegeven in een de OSH serie van ILO voor de bescherming van werknemers tegen RF en microgolfstraling [66] en voor de bescherming tegen ELF-velden [147]. NEN-EN 12198 noemt algemene maatregelen voor de eliminatie en reductie van blootstelling bij machines [148]. De in de richtlijn genoemde maatregelen zijn gemerkt met hun letter (zie Paragraaf 5.1) :

Categorie IIa:

- specifieke training:
 - herkennen van zone met potentiële veldsterkte boven de actiewaarde;
 - gebruik van apparatuur zodanig dat blootstelling minimaal is;
- beperking van de intensiteit (f):
 - lager vermogen gebruiken, eventueel uitschakelen;
- alternatieve werkmethoden (a):
 - afstand houden tot de bron; bijvoorbeeld door routes te kiezen die niet langs bronnen lopen;
- beperking van de blootstellingsduur (f):
 - kortstondig verblijven binnen de zone rond de bron waar actiewaarden worden overschreden (zes-minutenregel, alleen boven 100 kHz, zie Bijlage 1); bijvoorbeeld door na laden en aanzetten van de apparatuur deze zone te verlaten;

Categorie IIb:

- meten om afstand te bepalen waarop blootstelling onder de actiewaarden is;
- passende onderhoudsprogramma's (d):
 - periodieke controle op breuken en aansluitpunten: iedere golf- of stroomgeleider die bestaat uit slecht passende componenten of materiaal met breuken gaat daar radiofrequente velden uitzenden;
- technische maatregelen (c):
 - maatregelen aan de bron:
 - labellen van machines met de maximale veldsterktes op de bedieningsplekken en op de mogelijke verblijfsafstanden;
 - waarschuwingssignalen aanbrengen; bijvoorbeeld door (knipper)lichten bij inschakelen van apparatuur;
 - afscherming aanbrengen;

- schermen van radiofrequent absorberend materiaal aanbrengen; die zijn beter dan reflecterend materiaal om de blootstelling te beperken;
 - geleidende schermen om ELF elektrisch veld te weren;
 - schermen van mu-metaal om magnetische velden te verzwakken;
 - metalen omhulling van kabels, elektrodes en andere delen die niet als primair product straling veroorzaken;
- aarding aanbrengen ter voorkoming van secundaire stralers en contactschokken:
 - vermindering ELF magnetisch veld door grote stroomcirkels in kleine op te breken, zoals hekken van geleidend prikkeldraad op houten palen;
 - voorkoming van lading door ELF elektrisch veld;
 - voorkomen van antennewerking in RF veld waardoor geleidende materialen elektrisch geladen worden;
- stroomonderbreker (*interlock system*) aanbrengen om te voorkomen dat een machine gebruikt kan worden zonder dat alle beschermende maatregelen op hun plaats zijn;
- secundaire bronnen voorkomen:
 - verwijderen van reflecterend materiaal in de werkruimte;
 - verwijderen van stukken metaal met afmetingen van enige malen een kwart van de overheersende golflengte van het veld;
- scheiding mens en bron:
 - fysieke barrière aanbrengen zoals een hekwerk;
 - beperkte toelating binnen het risicogebied (bijvoorbeeld slechts met schriftelijke toestemming);
 - bedieningspaneel verplaatsen;
 - waarschuwbord ophangen;
 - (verf)markering aanbrengen;
- beschikbaarheid van persoonlijke beschermingsmiddelen (g):
 - RF-werend pak (doorgaans minder comfortabel dan maatregelen aan de bron);
 - geleidend pak om elektrisch veld te weerstaan (bij lage frequenties < 300 Hz);
 - rubberen zolen en dikke sokken om geïnduceerde stroom door het lichaam te reduceren;
 - isolerende handschoenen om contactstromen te voorkomen door contact met, ongeaarde, geladen voorwerpen;

- beschikbaarheid van persoonlijke meet-/alarmeringsapparatuur (g)
 - RF-dosimeters voor het mogelijk maken van toepassing van de zes-minutenregel
 - meetapparatuur met een alarm dat afgaat wanneer de veldsterkte boven een bepaalde grens komt.

Categorie III:

- gevarenbord plaatsen (artikel 5, lid 3 van de richtlijn); op plekken waar de actiewaarden kunnen worden overschreden is dit verplicht, tenzij kan worden aangetoond dat de grenswaarden niet overschreden zullen worden en veiligheidsrisico's kunnen worden uitgesloten;
- keuze van arbeidsmiddelen die minder sterke velden uitzenden (b):
 - vervanging van een proces dat elektromagnetische velden genereert; bijvoorbeeld voor een proces dat alleen warmte genereert (eliminatie);
 - vervanging van, veelal oudere, apparatuur door apparatuur die minder vermogen gebruikt en minder sterke velden uitzendt (vervanging);
 - automatisering van het productieproces waardoor werknemers op afstand kunnen blijven (aanpassing);
- ontwerp en indeling werkplek (e):
 - volledig afsluiten van een ruimte voor alle personeel; doorgaans betekent dit automatisering van de aansturing van de apparatuur, gebruik van afstandsbedieningen en van de observatie van het proces door middel van camera's;
 - de lay-out van een fabriekshal of machine veranderen:
 - meer ruimte tussen machines maken, en afzettingen maken;
 - reflecterende wanden en voorwerpen (secundaire bronnen verwijderen);
 - kooi van Faraday aanleggen om de doorgang langs apparatuur die radiofrequente velden opwekt mogelijk te maken.

Voor afscherming en verzwakking van velden geeft NEN-EN 12198-3:2003 een uitgebreid overzicht van mogelijke maatregelen [148].

5.2.3 Deskundigheid

Voor uitvoering van de bepalingen in de richtlijn dient de werkgever te beschikken over de nodige deskundigheid. Dit vergt in de eerste plaats enige kennis van de richtlijn, maar in de tweede plaats vooral deskundigheid op het gebied van elektrische, magnetische en elektromagnetische velden, en in de derde plaats van

de CENELEC-normen om de blootstelling vast te stellen. Dit is vooral van belang voor de toetsing van de veldsterkten aan de actiewaarden. Ook het nemen van effectieve maatregelen vergt een zekere mate van deskundigheid.

Voor het uitvoeren van de beoordeling van de blootstelling stelt commissie TC106X, WG 4 van CENELEC een norm op. NEN-EN 12198-2:2002 geeft uitgebreide informatie over meten rond machines [148]. Daarnaast zal CENELEC diverse *workplace standards* opstellen voor specifieke werkomgevingen. Op het gebied van de benodigde deskundigheid voor het inventariseren van de blootstelling en het controleren en toepassen van de beheersmaatregelen heeft ILO in de OSH serie no 57 en 69 [66, 147] ook al aanwijzingen en deskundigheidseisen opgesteld waar de deskundigen aan dienen te voldoen. Hierbij worden voorbeelden genoemd zoals de *radiation protection officer* en de *health physicist*.

De werkgever heeft ruwweg twee mogelijkheden om deze deskundigheid in te zetten, namelijk óf deskundigheid zelf opbouwen óf deze extern inhuren.

Uit het uitgevoerde praktijkonderzoek bleek dat de arbeidshygiënist of veiligheidskundige van de Arbo- en Milieudienst meestal niet gespecialiseerd zijn in kennis over elektromagnetische velden; sommige veiligheidskundigen zijn hier wel eens mee in aanraking gekomen. Vooral de veiligheidskundigen die bij metaalbedrijven werken, hebben vaak enige kennis van magnetische velden. Wanneer het doel is om elektromagnetische velden te produceren, zoals bij zendinstallaties, heeft de werkgever doorgaans ook genoeg kennis in huis om de werknemers te kunnen beschermen tegen een blootstelling boven de grenswaarden.

Er zijn ruwweg vier soorten werknemers die met elektromagnetische velden werken, te identificeren:

1. werknemer die niet werkt met of in de buurt van apparatuur uit categorie II of III;
2. werknemer die niet werkt met apparatuur uit categorie II of III, maar wel in de buurt van deze apparatuur werkt (vb onderhoudstechnici);
3. werknemer die werkt met apparatuur uit categorie II of III; en
4. werknemer die controleert of de wetten mbt arbo en veiligheid worden nageleefd.

Op basis van deze soorten werknemers zijn er ook vier typen voorlichting en onderricht te noemen, waarbij soorten werknemers van oplopend nummer ook de soorten voorlichting en onderricht van de lagere nummers genoten dienen te hebben. Onderstaande typen voorlichting en onderricht worden vergezeld van een aantal vragen die men na het volgen van onderricht dient te kunnen beantwoorden.

Deze opsomming is een eerste basislijst die per beroep kan worden aangevuld met specifieke vragen en eisen:

1. Bedrijfsintroductie (type werknemer 1, 2, 3, 4):
 - wie is de arbo-deskundige of veiligheidkundige die EM in zijn/haar takenpakket heeft;
 - wat zijn elektromagnetische velden (E, H, eenheden);
 - waar komen ze voor;
 - welke apparatuur wekt ze op; en
 - waar mag ik niet komen (aangegeven door: zonering, signaleringstekens, afzettingen)?
2. Herkenningstraining (type werknemer 2, 3, 4):
 - hoe herken ik apparatuur buiten de vaste werkplek (maar wel tijdens werkzaamheden) als mogelijke bron van elektromagnetische velden;
 - waar vind ik de standaardlijst met foto's van apparatuur en vuistregels en tabellen voor afstanden voor de apparatuur die ik in mijn beroep tegenkom; en
 - hoe luidt de lijst met contactnummers/websites om informatie aan te vragen (bijv van voorlichters van mobiele telecom)?
3. Apparatuurgebruikvoorlichting (type werknemer 3, 4):
 - wat zijn de karakteristieken van de apparaten;
 - bij welke instelling van de apparatuur kan je op welke locaties blootstelling boven de actiewaarden krijgen; en
 - hoe voorkom je dat jij of iemand anders daaraan wordt blootgesteld?
4. Cursus deskundig EM-veldsterkte bepalen (type werknemer 4)
 - hoe luidt de basisveldtheorie;
 - wat zijn de geldende wetten en actiewaarden en grenswaarden voor blootstelling,
 - wat zijn de bekende mandaten;
 - wat zijn de voorgeschreven NEN / CENELEC normen voor de gebruikte apparatuur;
 - hoe gebruik en lees je die normen;
 - hoe gebruik je de meetinstrumenten;
 - hoe kan je de berekeningen zelf uitvoeren;
 - welke berekeningen / metingen moet je zelf doen;
 - wat zijn de mogelijke maatregelen om de blootstelling te verminderen; en
 - hoe houd je je op de hoogte van de laatste ontwikkelingen?

5.3 Maatregelen per specifieke apparatuurgroep

Voor specifieke apparatuur bestaan er wetenschappelijke rapporten en artikelen die uitgebreide informatie geven over de beschermingsmaatregelen. Een rapport van de HSE uit 1999 [11] bevat gegevens over dergelijke maatregelen met betrekking tot zend- en telecommunicatieapparatuur, inductieverwarming, diëlektrische verwarming en medische apparatuur.

5.3.1 Installatie en onderhoud

Voor werknemers in de werkomgeving Installatie en onderhoud zijn er drie subomgevingen die maatregelen vereisen.

In categorie II vallen werkzaamheden in de buurt van apparatuur die wordt onderhouden en werkzaamheden met apparatuur tijdens onderhoud of installatie. Voor beide werkomgevingen gelden de volgende specifieke maatregelen, die grotendeels zijn overgenomen van het Canadese Environmental Health Directorate (EHD) [149]:

Training

- aanpassingen in de spanning en het vermogen en de vervanging van elementen die radiofrequente velden opwekken moeten door speciaal getrainde werknemers worden uitgevoerd;

Organisatorische maatregelen

- afstanden tot antennes en apparatuur bij de werkplek waarbinnen de actiewaarden kunnen worden overschreden dienen bekend te zijn bij de werknemer;
- antenneregister (www.antenneregister.nl) gebruiken om te controleren of de werkzaamheden in de buurt van zenders plaatsvinden en of de blootstelling onder de actiewaarden blijft;
- instructies en procedures voor reparatie en onderhoud, zoals opgesteld door de fabrikant of door een bevoegd deskundige, bewaren bij de apparatuur en ze toegankelijk te maken via internet, opdat ze snel kunnen worden geraadpleegd;
- vervangingsmaterialen moeten qua eigenschappen overeenkomen met de originele componenten, ten einde verstrooiing bij aansluitpunten, zoals transmissielijnen en golfgeleiders, te voorkomen;

Testen en voorbereiden van werkzaamheden

- meetapparatuur voor stroomsterkte, veldsterkte en dergelijke testen voor het beginnen van de reparatiewerkzaamheden;
- stroomonderbrekers (*interlocks*) testen voor aanvang van de werkzaamheden en ze niet uitzetten;
- beschermende schilden, golfgeleiders en andere componenten terugplaatsen voor aanvang van test;

Uitvoeren van werkzaamheden

- directe bundel van een radiofrequent apparaat niet naar mensen laten wijzen bij het aanzetten voor testen over onderhoudsprocedures;
- meetapparatuur voor het bepalen van stroomsterkte, vermogen en veldsterkten gebruiken gedurende de werkzaamheden om zich ervan te verzekeren dat de blootstelling beperkt blijft tot onder de actiewaarden;
- intensiteit en blootstellingsduur beperken wanneer men per se moet werken op een plek waar de blootstelling boven de actiewaarden kan komen;
- componenten die radiofrequente energie genereren voorzien van een passende uitgangsbelasting of de elektromagnetische energie laten absorberen door een anechoïsch materiaal, opdat de energie zich niet vrij over de ruimte verspreidt.

Voor *trouble shoot* situaties die in categorie III zijn ingedeeld, zijn er omstandigheden waarbij de apparatuur moet worden getest zonder dat alle veiligheidsmechanismen zijn ingeschakeld. Deze situatie is ongewenst, maar niet altijd te voorkomen. Hierbij is grote voorzichtigheid geboden. Het is aan te raden om altijd een veldmeter te dragen en de mogelijkheid te hebben om de apparatuur direct uit te kunnen schakelen wanneer een overschrijding wordt gemeten. Deze uitschakelmogelijkheid kan mechanisch zijn uitgevoerd, maar ook simpelweg doordat gedurende de *trouble shoot* situatie een persoon met de hand bij de aan/uitschakelaar blijft.

5.3.2 Artikel- en persoonsdetectie

Antidiefstal- en metaaldetectiepoortjes vallen in categorie IIa. Als maatregel voor antidiefstalpoortjes voldoet de organisatorische maatregel om een afstand van tenminste 1 meter aan te houden. In sommige gevallen zullen wijzigingen in de indeling van de werkplek nodig zijn, zoals het verplaatsen van het poortje of van een kassa.

Voor de poorten die bijvoorbeeld op vliegvelden en in horecagelegenheden worden gebruikt om metalen voorwerpen te detecteren, geldt dat actiewaarden niet worden overschreden als werknemers buiten de doorgang blijven en niet tegen de behuizing van de poorten leunen. Voor poorten die velden met frequenties boven 100 kHz kan ook de zes-minutenregel worden toegepast (zie Bijlage 1).

5.3.3 Diëlektrische verwarming

Capacitieve apparatuur voor plasticlassen en voor het verlijmen van hout is in categorie IIb ingedeeld. Er bestaat een veelheid van maatregelen die ervoor zorgt dat de blootstelling onder de actiewaarden gehouden kan worden. Deze groep is

ingedeeld in categorie IIb en niet in III, vanwege het feit dat door de al genomen maatregelen de veldsterkte doorgaans onder de actiewaarden blijft. De voornaamste blootstelling is aan radiofrequente en elektrische velden.

Als maatregelen ter beperking van de blootstelling noemen de HSE guidance note uit 1986 [34] en de International Labour Organization (ILO) in 1998 [27] diverse organisatorische en technische maatregelen, alsmede tips voor monitoring en training. Het is aan te raden beschermende maatregelen ruwweg op vier vlakken te nemen:

- gepaste onderhoudsprocedures (doorgaans geen praktijk);
- afscherming van velden (doorgaans gedeeltelijk uitgevoerd);
- diverse technische maatregelen (doorgaans is hier een keuze in gemaakt);
- organisatorisch (doorgaans praktijk).

Gepaste onderhoudsprocedures bestaan uit:

- uitschakelen van het apparaat wanneer er schoongemaakt of gerepareerd wordt;
- alleen opgeleide mensen met kennis van elektromagnetische velden aan de apparatuur te laten komen;
- een regelmatige, bij voorkeur tweejaarlijkse, controle om te bekijken of (deze maatregel komt in de praktijk weinig voor):
 - de RF-generator op het minimaal geschikte vermogen staat afgesteld;
 - de geleiders van generator naar elektroden geen breuken hebben die als secundaire bron kunnen gaan functioneren;
 - de afschermende platen en schermen intact en aanwezig zijn;
 - de *interlock* beveiliging aanwezig is en functioneert.

Maatregelen aan de bronkant

Afscherming van de velden van RF-apparatuur kan op vele manieren worden uitgevoerd. Enkele expliciete, elkaar aanvullende, mogelijkheden zijn:

- afscherming met metalen omhulsels om de elektrodes plaatsen (meest effectief, vaak geen praktijk);
- een ombouw maken om de RF-bron met een zo hoog mogelijk geleidbaarheid aan de binnenkant;
- zo klein mogelijke openingen in de ombouw toestaan (kleiner dan de uitgezonden golflengtes);
- separate geleidende delen gebruiken voor de ombouw om de stromen te minimaliseren;
- geleidende delen met goed geleidende verbindingstukken aanleggen (dus ongeverfd), liefst gelast, opdat de verbindingen niet als zendantenne gaan werken;

- gedegen installatie, zodat vermogensaan- en afvoerdraden en koelbuizen niet ook RF-signalen gaan lekken:
 - geleidende pijpen afschermen, of liever vervangen door plastic pijpen;
 - coaxverbinding rond aan- afvoerdraden leggen, zodat ze niet kunnen uitstralen;
 - aan- en afvoerdraden zo dicht mogelijk bij elkaar;
- meten aan het begin en op regelmatige tijden, om te kijken of afscherming functioneert;
- secundaire bronnen voorkomen.

Overige maatregelen:

- eenvoudige metingen verrichten om te bepalen buiten welke zone rond de bron de veldsterktes onder de actiewaarden blijven (doorgaans geen praktijk);
- scheiding mens en bron:
 - niet geleidend platform neerleggen om elektrisch geïnduceerde stroom door de enkels van de bediener te voorkomen;
 - opwerpen van fysieke barrières die de afstand tussen de bediener en de apparatuur vergroten (bijvoorbeeld een extra brede perstafel);
 - bedieningspanelen op afstand van de RF-bron plaatsen, bijvoorbeeld door het gebruik van:
 - *shuttle trays*;
 - draaitafels;
 - rollerbanen of transportbanden.

Deze maatregelen waren eigenlijk al bedoeld om het apparaat zo efficiënt mogelijk te gebruiken, en zijn dus vaak praktijk. Immers de meest optimale continue benutting van de RF-bron wordt bereikt als bijvoorbeeld het eerste karretje kan worden ingeladen, terwijl het tweede behandeld wordt en het derde leeggeladen;

- aangeven met signalering(sborden) waar de zones met potentiële overschrijding van de actiewaarden (doorgaans praktijk);
- aangeven met een lichtsignaal wanneer de elektrodes onder stroom staan (doorgaans praktijk).

Organisatorische maatregelen zijn:

- de gemiddelde blootstellingsduur beperken, zodat na toepassing van de zes-minutenregel de blootstelling effectief onder de actiewaarden blijft;
- gebruiks- en bedieningsvoorschriften bij de apparatuur voorhanden te hebben.

Persoonlijke beschermingsmiddelen:

- het dragen van schoeisel met dikke rubberen zolen en dikke sokken, om elektrisch geïnduceerde stroom door de enkels van de bediener te voorkomen.

Secundaire bronnen zijn goed geleidende materialen zoals metalen waterleidingen en luchtkoelingsbuizen. Objecten met een lengte van veelvoud van een kwart van de uitgezonden golflengte absorberen optimaal energie uit het veld en zenden het opnieuw uit, zodat er dicht bij werkplekken nieuwe RF-bronnen ontstaan die niet zijn afgeschermd. Dit probleem kan aangepakt worden door dergelijke metalen objecten op afstand van de RF-bronnen te houden of door de afmetingen in ieder geval geen veelvoud van een kwart golflengte te maken.

Een geleidende vloer zorgt voor aarding van de bediener. Bij een ongeaard persoon is de absorptie van RF-energie tussen 70 - 80 MHz het hoogst, bij een geaard persoon verschuift deze naar 40 - 50 MHz. Daarbij verandert voor een geaard persoon de stroomverdeling in het lichaam zo dat er meer RF-energie wordt geabsorbeerd in het onderbeen en de enkels. Een bediener kan dus beter niet geaard zijn.

5.3.4 Elektriciteitsproductie en -distributie

Elektriciteitscentrales en luchtspoelen in condensatorbanken vallen in categorie IIb. De blootstelling is hier aan magnetische velden. In energiecentrales kunnen actiewaarden worden overschreden bij transformatoren, gelijkrichters en stroomgeleiders. In sommige onderstations bevinden zich condensatorbanken met luchtspoelen. Tot op 2 tot 5 m van deze luchtspoelen worden de actiewaarden voor het magnetische veld overschreden.

Maatregelen:

- beperkte toelating binnen gebied (bijvoorbeeld slechts met schriftelijke toestemming);
- waarschuwbord ophangen;
- metingen uitvoeren om de zones vast te stellen waar de actiewaarden worden overschreden;
- hekwerken plaatsen om deze zones.

Voor gelijkrichters gelden dezelfde regels als genoemd bij de gelijkrichters van elektrochemische processen.

5.3.5 Elektrochemische processen

Op basis van bedrijfsbezoeken, metingen van KEMA en literatuur blijkt dat de gelijkrichterruimte in categorie III valt, omdat daar de blootstelling enkele tientallen malen boven de actiewaarden kan zijn. De stroomgeleiders en de elektrolysehal vallen in categorie IIb, omdat de blootstelling door diverse maatregelen onder de actiewaarden gehouden kan worden. Een aantal maatregelen is al praktijk. De blootstelling voor deze groep is voornamelijk aan laagfrequente, 50 Hz, magnetisch velden. Afscherming en toepassen van de zes-minutenregel kan dus niet voor deze groep. De oorzaak van de overschrijding van de actiewaarden vormen de harmonische bijdragen van 50 Hz die niet voldoende uit de gelijkstroom worden gefilterd. Na optelling van de verschillende frequenties met de somregel kunnen deze harmonische bijdragen tot overschrijding leiden.

Het is bij deze groep nodig metingen te verrichten om te bepalen buiten welke zone rond de bron de veldsterktes onder de actiewaarden blijven (gedeeltelijk praktijk);

Elektrolysehal en bus bars

Voor de *bus bars* en de elektrolysehal geldt dat de beschermende maatregelen voornamelijk gebiedscontrole betreffen:

- waarschuwborden plaatsen bij binnentreden van de elektrolysehal (doorgaans al uitgevoerd in praktijk);
- metingen verrichten om de zones te bepalen waarbinnen de actiewaarden worden overschreden;
- verfmarkeringen aanbrengen rond de *bus bars* en elektrolysebakken waarbinnen de veldsterkte de actiewaarde overschrijdt. (doorgaans al uitgevoerd in praktijk);
- hekwerk plaatsen rond de elektrolysebakken en stroomgeleiders (gedeeltelijk praktijk).

Bus bars

Om blootstelling rond de *bus bars* te beperken zijn de volgende maatregelen mogelijk:

- aan en afvoerende stroomgeleiders over zo lang mogelijke stukken, zo dicht mogelijk langs elkaar leggen (gedeeltelijk praktijk);
- *bus bars* op een hoogte van enkele meters boven de hoofden van de werknemers door de hal te laten lopen (doorgaans al praktijk).

Elektrolysehal

Om te hoge blootstelling bij de elektrolysebakken te voorkomen, is een combinatie van de volgende maatregelen nodig:

- berekenen of de grenswaarde wordt overschreden;

- elektrolysebakken verzinken in de werkvloer, zodat er een grotere afstand komt tussen de stroomvoerende bak en de werknemer (in aantal gevallen praktijk);
- looppaden markeren tussen de elektrolysebakken zodanig dat de werknemer ertussendoor kan lopen zonder te worden blootgesteld boven actiewaarden.

De blootstelling bij elektrolysebakken kan door de al bestaande fabrieksinrichting niet altijd, maar vaak wel, onder de actiewaarden gehouden worden, vandaar de laatst genoemde maatregel. De elektrolysehal is daarom op de grens van categorie IIb en III.

Gelijkrichters

Voor de gelijkrichters geldt dat de blootstelling tot enige tientallen malen de actiewaarden kunnen bedragen in de gelijkrichterruimtes. De gelijkrichters vallen daarmee in categorie III.

Het is nodig om:

- de apparatuur te vervangen voor gelijkrichters die minder harmonische bijdragen veroorzaken. In het ideale, niet realistische, geval zelfs geen, zodat de actiewaarden helemaal niet worden overschreden,

of

- de omgeving van de gelijkrichters te voorzien van gevarenborden;
- de gelijkrichterruimte af te sluiten en ontoegankelijk te maken; en
- de omgeving van gelijkrichters ontoegankelijk te maken voor personeel.

5.3.6 Inductieverwarming

Apparatuur voor inductieverwarming valt in categorie IIb, vanwege de in de literatuur berichte gemeten overschrijdingen van de actiewaarden in EU landen en het in enkele gevallen geconstateerde gebrek aan afscherming. In de buurt van inductieverwarmingsapparatuur met open spoelen en in de buurt van inductieovens worden actiewaarden voor het magnetische veld overschreden. Naast de uiteenlopende frequenties en vermogens die worden toegepast, is ook de werkwijze van groot belang. Vaak hoeven op de plaatsen waar de actiewaarden worden overschreden geen werknemers aanwezig te zijn. Voor het bepalen van de afstanden waarbuiten actiewaarden niet worden overschreden, is het, mede door de diversiteit in apparatuur, meestal nodig om (eenvoudige) metingen te doen. De blootstelling is voor grote smeltovens doorgaans aan ELF (50 Hz) magnetische velden. Door de verscheidenheid kan er bij applicaties voor oppervlakteverwarming, of kleinere ovens ook blootstelling aan hogere frequenties tot 8 MHz plaatsvinden.

Met eenvoudig uitvoerbare maatregelen van afscherming aan de bron van elektrische en elektromagnetische velden bij nieuwe of gerenoveerde apparatuur en door afstandsmarkeringen en hekken bij oudere apparatuur op basis van metingen kan de blootstelling doorgaans onder de actiewaarden worden gehouden. Voor inductieovens is het waarschijnlijk dat door de geproduceerde warmte de werknemer uit zichzelf afstand zal houden. Deze redenering geldt echter niet altijd, bijvoorbeeld wanneer een hittewerend pak wordt gedragen. Ook blijkt uit bedrijfsbezoeken dat deuren en kettingen in hekken ten onrechte gebruikt kunnen worden als reguliere doorgangen.

Het is aan te raden, net als bij diëlektrische verwarming, beschermende maatregelen op ruwweg vier vlakken te nemen:

- gepaste onderhoudsprocedures (doorgaans geen praktijk);
- afscherming van velden (doorgaans gedeeltelijk uitgevoerd);
- diverse technische maatregelen (doorgaans gedeeltelijk praktijk);
- organisatorisch (doorgaans al praktijk).

Gepaste onderhoudsprocedures bestaan uit:

- uitschakelen van het apparaat wanneer er schoongemaakt of gerepareerd wordt;
- alleen opgeleide mensen met kennis van elektromagnetische velden aan de apparatuur te laten komen;
- een regelmatige, bij voorkeur jaarlijkse, controle (geen praktijk) om te bekijken of:
 - de generator op het geschikte vermogen staat afgesteld;
 - de geleiders van generator naar de spoelen geen breuken hebben die als secundaire bron kunnen gaan functioneren;
 - de afschermende platen en schermen intact en aanwezig zijn
 - de hekwerken aanwezig, gesloten en intact zijn;
- metingen aan het begin en op regelmatige intervallen doen, om te kijken of afscherming functioneert;
- secundaire bronnen voorkomen.

Overige maatregelen:

- eenvoudige metingen te verrichten om te bepalen binnen welke zone rond de bron de veldsterktes de actiewaarden overschrijden (gedeeltelijk praktijk);
- Technische maatregelen aan de bronkant zijn:
 - zover mogelijk automatiseren (gedeeltelijk praktijk, bijvoorbeeld bij verwarmen van buizen en stripverwarmers);
 - spoelen afschermen om elektrische velden te weren (doorgaans praktijk bij gerenoveerde en nieuwe apparatuur, niet bij apparatuur van enige tientallen jaren oud);

- spoelen dusdanig richten dat de laagst mogelijke component van het magnetische veld wijst richting voor werknemers toegankelijke plaatsen (gedeeltelijk praktijk);
 - aan- en afvoergeleiders afschermen;
 - aan- en afvoergeleiders van stroom zo dicht mogelijk op elkaar leggen, bij kabels deze twisten;
 - aan- en afvoergeleiders buiten bereik van de werknemers, bijvoorbeeld op enige meters boven het hoofd, ophangen.
- Scheiding mens en bron:
 - fysieke barrières opwerpen die de afstand tussen de bediener en de apparatuur vergroten, door bijvoorbeeld het bedieningspaneel op een afstand op een verhoging te plaatsen (doorgaans praktijk);
 - hekwerken plaatsen rond de inductieverwarmer, vooral rond de spoelen (gedeeltelijk praktijk);
 - signalering(sborden) plaatsen om aan te geven wat de gebieden met mogelijke overschrijding van de actiewaarden zijn (al praktijk);
 - lichtsignaal gebruiken om aan te geven wanneer de machine in gebruik is, zodat afstand kan worden gehouden (gedeeltelijk praktijk).

Organisatorische maatregelen zijn:

- verblijfstijd beperken door de zes-minutenregel (voor frequenties boven 100 kHz) aan te houden;
- afstand houden van de apparatuur, voor de meeste werkzaamheden hoeven werknemers niet in de buurt van de inductieverwarmers te komen; looppaden niet onnodig langs inductieverwarmers leiden;
- gebruiks- en bedieningsvoorschriften bij de apparatuur voorhanden hebben.

Smeltovens waarbij tijdens het proces handmatig materiaal moet worden toegevoegd of waarbij moet worden gemeten door een opening in de oven kunnen leiden tot een blootstelling van enkele malen de actiewaarden, en vallen daarom in categorie III. Deze smeltovens kunnen alleen worden gebruikt als wordt aangetoond dat de grenswaarden niet worden overschreden, of als het productieproces geautomatiseerd wordt.

5.3.7 Lassen

Elektrisch handmatig lassen gebeurt door middel van gelijkstroom en van wisselstroom en met enige honderden ampères. In het geval van wisselstroom, of

gelijkstroom met aanwezigheid van hogere harmonische bijdragen is er direct in de buurt van de kabel de mogelijkheid van overschrijding van de actiewaarden. De blootstelling is vooral aan magnetische velden.

Bij booglassen met de hand zijn er twee plaatsen waar actiewaarden kunnen worden overschreden, namelijk dicht bij de kabel en bij de elektrodehouder. De elektrodehouder is in categorie IIa ingedeeld, omdat de blootstelling voor het centraal zenuwstelsel eenvoudig te voorkomen is. De stroomkabel is in categorie IIb ingedeeld, omdat bij de gangbare werkwijze de laskabel via de rug en nek over de schouders wordt gedragen om het gewicht van de arm te houden. Door de arm niet te belasten kan de hand beter stil gehouden worden en dus een betere las gemaakt worden.

NEN-EN 60974-10 geeft aanwijzingen om de veldsterkte te verminderen met het oog op de EMC-problematiek [50]. Ook basisnorm NEN-EN 50444:2005 Ontw. [51] en productnorm NEN-EN 50445:2005 Ontw. [52] geven aanwijzingen.

Maatregelen liggen voor een belangrijk deel bij de te volgen werkwijze, de belangrijkste regel die nageleefd dient te worden, en doorgaans nog niet wordt gevolgd in de praktijk:

- kabel nooit over de nek, schouders of de rug laten lopen!

Technische maatregelen:

- laskabel-ophangstelsel of -drager gebruiken, zodat lasser geen behoefte heeft de kabel over de schouders te leggen om het gewicht te dragen;
- afschermen van de laskabel met geaard metaal, in ieder geval bij permanent geïnstalleerde apparatuur;
- afscherming van de lasinstallatie en de stroombron met bijvoorbeeld lasschermen;
- directe aarding of aarding via een capaciteit van het werkstuk;
- twisten van kabels, om signaal te minimaliseren;
- aan- en afvoerkabel (werkstukaarddraad) over een zo groot mogelijke afstand langs elkaar leggen;
- kabels zo kort mogelijk houden om de blootstellingszone zo klein mogelijk te houden

Organisatorische maatregelen zijn:

- afstand aanhouden tussen het hoofd en het laswerkstuk, dus niet dicht op de las kijken;
- tijdelijke afzetten van de zone waar gelast wordt;
- afstand tot de laskabel aanhouden;

- afstand aanhouden tot lasgeneratoren, dus deze op afstand van de werkplek houden.

De minimale afstand is met behulp van eenvoudige rekenregels in te schatten en zal doorgaans niet meer dan 40 cm bedragen.

Voor punt –en inductielassen, doorgaans half-geautomatiseerd of met vaste apparatuur, zijn blootstellingen bekend van meerdere malen de actiewaarden. Deze apparatuur is dan ook ingedeeld in categorie III. De enige manier om deze lastechnieken te kunnen blijven gebruiken, is door ze dusdanig te automatiseren dat er geen werknemers meer nodig zijn binnen de blootstellingszone.

Als vuistregel kan worden gehanteerd dat actiewaarden niet worden overschreden als de afstanden tot de kabel uit Tabel 6 worden aangehouden. Als deze afstand niet kan worden aangehouden dient óf uit een meting te volgen dat de actiewaarden niet worden overschreden óf uit een redenering te volgen dat de grenswaarden niet worden overschreden. In ieder geval dient ervoor te worden gezorgd dat de kabel ver blijft van hoofd en ruggengraat (kabel niet over de schouder).

5.3.8 Medische toepassingen

Het is aan te raden beschermende maatregelen op ruwweg drie vlakken te nemen:

- afscherming van velden (doorgaans gedeeltelijk uitgevoerd);
- diverse technische maatregelen (doorgaans gedeeltelijk praktijk);
- organisatorisch (doorgaans al praktijk).

MRI

Het scannen met MRI-apparatuur valt in categorie IIb. Er is zowel sprake van zeer sterke statische magnetische velden van enige tesla's als van gradiënt en radiofrequente velden. Voor een uitgebreid overzicht van mogelijke maatregelen wordt verwezen naar Environmental Health Criteria vol. 232 van de WHO en een artikel van Kanal *et al.* [55, 150]. Het is raadzaam alle onderstaande maatregelen op te volgen.

Technische maatregelen:

- beperking van de externe magnetische flux door gebruik van ferromagnetisch materiaal voor de magneetkern
- afscherming van de magnetische velden voor zover mogelijk buiten de MRI, bijvoorbeeld door gebruik van een ferromagnetische omsluiting die “fluxlijnen insluit”. Dit is doorgaans een kostbare methode die niet zoveel bescherming biedt als een de MRI-apparatuur onder te brengen in een

kamer die ruim genoeg is om enkele meters afstand te kunnen houden. (doorgaans praktijk);

- afscherming van de gehele kamer om de verspreiding van magnetische en elektromagnetische velden te beperken (vaak praktijk);
- bedieningspaneel op enkele meters van de spoelen plaatsen, opdat de bediener zeker op voldoende afstand van de apparatuur zit (doorgaans praktijk);
- lichtsignaal om aan te geven wanneer MRI in gebruik is;
- waarschuwbord ophangen op toegangsdeur dat wijst op hoge velden, en gevaar voor uitvallen van pacemakers en voor projectielwerking (doorgaans praktijk);
- metaaldetectiepoort plaatsen bij toegangsdeuren om projectielwerking van metalen voorwerpen te voorkomen (doorgaans praktijk).

Organisatorische maatregelen:

- afstand van minimaal enkele meters aanhouden.
- werknemers opdat zij genoeg informatie hebben om hun blootstelling zo laag mogelijk te houden.
- een medisch dossier van iedere werknemer die met MRI werkt, bijhouden waarin vermeld wordt: welke trauma, procedures of ingrepen ze hebben ondergaan waarbij een ferromagnetische metalen voorwerp zou kunnen zijn geplaatst in hun lichaam; en welke gevoeligheden ze kunnen hebben voor het werken in magnetische velden.

MRI met interventiewerkzaamheden valt in categorie III. Dat betekent dat moet worden gecontroleerd of de grenswaarden worden overschreden, of dat er een manier moet worden ontwikkeld om de blootstelling tijdens interventiewerkzaamheden onder de actiewaarden te houden.

Korte-golf- en microgolfdiathermieapparatuur

Diathermie apparatuur is zo afgesteld dat de velden optimaal aankoppelen op het lichaam van de patiënt. Ze zijn bedoeld om op te warmen en de blootstelling is dus aan radiofrequente velden. Deze applicaties liggen op de rand van categorie IIa en IIb. Doorgaans zijn organisatorische maatregelen zoals afstand houden, voldoende. Deze afstand moet dan wel worden vastgesteld met behulp van een meting.

Technische maatregelen:

- afschermen van elektroden, toevoerdraden en aansluitingen omdat daar strooivelden ontstaan die optimaal kunnen inkoppelen op de bediener;
- verwijderen van (grote) metalen voorwerpen uit de kamer waar de (microgolf)diathermie apparatuur staat opgesteld om reflecties van velden te voorkomen.

Organisatorische maatregelen:

- afstand van tenminste 2 meter aanhouden (in de praktijk doorgaans niet werkbaar); uit een eenvoudige meting kan blijken dat een afstand van enkele tientallen centimeters, dus een armlengte, genoeg is (dat is wel werkbaar); anders moet in ieder geval de verblijfstijd beperkt worden;
- verblijfstijd beperken door de zes-minutenregel aan te houden.

Voor microgolfdiathermie geldt dat een afstand van 1 meter aanhouden voldoende is, en dat op de plek van de bediener daardoor de actiewaarden al niet meer overschreden worden.

Diepe hyperthermie

Op twee locaties in Nederland wordt diepe hyperthermie toegepast. In beide gevallen zijn metingen gedaan.

Organisatorische maatregelen zijn hier voldoende:

- afstand van tenminste 1 meter aanhouden;
- verblijfstijd beperken door de zes-minutenregel aan te houden.

Elektrochirurgie

Deze handeling heeft overeenkomsten met diëlektrische apparatuur en lassen. Bij elektrochirurgie is echter sprake van frequenties van tientallen kilohertz tot tientallen megahertz en zal de blootstelling voornamelijk aan radiofrequente velden zijn. Toch moet er daarnaast rekening gehouden worden met de mogelijkheid van hoge stroomdichtheden door een lokaal magnetisch veld.

Maatregelen liggen voor een belangrijk deel op het organisatorische vlak. Een belangrijke regel, net als bij lassen, die nageleefd dient te worden, en doorgaans nog niet wordt gevolgd in de praktijk:

- Kabel nooit over de nek, schouders of de rug laten lopen!

Technische maatregelen:

- kabel-ophangstelsysteem of -drager gebruiken, zodat chirurg geen behoefte heeft de kabel langs het lichaam te geleiden (geen praktijk);
- afschermen van de transmissiekabel met geaard metaal, in ieder geval bij permanent geïnstalleerde apparatuur; een coaxkabel heeft het gevaar van lekstromen bij de hand van de chirurg (gedeeltelijk praktijk);
- kabels zo kort mogelijk houden om de blootstellingszone zo klein mogelijk te houden.

Organisatorische maatregelen zijn:

- verblijfstijd beperken door de zes-minutenregel aan te houden, dus de chirurgische apparatuur niet aaneengesloten aan te hebben staan (gedeeltelijk praktijk);
- afstand tot de transmissiekabel aanhouden;
- afstand aanhouden tot radiofrequente generatoren, dus deze op afstand van de werkplek houden.

5.3.9 Microgolfdrogen

De enige praktische toepassing met een ‘open magnetron’ in Nederland is de bestrijding van de bonte knaagkever in hout. Daarnaast zijn er exotische, nog experimentele toepassingen voor het onsmetten van bijvoorbeeld grond.

Technische maatregelen:

- afscherming van de magnetron, zodat maar naar één kant gestraald kan worden en niet naar achteren;
- *interlock* schakelaars toepassen zodat bij het wegnemen van de bescherming, of als de bron verkeerd gericht staat, bij grond niet naar beneden, de bron niet aangezet kan worden;
- lichtsignaal aanbrengen om aan te geven wanneer de bron aan staat;
- gevarenbord plaatsen.

Daarnaast is de belangrijkste organisatorische maatregel om de werknemers erop te wijzen welke afstand ze minimaal moeten aanhouden, en dat ze zich niet in de bundel mogen bevinden.

5.3.10 Onderzoekstoepassingen

De apparatuur die in onderzoeks- en onderwijsinstellingen wordt toegepast, is zeer divers. Over het algemeen kan worden gesteld dat alle apparatuur die in de andere apparatuurgroepen is opgesomd ook in deze instellingen kan voorkomen. Dat betekent dat men in eerste instantie gebruik kan maken van de maatregelen uit die apparatuurgroepen.

Deze werkomgeving heeft vooral overeenkomsten met Installatie en onderhoud, het ligt dus voor de hand de maatregelen voor deze groep ook hier te hanteren.

5.3.11 Vervoer en tractiesystemen

Het railvervoer in Nederland werkt voor het grootste deel op gelijkstroomvoeding. De hoge-snelheidslijnen die momenteel worden aangelegd, gaan op wisselstroom (50 Hz) werken. De arbeidssituaties waarin de hoogste velden worden verwacht, zijn bij het schouwen van de bovenleiding (blootstelling van het hoofd) en lopen over spoorstaven (blootstelling van de voeten). Het volstaat om als organisatorische maatregel een afstand van meer dan 10 cm afstand van de bedrading en de spoorstaven aan te houden.

5.3.12 Zendinstallaties

Algemene maatregelen voor zendinstallaties

Algemene maatregelen voor het beheer van zenders kunnen op de volgende vlakken worden genomen:

- specifieke training;
- maatregelen voor onderhoudssituaties aan zenders;
- technische maatregelen aan de bronkant;
- technische maatregelen aan de menskant;
- organisatorische maatregelen;
- persoonlijke beschermingsmaatregelen.

Het is raadzaam al deze maatregelen te nemen.

Training:

- training van personeel voor de juiste technische achtergrondkennis over elektromagnetische straling en beschermingsmogelijkheden (doorgaans al praktijk) opdat ze zenders goed herkennen en zelf (eenvoudig) kunnen meten en berekenen wat de veldsterkte is.

Installatie en Onderhoud:

- zie de maatregelen voor de werkomgeving Installatie en Onderhoud.

Technische maatregelen aan de bronkant (gedeeltelijk praktijk):

- zijlobben zoveel mogelijk voorkomen door geschikt antenntype te kiezen;
- antennebundel nauwkeurig richten;
- op verhoging plaatsen, zodat ze niet per ongeluk benaderd kunnen worden en zodat de hoofdbundel over de hoofden loopt;
- vermogen minimaliseren voor het beoogde bereik, dus niet maximaal mogelijke;
- labelen van antenne-installaties met (gedeeltelijk praktijk):
 - naam van beheerder;

- telefoonnummer van beheerder;
- *input* vermogen en ERP vermogen;
- zendfrequentie;
- tekening van zone waarbinnen actiewaarden worden overschreden.

Technische maatregelen aan de menskant (scheiden mens en bron):

- hekwerk plaatsen (rond omroepzenders en radars doorgaans al praktijk), eventueel voorzien van een *interlock* schakelaar waarmee het onmogelijk is de zenders te benaderen bij in bedrijf zijn;
- verfmarkering gebruiken om zones waar de actiewaarden worden overschreden aan te geven (gedeeltelijk praktijk rond radars);
- waarschuwbord plaatsen (gedeeltelijk praktijk, maar lang niet overal)

Organisatorische maatregelen:

- afstand houden van antennes; controleer op het Antenneregister (www.antenneregister.nl) of welke zenders in de buurt staan van de werkzaamheden, en wat de kenmerken van de zenders zijn, zoals de zone waarbinnen de actiewaarden worden overschreden;
- intensiteit laten verminderen; vraag eventueel aan om de antenne op minder vermogen te laten werken of uit te schakelen;
- blootstellingsduur beperken, zodat na toepassing van de zes-minutenregel de actiewaarden niet worden overschreden; dit kan door snel te passeren door velden met een veldsterkte boven de actiewaarden zoals bij beklimming van een mast met meerdere zendende elementen, dit vergt wel nauwkeurige berekening;
- schriftelijke aanmelding en toestemming om aan een zender te werken of binnen een afzetting te komen. (doorgaans praktijk bij grote zendinstallaties op masten en torens [151].)

Persoonlijke beschermingsmiddelen:

- RF-werend pak dragen (alleen als andere maatregelen niet voldoende zijn);
- RF-dosimeter of veldsterktemeter dragen voor het mogelijk maken van toepassing van de zes-minutenregel.

Enkele specifieke maatregelen en vuistregels

Voor WLL-systemen kan als vuistregel een afstand van 1 m tot de antenne worden aangehouden. Het is van belang dat werknemers de diverse antennesystemen leren herkennen en dan vooral de werknemers die niet aan de antennes zelf werken.

Voor de kleine straalzenders met een input vermogen van 1 W op antennemasten geldt dat de actiewaarden niet worden overschreden op ongeveer 1 m afstand. Omdat er ook straalzenders zijn met hogere vermogens waarvoor deze afstand niet

geldt, is het beter om als vuistregel te hanteren om buiten de bundel te blijven door niet voor de schotel te gaan staan.

TETRA-zenders in masten vallen in categorie IIb. Werknemers worden alleen blootgesteld boven de actiewaarden wanneer ze in de mast klimmen. In dat geval moeten of de zenders worden uitgezet, of een radiofrequentwerend pak gedragen worden, of de blootstelling door de tijdsmiddeling onder de grenswaarden blijven.

Grote omroepzenders vallen in categorie III. Het is zeker dat de actiewaarden overschreden worden. Doorgaans kunnen er geen eenvoudige maatregelen genomen worden. Eventuele mogelijkheden zijn het aanbrengen van een kooi van Faraday zodat zenders gepasseerd kunnen worden. In een zendmast kan dit bijvoorbeeld door het aanleggen van een liftkooi die ondoordringbaar is voor radiofrequente velden.

Kleine omroepzenders, lokale en regionale FM-zenders die op gebouwen staan, vallen door hun eenvoudige voorkomen mogelijk niet op voor dakwerkers. Daarbij zijn deze zenders ook nog niet opgenomen op de website van het Antenneregister. Deze vallen in categorie IIb. Er moeten namelijk beheersmaatregelen genomen worden om de herkenbaarheid te vergroten.

Overige radars vallen in categorie IIb. Door de hoge vermogens is het mogelijk dat bij vaste radars in de hoofdbundel op honderden meters de actiewaarden overschreden worden. Hoewel bij roterende radars door de *duty cycle* de gemiddelde blootstelling afneemt met enkele honderden of duizenden malen, is het noodzakelijk om bij iedere radar vast te stellen door middel van metingen of berekeningen buiten welke zone werknemers zich dienen op te houden. Deze zone kan dan bijvoorbeeld worden afgezet of op de grond worden aangegeven. Deze praktijk wordt door de Nederlandse marine al toegepast op bijvoorbeeld schepen.

5.3.13 Overige werkomgevingen

Werkomgevingen en apparatuur die hier niet expliciet genoemd worden, moeten in de eerste instantie worden ingedeeld in categorie II. Dat betekent dat tot de indeling definitief is, of er specifieke maatregelen zijn opgesteld voor de nieuwe werkomgeving, tenminste de Algemene maatregelen van toepassing zijn.

Voor niet-destructief magnetisch onderzoek kan worden gedacht aan technische maatregelen, zoals het verminderen van de stroom en het controleren met behulp van metingen en aan organisatorische maatregelen, zoals het houden van voldoende afstand tussen apparatuur en hoofd en romp van de werknemer.

6 Bedrijfseffecten

De ministeries van Economische Zaken, Justitie en Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu hebben hulpmiddelen ontwikkeld om de effecten van voorgenomen regelgeving te beoordelen [152]. Van deze hulpmiddelen is de Handleiding bedrijfseffectentoets uit april 2003 (BET) gebruikt. Omdat het de implementatie van een Europese richtlijn betreft, kan de *quick scan* worden overgeslagen. ‘Bedrijfseffecten geven de beoogde en niet beoogde gevolgen van regelgeving voor het bedrijfsleven weer, zoals marktwerkingseffecten en sociaal-economische gevolgen.’, aldus de Handleiding.

De gevolgen van de implementatie van de richtlijn worden hier samengevat. In de eerste plaats richt dit hoofdstuk zich op de beoordeling van werkomgevingen met betrekking tot de blootstelling van de werknemer. Ook dient de werkgever de werknemer(s) voor te lichten. Met de werkomgeving wordt in dit rapport de combinatie bedoeld van de apparatuur op de werkplek die de elektromagnetische velden veroorzaakt en de toepassing ervan. In de tweede plaats wordt met de implementatie beoogd dat beheersmaatregelen genomen worden om ervoor te zorgen dat grenswaarden niet meer worden overschreden. In de derde plaats dienen er voorzieningen te worden getroffen om werknemers die een bijzonder risico lopen te beschermen en om overige effecten te voorkomen.

De Bedrijfseffectentoets bestaat uit een vragenlijst met acht vragen, die in de hiernavolgende paragrafen worden beantwoord. De nadruk ligt bij de bedrijfseffecten op de te maken kosten. Daarnaast wordt ook ingegaan op andere bedrijfseffecten, zoals baten, draagkracht, concurrentie met het buitenland, marktwerking en sociaal-economische effecten. De kosten hebben betrekking op het verschil tussen de huidige en de toekomstige situatie.

Er zijn twee kostenposten onderscheiden, namelijk de administratieve lasten en de kosten van beheersmaatregelen. Tot de administratieve lasten behoren de kosten van de inventarisatie van blootstellingsniveaus (incl. meten en/of rekenen) en het voorlichten van de werknemers.

6.1 Soort en aantal bedrijven

- Vraag 1 Voor welke categorieën bedrijven heeft de ontwerp-regelgeving mogelijk bedrijfseffecten?*
- Vraag 2 Hoeveel bedrijven worden daadwerkelijk met de ontwerp-regelgeving geconfronteerd?*

In het voorliggende rapport zijn werkomgevingen opgesomd waar overschrijdingen van actiewaarden en/of grenswaarden kunnen optreden. Deze werkomgevingen

zijn ingedeeld in de categorieën I, IIa, IIb en III, naar gelang de mogelijke overschrijding van actiewaarden of grenswaarden (zie Paragraaf 2.3).

Het overgrote deel van de bedrijven heeft alleen werkomgevingen in de categorieën I en IIa. Bedrijven met alleen werkomgevingen in categorie I hoeven geen beheersmaatregelen te nemen. Deze bedrijven dienen het onderwerp ‘elektromagnetische velden’ wel in hun RI&E op te nemen, maar dat kost nauwelijks extra moeite. Voor werkomgevingen in categorie IIa wordt aangenomen dat de kosten van de beheersmaatregelen minimaal zijn. Het betreft hier een eenvoudige instructie die bijvoorbeeld in de introductie van nieuwe werknemers kan worden opgenomen. Voor de werkomgevingen in de categorieën I en IIa is daarom geen poging gedaan om een schatting van het aantal werkomgevingen en/of werknemers te maken.

Van de werkomgevingen in de categorieën IIb en III is nagegaan in welke bedrijfstakken deze kunnen voorkomen (zie Tabel 9, kolom ‘SBI-codes’). Dit is op het hoogste aggregatieniveau gebeurd (zie voor de betekenis van de SBI-codes Bijlage 3). Vervolgens is met behulp van CBS-gegevens over aantallen bedrijven per SBI-code nagegaan om hoeveel bedrijven het gaat (zie Tabel 9). In die gevallen waarin er geen gedetailleerde gegevens voorhanden zijn, is een schatting van de orde van grootte (10, 30, 100, 300, 1000, etc.) opgenomen. De onzekerheid in de schattingen bedraagt meestal ongeveer een factor 3, zowel naar boven als naar beneden, maar deze kan ook groter zijn. In de uiteindelijke berekening van de kosten van beheersmaatregelen (zie Paragraaf 6.2.2) zijn een lage en een hoge schatting van het aantal bedrijven of werknemers gehanteerd; in Tabel 9 zijn gemiddelde waarden gegeven.

Per bedrijf kunnen er meer werkomgevingen voorkomen die beheersmaatregelen vergen. In sommige gevallen is het nodig om ook het aantal werknemers te weten. Als bijvoorbeeld ervoor wordt gekozen om alle booglassers voor te lichten over hoe de blootstelling te minimaliseren, dan is het belangrijker om het aantal booglassers te kennen dan het aantal werkomgevingen waarin werknemers booglassen. Daarom is in Tabel 9 óf het aantal bedrijven met het aantal werkomgevingen per bedrijf opgenomen óf het totaal aantal werknemers. Een nadere uitleg bij de geschatte aantallen is opgenomen in de toelichting in Paragraaf 6.2.3.

In dit hoofdstuk is de CBS-definitie van een bedrijf gebruikt. Volgens het CBS is een bedrijf(seenheid) de feitelijke transactor in het productieproces - de voortbrenging van goederen en diensten voor de markt - en wordt gekenmerkt door autonomie, beschrijfbaarheid en externe gerichtheid. Daarbij is vereist dat het bedrijf economische activiteiten ontplooit. Als ten minste één persoon voor 15 uur per week werkzaam is, dan wordt het bedrijf als economisch actief beschouwd. De

bedrijfseenheid is de voornaamste eenheid binnen het stelsel van economische statistieken; zij wordt kortweg als bedrijf aangeduid [153].

Tabel 9 Werkomgevingen en bedrijfstakken (voor een totaal lijst van SBI-codes: zie Bijlage 3 en de toelichting in Paragraaf 6.2.3)

apparatuurgroep en werkomgeving	cat	SBI-code	aantal bedrijven	aantal werkom- gevingen per bedrijf	totaal aantal werk- nemers
onderzoekstoepassingen - moeilijk uit te splitsen	IIa/b	CA, CB, E, K, M, N	1.000	3	
installatie en onderhoud - apparatuur die wordt geïnstalleerd of onderhouden en apparatuur waarbij men in de buurt komt	IIb	F, K			60.000
diëlektrische verwarming - plastic sealers en houtverlijmers	IIb	DD, DH	300	3	
elektriciteitsproductie en -distributie - elektriciteitscentrale	IIb	E	100	3	
elektriciteitsproductie en -distributie - luchtspoelen in condensatorbanken	IIb	E	10	1	
elektrochemische processen - systemen voor stroomtoevoer (bus bars)	IIb	DG, DJ, DL	30	10	
elektrochemische processen - elektrolysehal	IIb	DG, DJ	30	3	
inductieverwarming - met open spoelen	IIb	DJ, DK	1.000	1	
inductieverwarming - grotere ovens	IIb	DJ	300	10	
lassen - booglassen - kabel	IIb	DJ, DK, DL, DM, DN, F, G			35.000
medische toepassingen - MRI - scannen	IIb	DL, N	100	1	
medische toepassingen - korte-golf- en microgolfdiathermie	IIb	DL, N			5.000
zendinstallaties - kleine omroepzenders (op daken)	IIb	DL, I	30	10	
zendinstallaties - radarsystemen (lucht- en waterverkeer)	IIb	DL, I	10	20	
overige werkomgevingen - niet-destructief magnetisch onderzoek - hand yokes	IIb	DJ, DK	4	250	
overige werkomgevingen - niet-destructief magnetisch onderzoek - testbanken	IIb	DJ, DK	40	5	
installatie en onderhoud - werkzaamheden in trouble shoot situaties	III	F, K	1.000	1	
elektrochemische processen - gelijkrichterinstallaties	III	DG, DJ, DL	30	3	
inductieverwarming - kleinere smeltovens (bijmengen)	III	DJ	300	1	
lassen - punt- en inductielassen, half geautomatiseerd	III	DJ, DK, DL, DM, DN, F, G	1.000	3	
medische toepassingen - MRI - interventieactiviteiten	III	DL, N	100	1	
zendinstallaties - grote omroepzenders	III	DL (3220), I (6420)	2	50	

6.2 Baten en kosten

Vraag 3 Wat zijn voor de betrokken bedrijven de meest waarschijnlijke aard en omvang van de kosten en baten van de ontwerp-regelgeving?

6.2.1 Baten

De baten zijn aan het begin van dit hoofdstuk als de beoogde gevolgen kwalitatief beschreven. De baten zijn niet of zeer moeilijk te kwantificeren. Bijvoorbeeld een ‘(maximaal) te behalen gezondheidswinst’ is niet te berekenen omdat er bij overschrijding van de grenswaarde niet meteen sprake is van een gezondheidseffect.

6.2.2 Kosten

De kosten die met de implementatie gemoeid zijn, hebben betrekking op het verschil tussen de huidige en de toekomstige situatie. Er worden twee kostenposten onderscheiden, namelijk de administratieve lasten en de kosten van beheersmaatregelen. Tot de administratieve lasten behoren de kosten van de inventarisatie van blootstellingsniveaus (incl. meten en/of rekenen) en het voorlichten van de werknemers: zie verder Paragraaf 6.6. De rest van deze paragraaf gaat alleen over de kosten van beheersmaatregelen.

Per type werkomgeving/apparatuurgroep is een schatting gemaakt van de totale kosten van te nemen beheersmaatregelen. De overwegingen die daarbij een rol hebben gespeeld zijn per type werkomgeving/apparatuurgroep in Paragraaf 6.2.3 opgenomen. De kosten per beheersmaatregel zijn vervolgens vermenigvuldigd met het aantal werkomgevingen (= aantal bedrijven maal het aantal werkomgevingen per bedrijf) of met het aantal werknemers.

De kosten van de beheersmaatregelen bestaan ten eerste uit investeringen die nodig zijn om werknemers te beschermen tegen elektromagnetische velden. Gezien de uiteenlopende aard van de beheersmaatregelen varieert de afschrijvingstermijn van deze investeringen van enkele jaren tot soms 20 jaar. In de berekeningen is uitgegaan van een gemiddelde van 10 jaar. Ten tweede maken bedrijven jaarlijks extra kosten die geheel worden toegerekend aan het jaar waarin die kosten worden gemaakt, bijvoorbeeld voor het op peil brengen en houden van de kennis van werknemers over het omgaan met EMV (beheersmaatregel ‘opleiding’).

De beheersmaatregelen worden in de categorieën IIb en III worden genomen. Dit is de groep relevant voor de berekening van de kosten van beheersmaatregelen. Bedrijven zonder werknemers komen in deze categorieën niet of nauwelijks voor.

Er is aangenomen dat gemiddeld de helft van de benodigde beheersmaatregelen al is genomen. Daarom zijn de jaarlijkse kosten vermenigvuldigd met 0,5. Zo zijn bijvoorbeeld voor de zendinstallaties veelal de benodigde maatregelen al getroffen. Vanwege de grote diversiteit aan mogelijke beheersmaatregelen en onzekerheden in de aantallen werkomgevingen is een lage en een hoge schatting gemaakt. De jaarlijkse kosten voor beheersmaatregelen voor de bedrijven, voor zover nu zijn te voorzien, komen hiermee uit op € 1,9 tot € 4,5 mln. De details van de berekening zijn te vinden in Paragraaf 6.2.3.

Voor werkomgevingen van categorie III geldt dat als na de beoordeling van de blootstelling blijkt dat grenswaarden niet worden overschreden, er verder geen maatregelen hoeven te worden genomen. De schattingen van de kosten per maatregel voor de bedrijven met werkomgevingen in categorie III zijn zeer onzeker. Dit wordt veroorzaakt doordat er vele maatregelen en combinaties van maatregelen mogelijk zijn. Bovendien kan het incidenteel voorkomen dat de kosten van de beheersmaatregelen buitenproportioneel zijn of dat beheersmaatregelen niet mogelijk zijn. Deze situaties zullen nader moeten worden onderzocht.

6.2.3 Kosten beheersmaatregelen per type werkomgeving / apparatuurgroep

Categorie IIb

Onderzoekstoepassingen

Het gaat hier om wetenschappelijke instellingen, research-afdelingen in de industrie en onderwijsinstellingen, waaronder vooral het voortgezet onderwijs. Het aantal werkomgevingen kan sterk variëren. De kosten van maatregelen die in eerste instantie zullen worden genomen, zoals aanpassingen van werkwijze of apparatuur worden geschat op gemiddeld € 1000,- per werkomgeving.

Installatie en onderhoud: apparatuur die wordt geïnstalleerd of onderhouden en apparatuur waarbij men in de buurt komt.

Bij branchevereniging UNETO-VNI zijn volgens de website www.uneto-vni.nl 12.300 bedrijven met in totaal 120.000 werknemers aangesloten. De werknemers moeten vooral bewust worden van de mogelijke risico's. Dit kan bijvoorbeeld door werknemers door een installatieverantwoordelijke te laten begeleiden, die goed op de hoogte is. De kosten van de maatregel 'opleiding' worden geschat op gemiddeld € 300,- per werknemer. Dit is een bedrag ergens tussen de kosten van een eenvoudige instructie (€ 100,- per werknemer) en van het volgen van een cursus (€ 1000,- per werknemer). Er is aangenomen dat ten hoogste 50% van de werknemers de opleiding zal moeten volgen.

Diëlektische verwarming: plastic sealers en houtverlijmers

De schatting van in totaal ongeveer 1000 werkomgevingen is afgeleid uit mondelinge mededelingen tijdens het praktijkonderzoek. Er is toen ook gebleken dat afschermingsmaatregelen bij deze apparatuur deels al praktijk is. De kosten van afschermingsmaatregelen worden geschat op ongeveer € 300,- per werkomgeving.

Elektriciteitsproductie en -distributie: elektriciteitscentrales

Naast de grote elektriciteitscentrales zijn er diverse kleinere eenheden met meestal meer dan één generator. De kosten die gemaakt moeten worden, zijn voor het meten en het plaatsen van een hekwerk en worden geschat op € 3000,- per werkomgeving.

Elektriciteitsproductie en -distributie: luchtspoelen in condensatorbanken

Het aantal condensatorbanken bedraagt ongeveer 10. Omdat deze installaties relatief nieuw zijn, is bij de aanleg al vaak rekening gehouden met de blootstelling aan magnetische velden en is een hekwerk met beveiliging geplaatst. De kosten per maatregel worden geschat op € 3000,- tot € 10.000,-.

Elektrochemische processen: systemen voor stroomdoorvoer en elektrolysehal

Vermoedelijk gaat het hier om tussen de 10 en 100 bedrijven elk met meerdere werkomgevingen. Er is gerekend met 300 werkomgevingen. De kosten van de maatregel 'hekwerk plaatsen na uitvoeren van eenvoudige metingen' worden geschat op ongeveer € 3000,-.

Inductieverwarming

De toepassingen met open spoelen komen voor in werkplaatsen. Het aantal bedrijven dat grotere ovens heeft, is afgeleid uit CBS-gegevens over de omvang van de basismetallindustrie (300). Voor de naar schatting 1000 kleinere apparaten met open spoelen ligt eenmalig aanbrengen van afscherming voor de hand waarvan de kosten op € 300,- worden geschat. Voor de naar schatting 3000 grotere ovens zal 'hekwerk plaatsen na uitvoeren van eenvoudige metingen' een meer voor de hand liggende maatregel zijn, waarvan de kosten worden geschat op ongeveer € 3000,- per oven.

Lassen

In Nederland zijn naar schatting 60.000 tot 80.000 lassers werkzaam [154], die vermoedelijk niet allemaal met wisselstroom lassen. Daarom is gewerkt met een lage schatting van 10.000 en een hoge schatting van 60.000. De kosten van de maatregel 'opleiding' worden geschat op gemiddeld € 300,- per werknemer. Dit is een bedrag ergens tussen de kosten van een eenvoudige instructie (€ 100,- per werknemer) en van het volgen van een cursus (€ 1000,- per werknemer).

Korte golf en microgolfdiathermie

Vermoedelijk zijn er bij fysiotherapeuten ongeveer 5000 apparaten voor diathermie in gebruik (zie Paragraaf 3.9). Het gaat om maatregelen die gericht zijn op zo kort mogelijk verblijven binnen 2 m van de apparatuur en die met 'opleiding' kunnen worden gerealiseerd. Voor behandelingen waarvoor de nabijheid van de therapeut noodzakelijk is, kan het nodig zijn om voor een beperkt aantal typen apparaten metingen uit te voeren om voor die specifieke apparatuur de aan te houden afstand vast te stellen. Er is gerekend met € 100,- per therapeut.

Zendinstallaties - kleinere omroepzenders

Het aantal kleinere omroepzenders die zich op daken kunnen bevinden, bedraagt ongeveer 300. Er is gerekend met de kosten voor de maatregel 'plaatsen van een bord' waarvoor € 300,- per zender is aangenomen.

Zendinstallaties - radarsystemen

Het gaat om ongeveer 200 navigatieradars en radars voor luchtverkeersbegeleiding. Het is al praktijk om gebieden te markeren waar werknemers niet mogen komen als de radar aanstaat. De kosten voor aanbrengen van markeringen is geschat op € 300,- per installatie.

Overige werkomgevingen - niet-destructief magnetisch onderzoek

Het gaat in totaal om vier grote bedrijven die ongeveer 1000 *hand yokes* (levensduur 2 jaar en kosten ongeveer € 800,- per stuk) toepassen en tientallen bedrijven met in totaal hooguit 200 testbanken (levensduur 10 jaar en kosten ongeveer € 50.000,- per stuk). Ongeveer 1000 medewerkers zijn dagelijks met deze apparatuur in de weer. De kosten van wijzigingen in bestaande cursussen zijn verwaarloosbaar. Er zijn twee typen maatregelen in de berekeningen meegenomen: vervanging van *hand yokes* (€ 300,- per stuk) óf technische aanpassingen aan testbanken (gemiddeld € 1900,- per stuk; samengesteld uit 90% à € 1.000,- per stuk en 10% à € 10.000,- per stuk)).

Categorie III

Installatie en onderhoud - werkzaamheden in trouble shoot situaties (met apparatuur aan)

Het betreft hier een grote diversiteit in mogelijke situaties en mogelijke oplossingen. Dit zou daarom per situatie apart moeten worden bekeken, waarbij het waarschijnlijk nodig is om metingen uit te voeren. De onzekerheid in de schatting van de gemiddelde kosten van € 10.000,- per werkomgeving is waarschijnlijk groter dan een factor 3.

Elektrochemische processen - gelijkrichterinstallaties

In elke werkomgeving moet worden onderzocht wat de beste oplossing is. De schatting van de kosten van € 30.000,- per werkomgeving, die in de berekening is gehanteerd, is zeer onzeker.

Inductieverwarming - kleinere smeltovens (bijmengen)

Niet alle kleinere smeltovens zullen van dichtbij te hoeven worden bediend, terwijl ze aan staan. Zowel de schatting van het aantal bedrijven als van de kosten (€ 30.000,- per werkomgeving) is zeer onzeker.

Lassen - punt- en inductielassen, half geautomatiseerd

De vraag is of er wel oplossingen voor deze werkomgevingen mogelijk zijn. Het volledig automatiseren door het introduceren van lasrobots is bovendien een zeer kostbare zaak. Daarom is hier geen schatting gegeven.

Medische toepassingen - MRI - interventieactiviteiten

De schatting van 100 werkomgevingen is waarschijnlijk aan de hoge kant, omdat niet alle MRI-scanners voor interventieactiviteiten geschikt zijn. Waarschijnlijk is het voor deze werkomgeving het beste om via metingen en modelberekeningen aan te tonen dat grenswaarden niet worden overschreden. Als daaruit blijkt dat wel grenswaarden worden overschreden, dan is het de vraag of er maatregelen mogelijk zijn en of de activiteit nog langer in de zin van de richtlijn mogelijk is.

Zendinstallaties - grote omroepzenders

Het betreft hier vooral werkzaamheden in zendmasten waarbij antennes bij voorkeur niet worden uitgeschakeld. Er is gerekend met een schatting van de kosten van € 30.000,- per werkomgeving. Deze schatting is echter zeer onzeker.

6.3 Draagkracht

Vraag 4 Hoe verhouden de kosten en baten van de ontwerp-regelgeving zich tot de draagkracht van het betrokken bedrijfsleven?

De hoogste kosten voor beheersmaatregelen worden verwacht in de apparatuurgroepen ‘installatie en onderhoud - apparatuur die wordt geïnstalleerd of onderhouden en apparatuur waarbij men in de buurt komt’ (29%), ‘lassen - booglassen - kabel’ (17%) en ‘inductieverwarming - grotere ovens’ (14%), en ‘installatie en onderhoud - werkzaamheden in trouble shoot situaties (met apparatuur aan)’ (10%) en ‘inductieverwarming - kleinere smeltovens (bijmengen)’ (10%). De hoogste kosten per individueel bedrijf (tussen € 0,075 mln en € 1,5 mln) worden verwacht in de apparaatgroepen ‘overige werkomgevingen - niet-destructief magnetisch onderzoek - hand yokes’, ‘elektrochemische processen - gelijkrichterinstallaties’ en ‘zendinstallaties - grote omroepzenders’.

6.4 Buitenland

Vraag 5 Wat is de stand van zaken ten aanzien van de regelgeving op het onderhavige beleidsterrein in die landen die voor het betrokken bedrijfsleven in Nederland als de meest relevante concurrerende landen kunnen worden beschouwd? (Buitenlandtoets)

Binnen de Europese Unie zijn er lidstaten waar de regelgeving nu al zwaarder is dan het door de richtlijn beoogde niveau, zoals Polen. Zij mogen bij de implementatie van de richtlijn hun wetgeving niet afzwakken. In de andere EU-lidstaten moet men, net als Nederland, minimaal aan de richtlijn gaan voldoen. De grenswaarden en actiewaarden in de richtlijn zijn dezelfde als de waarden die de ICNIRP heeft geadviseerd. Via de geharmoniseerde normen van CENELEC zal er op Europees niveau afstemming komen tussen toe te passen meet- en rekenmethoden. Volgens de overwegingen in de richtlijn wordt niet alleen beoogd ‘de gezondheid en de veiligheid van de werknemer afzonderlijk te waarborgen, maar ook om alle werknemers van de Gemeenschap een als minimaal te beschouwen basisbescherming te bieden, waarmee eventuele concurrentievervalsing wordt vermeden’.

Buiten Europa worden in landen zoals Japan en Australië wel de ICNIRP-waarden gevolgd en in landen zoals de Verenigde Staten, Canada en China niet. Het zou in dit rapport te ver gaan om de verschillen tussen ICNIRP en de stelsels in die landen verder uit te zoeken.

Vraag 6 Zijn er regels in de ontwerp-regelgeving die bewerkstellingen dat:
a Voor de toegang tot (of de uitoefening van) een beroep of bedrijf meer of strengere eisen worden gesteld dan een EU-richtlijn vereist?
b Aan bedrijven bij het verrichten van bepaalde activiteiten meer lasten worden opgelegd dan waarin krachtens een EU-richtlijn wordt voorzien? Wat is de motivering hiervoor?

Nee. De richtlijn wordt één op één geïmplementeerd. Er zijn geen redenen om in Nederland af te wijken van de andere lidstaten.

6.5 Marktwerving en sociaal-economische effecten

Vraag 7 Wat zijn de gevolgen van de ontwerp-regelgeving voor de marktwerving?

Omdat het hier gaat om de implementatie van een Europese richtlijn zijn er geen gevolgen voor de marktwerving.

Vraag 8 Wat zijn de sociaal-economische effecten van de ontwerp-regelgeving (werkgelegenheid, loonkosten en dergelijke)?

Het sociaal-economische effect van de richtlijn betreft de toegenomen veiligheid van werknemers.

De implementatie van de richtlijn kan als gevolg hebben dat er binnen bedrijven discussies ontstaan over de mogelijke effecten op de lange termijn en over mogelijke effecten op het welbevinden. Klachten zoals slapeloosheid, concentratiestoornissen, e.d. kunnen vele oorzaken hebben en worden soms met blootstelling aan elektrische, magnetische en elektromagnetische velden in verband gebracht. De richtlijn meldt nadrukkelijk niet te zijn opgesteld voor bescherming tegen langetermijneffecten. Deze effecten zijn wel onderzocht, maar worden onvoldoende bewezen geacht om blootstellingslimieten op te baseren [2, 3]. Een goede communicatie kan deze discussies mogelijk beperken.

In gevallen waarin de overschrijding van grenswaarden niet met maatregelen is op te lossen, wat voor bedrijven met categorie III werkomgevingen niet helemaal ondenkbaar is, zou het staken van bepaalde activiteiten tot verlies van werkgelegenheid kunnen leiden.

6.6 Administratieve lasten

In het kader van de richtlijn is geen sprake van meldings- of vergunningsplicht, dus er hoeven geen actieve mededelingen aan de overheid te worden gedaan. Wel moeten in principe alle bedrijven met werknemers kennis nemen van de regelgeving en vervolgens aan de hand van het beoordelingstraject in dit rapport of, zodra beschikbaar, de toepasselijke CENELEC-standaarden, een inventarisatie van hun werkomgevingen uitvoeren en hun werknemers voorlichten. Deze activiteiten zullen worden uitgevoerd in het kader van de RI&E, die toch al wordt gemaakt en die elke vier jaar wordt geactualiseerd. De administratieve lasten zijn als volgt geschat.

Categorieën I en IIa

Alle bedrijven moeten een check doen of werknemers in de buurt (kunnen) komen van apparatuur die elektrische, magnetische of elektromagnetische velden produceert. Bedrijven die deze apparatuur niet hebben kunnen volstaan met het beantwoorden van vraag 0 in de RI&E-module elektromagnetische velden (zie Bijlage 2) met 'nee'. Zij hoeven verder niets te doen. Voor de bedrijven in de categorieën I en IIa betekent het doornemen van de RI&E-module een dermate geringe extra tijdsbesteding dat hier is gewerkt met één gemiddelde tijd. De gemiddelde tijd die nodig is voor het maken van het onderdeel 'inventariseren van

de blootstelling' in de RI&E is gelijk gesteld aan 5% van de tijd die een gemiddelde RI&E thans kost. Deze gegevens zijn overgenomen uit het standaard berekeningsmodel dat SZW daarvoor pleegt te gebruiken, waarin aannamen over uurloon, tijdsbesteding en frequentie zijn vastgelegd. Het voorlichten van werknemers kost naar schatting 10% van de extra tijd van de inventarisatie.

Categorieën IIb en III

Voor de bedrijven in categorie IIb en III dienen de informatie-eisen uit de richtlijn te worden gevolgd. Het betreft het vaststellen en zonodig meten of berekenen van de mate van blootstelling (die naar is aangenomen in de helft van de gevallen nodig is), het bijhouden van een dossier en het medisch toezicht. Voor beide categorieën wordt een extra tijdsbesteding geschat van 25 tot 55 uren (gemiddeld 40 uur). In deze schatting zijn de kosten van eventuele uitbesteding van metingen of berekeningen verdisconteerd. Voor de werkomgevingen/apparatuurgroepen 'inductieverwarming - met open spoelen', 'medische toepassingen - MRI - scannen', 'lassen - punt- en inductielassen, half geautomatiseerd' en 'medische toepassingen - MRI - interventieactiviteiten' hoeven niet alle bedrijven te meten, maar is ervoor gekozen om uit te gaan van een beperkt aantal typen apparatuur dat wordt gemeten en waaruit de blootstelling in de andere bedrijven is af te leiden.

Resultaten

Aan de RI&E moet door de invoering van de nieuwe regelgeving een module elektromagnetische velden worden toegevoegd. Nederland heeft ongeveer 326.000 bedrijven met 1 of meer werknemers (CBS-gegevens, 2002). Voor al deze bedrijven worden de jaarlijkse extra kosten voor de module voor de RI&E geschat op € 3,9 mln. De bestaande RI&E's moeten eenmalig een update krijgen. Omdat er echter een termijn van twee jaar zit tussen het bekendmaken en de invoering van de nieuwe regelgeving zijn in deze periode de kosten gemiddeld € 7,8 mln. per jaar. Uit de details van de berekeningen blijkt dat ongeveer 50% van de jaarlijkse administratieve lasten voor rekening komt van bedrijven in de categorieën I en IIa (€ 1,9 mln. per jaar), 30% in categorie IIb (€ 1,1 mln. per jaar, 'onderzoekstoepassingen', 'diëlektrische verwarming - plastic sealers en houtverlijmers' en 'inductieverwarming - grotere ovens') en 20% in categorie III (€ 0,9 mln. per jaar; 'installatie en onderhoud - werkzaamheden in trouble shoot situaties (met apparatuur aan)' en 'inductieverwarming - kleinere smeltovens (bijmengen)'). Per bedrijf bedragen de jaarlijkse administratieve lasten € 6,-, gemiddeld over alle bedrijven. De lasten per bedrijf kunnen variëren van € 2,- tot € 112,-, afhankelijk van de grootte van het bedrijf: zie Tabel 10. Voor een bedrijf in categorie IIb of III komt er nog een bedrag bij van gemiddeld € 600,- per jaar omdat dit bedrijf de blootstelling moet meten of berekenen. De gemiddelde kosten voor IIb en III blijken ongeveer even hoog te zijn. Er is aangenomen dat bedrijven in categorie III uitgebreidere (meer en complexere) metingen of berekeningen doen waarvoor ze

eigen expertise in huis hebben. Bedrijven in categorie IIb hoeven echter minder te meten maar moeten waarschijnlijk daarvoor duurdere expertise extern inhuren.

Tabel 10 Administratieve lasten per grootteklasse.

grootteklasse bedrijven	aantal bedrijven per grootteklasse	administratieve lasten per bedrijf (€)
1 werknemer	96.845	2
2 - < 5 werknemers	125.835	3
5 - < 10 werknemers	40.815	4
10 - < 20 werknemers	26.320	7
20 - < 25 werknemers	6.852	8
25 - < 50 werknemers	15.988	10
50 - < 100 werknemers	7.305	12
> 100 werknemers	6.385	112
totaal aantal bedrijven met werknemers	326.345	6

Bij aanschaf en in gebruik name van nieuwe apparatuur zal er aandacht aan de mogelijke blootstelling aan elektromagnetische velden moeten worden besteed. Er kan worden verwacht dat dit voor het overgrote deel van de apparatuur niet tot extra handelingen en extra kosten hoeft te leiden. De administratieve lasten zullen daardoor in de loop der tijd waarschijnlijk verder afnemen.

Dossier

Volgens artikel 4, lid 6 van de richtlijn dient de risicobeoordeling op een geschikte drager te worden vastgelegd, in overeenstemming met de nationale wetgeving en praktijk. Het wordt voldoende geacht als een bedrijf bij een bezoek van de Arbeidsinspectie op papier het resultaat van de inventarisatie van werkomgevingen, de beoordeling van de veldsterkten en de genomen maatregelen kan overleggen.

Medisch toezicht

Volgens artikel 8, lid 2 van de richtlijn dienen de arts en/of de voor de medische controle verantwoordelijke medische instantie toegang te hebben tot de resultaten van de risicobeoordeling die in het hiervoor genoemde dossier is vastgelegd. Volgens artikel 8, lid 2 van de richtlijn moeten ook de resultaten van eventuele medische controles in het dossier worden opgenomen om latere raadpleging mogelijk te maken.

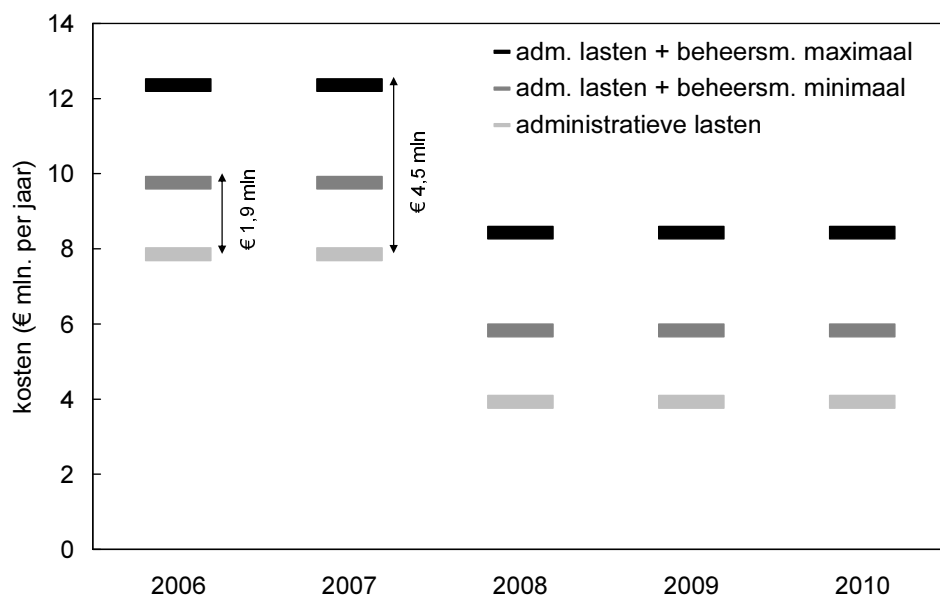
6.7 Conclusies

In dit hoofdstuk zijn de resultaten van de bedrijfseffectentoets weergegeven. Ongeveer 98% van de bedrijven met één of meer werknemers blijken in

categorieën I en IIa te vallen. Deze bedrijven hoeven geen beheersmaatregelen te nemen, maar nemen wel ongeveer 50% van de jaarlijkse administratieve lasten voor hun rekening.

De jaarlijkse kosten van beheersmaatregelen bedragen € 1,9 mln. tot € 4,5 mln. De jaarlijkse kosten van de administratieve lasten bedragen € 7,9 mln. per jaar in 2006 en 2007 en € 3,9 mln. per jaar in de jaren na 2007.

De totale kosten die met de implementatie van de richtlijn zijn gemoeid, bedragen in de eerste twee jaar € 10 tot 12 mln. per jaar en in de jaren daarna € 6 tot 8 mln. per jaar. In Figuur 13 is de verdeling van de kosten over de administratieve lasten en de kosten voor beheersmaatregelen in de komende jaren weergegeven.



Figuur 13 Jaarlijkse administratieve lasten en kosten van beheersmaatregelen.

Bijlage 1 De richtlijn

Deze bijlage is bedoeld als hulpmiddel bij het interpreteren van de tekst van de richtlijn. Dat betekent dat deze bijlage samen met de richtlijn gebruikt moet worden. De annexen van de richtlijn bevatten meer informatie waarvan ook kennis genomen dient te worden.

In de richtlijn worden met de effecten op de gezondheid en veiligheid de bekende negatieve effecten op korte termijn bedoeld, die worden veroorzaakt door

- het circuleren van geïnduceerde stroom in het menselijke lichaam,
- energieabsorptie, en
- contactstroom.

Volgens de systematiek van de richtlijn worden werknemers tegen deze bewezen gezondheidseffecten beschermd als hun blootstelling lager is dan de zogenaamde grenswaarden. Naast deze grenswaarden zijn er actiewaarden gedefinieerd voor rechtstreeks meetbare grootheden, te weten de elektrische veldsterkte E , de magnetische veldsterkte H , de magnetische fluxdichtheid B en de vermogensdichtheid S . Naleving van de actiewaarden waarborgt dat de grenswaarden niet worden overschreden. Omgekeerd betekent overschrijding van de actiewaarden niet automatisch ook overschrijding van grenswaarden.

De werkgever dient de niveaus waaraan werknemers worden blootgesteld te beoordelen en, indien nodig, te meten en/of te berekenen. Waar dat relevant is, mag rekening worden gehouden met de emissieniveaus die door de producenten van gebruikte apparatuur worden opgegeven, voor zover deze apparatuur onder Europese richtlijnen valt [155]. Als blijkt dat de actiewaarden worden overschreden, dient de werkgever te beoordelen en indien nodig te berekenen of de grenswaarden worden overschreden.

De beoordeling, meting en/of berekening kan achterwege blijven voor werkomgevingen die ook voor leden van de bevolking toegankelijk zijn en waarvoor reeds een beoordeling van de blootstelling volgens de EU-aanbeveling voor beperking van de blootstelling van de algemene bevolking heeft plaatsgevonden [5]. Er moet dan wel worden aangetoond dat de beperkingen in deze EU-aanbeveling ook voor werknemers blijken op te gaan en dat er geen veiligheidsrisico's kunnen optreden.

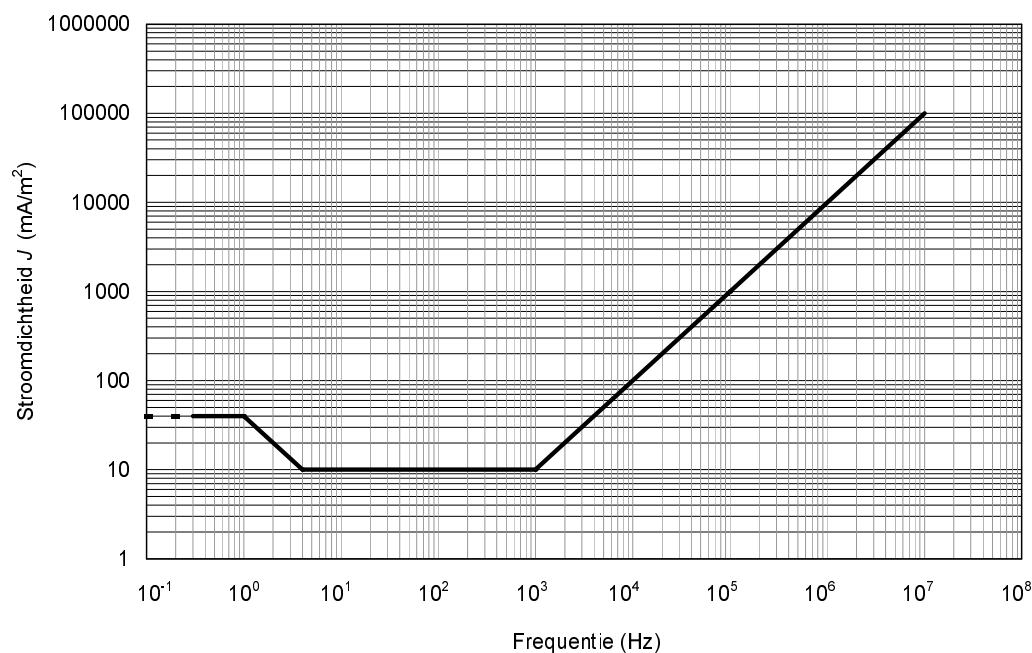
Grenswaarden

De grenswaarden worden uitgedrukt in de volgende fysische grootheden: de stroomdichtheid J (in mA/m^2) in het centraal zenuwstelsel, het Specifieke Absorptie Tempo SAR (in W/kg) en de vermogensdichtheid S (in W/m^2). Afhankelijk van de frequentie van de elektrische of magnetische velden of de

elektromagnetische straling hebben deze grenswaarden een bepaalde waarde: zie Tabel 11. Voor de stroomdichtheid dienen RMS-waarden te worden gehanteerd. Figuur 14 geeft de grenswaarden voor de stroomdichtheid J als functie van de frequentie.

Tabel 11 Grenswaarden (aan alle voorwaarden moet worden voldaan).

frequentie- gebied	stroom- dichtheid in het centraal- zenuwstelsel J (f in Hz) mA/m^2	lichaams- SAR W/kg	plaatselijke SAR (hoofd- romp) W/kg	plaatselijke SAR en (extremi- teiten) W/kg	vermogens- dichtheid S W/m^2
tot 1 Hz	40	-	-	-	-
1 - 4 Hz	$40/f$	-	-	-	-
4 Hz - 1 kHz	10	-	-	-	-
1 kHz - 100 kHz	$f/100$	-	-	-	-
100 kHz - 10 MHz	$f/100$	0,4	10	20	-
10 MHz - 10 GHz	-	0,4	10	20	-
10 GHz - 300 GHz	-	-	-	-	50



Figuur 14 Grenswaarden voor de stroomdichtheid.

Actiewaarden

In Tabel 12 en Tabel 13 zijn de actiewaarden gegeven, die in de richtlijn zijn vastgesteld.

Tabel 12 Actiewaarden (RMS-waarden).

frequentiegebied	elektrische veldsterkte, E	magnetische veldsterkte, H	magnetische fluxdichtheid, B	equivalente vermogens- dichtheid voor vlakke golven, S_{eq}
	V/m	A/m	μT	W/m^2
0 - 1 Hz	-	$1,63 \times 10^5$	2×10^5	-
1 - 8 Hz	20 000	$1,63 \times 10^5 / f^2$	$2 \times 10^5 / f^2$	-
8 - 25 Hz	20 000	$2 \times 10^4 / f$	$2,5 \times 10^4 / f$	-
0,025 - 0,82 kHz	$500/f$	$20/f$	$25/f$	-
0,82 - 65 kHz	610	24,4	30,7	-
65 - 100 kHz	610	$1\,600/f$	$2\,000 / f$	-
0,1 - 1 MHz	610	$1,6/f$	$2 / f$	-
1 - 10 MHz	$610/f$	$1,6/f$	$2 / f$	-
10 - 400 MHz	61	0,16	0,2	10
400 - 2 000 MHz	$3\sqrt{f}$	$0,008\sqrt{f}$	$0,01\sqrt{f}$	$f/40$
2 - 300 GHz	137	0,36	0,45	50

Opmerkingen:

- f in de eenheid zoals aangegeven in de kolom van het frequentiegebied.
- Voor frequenties < 1 Hz, die in feite statische 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 13 Actiewaarden voor de contactstroom van geleidende voorwerpen.

frequentiegebied	contactstroom (f in kHz)
	mA
300 Hz - 2,5 kHz	1,0
2,5 kHz - 100 kHz	$0,4 f$
100 kHz - 110 MHz	40

Figuur 15, Figuur 16 en Figuur 17 geven de actiewaarden voor E , H , en B als functie van de frequentie. Hoewel de actiewaarde voor B ook berekend kan worden uit de actiewaarde voor H via de volgende formule, is van beide grootheden een grafiek opgenomen:

$$\mu_0 = \frac{B}{H} = 4\pi \cdot 10^{-7} \approx 1,26 \text{ (}\mu\text{T/(A/m))},$$

met μ_0 de magnetische permeabiliteit in vacuüm. In vacuüm, en in goede benadering in lucht, is μ_0 een vast verhoudingsgetal tussen B en H.

Figuur 18 geeft de actiewaarden 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 moet volgens de richtlijn de elektrische stroom door de ledematen (armen, benen) I_L tot maximaal 100 mA worden beperkt.

De actiewaarden voor E , H , B , I_C en I_L gelden voor de zogenaamde *Root-Mean-Square*-waarde (RMS). Dit is de wortel uit het (tijd-)gemiddelde van het kwadraat van de grootte. Bij periodieke signalen waarvan het vermogen evenredig is met het kwadraat, van bijvoorbeeld 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.

Middelingsregels voor frequenties boven 100 kHz

Als de intensiteit van de velden niet constant is, mag onder de volgende voorwaarden met gemiddelde waarden over de tijd 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 Voor frequenties f tussen 100 kHz en 10 GHz geldt de ‘zes-minutenregel’: de gemiddelde waarde (zie 1) over iedere willekeurige periode van 6 minuten moet worden getoetst aan de actiewaarde. Voor $f > 10$ GHz wordt de middelingsperiode berekend als $68 / (f / \text{GHz})^{1,05}$ minuten. Voor frequenties tot 100 kHz mag geen middeling worden uitgevoerd.

Voorbeeld van de zes-minutenregel

Stel, iemand wordt iedere 7 minuten gedurende 30 seconden blootgesteld aan een veld met een frequentie van 2400 MHz en een veldsterkte van 200 V/m. Er moet bij frequenties boven 100 kHz gemiddeld worden over E^2 . Dit kan door E^2 te vermenigvuldigen met de *duty cycle*, de ratio van de gebruikte tijd per ongunstigst gekozen periode van zes minuten. Oftewel, de waarde van het E-veld moet vermenigvuldigd worden met de wortel uit de *duty cycle*. Toepassing van de zes-minutenregel levert dan: $\sqrt{(30/360)} = \sqrt{(1/12)} = 0,28$. Het resulterende E-veld is dus $0,28 * 200 = 56$ V/m. Dat is onder de actiewaarde van 137 V/m.

Piekactiewaarden

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 actiewaarde op in Figuur 15, Figuur 16 of Figuur 17. Ten slotte vermenigvuldigt men deze waarde met een factor r , af te lezen in Figuur 19 of te berekenen als:

$$\begin{array}{ll} \text{voor } f < 100 \text{ kHz:} & r = \sqrt{2} \approx 1,41; \\ \text{voor } f > 10 \text{ MHz:} & r = \sqrt{1000} \approx 32; \\ \text{daartussen (100 kHz–10 MHz)} & r = 6,8 \times (f / \text{MHz})^{0,68}. \end{array}$$

De piekwaarde dient beneden de aldus bepaalde piekactiewaarde te blijven.

Sommatieregels voor verschillende signaaltypes en meerdere bronnen

Sommige 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. Volgens de richtlijn moeten bij gelijktijdige blootstelling aan velden van verschillende frequenties ‘... passende beoordelings-, metings- en/of berekeningsmethoden worden toegepast, die het mogelijk maken de kenmerken van de golfvormen en de aard van de biologische wisselwerking te analyseren, met inachtneming van de geharmoniseerde Europese normen van het Europees Comité voor elektrotechnische normalisatie...’.

Paragraaf 4.3 geeft een overzicht van de verschillende berekeningsmethoden voornamelijk gebaseerd op het ICNIRP statement uit 2003 [35] en norm NEN-EN50392:2004.

De sommatieregel

De sommatieregel die hier wordt behandeld, is gebaseerd op de systematiek van de EU-aanbeveling voor blootstelling van leden van de bevolking [5]. De hier besproken sommatieregel wordt ook wel ‘de sommatieregel’ genoemd, en is een conservatieve manier van optelling van verschillende frequentiecomponenten. Voor dergelijke gevallen kan men als volgt bepalen of de verzameling veldsterkten en stroomsterkten voldoet aan de gestelde eisen. Bij iedere relevante frequentie f_i leest men de waarden a_i , b_i , c_i , d_i af uit Tabel 14 of Figuur 20 en e_i uit Tabel 13 of Figuur 18 (rechts; indien f_i buiten het aangegeven frequentiegebied valt, dient de waarde ∞ , oneindig, te worden ingevuld).

Tabel 14 Waarden voor de coëfficiënten a , b , c en d in de sommatieregel.

frequentiegebied	a	b	c	d
	V/m	A/m	V/m	A/m
1 - 8 Hz	20 000	$1,63 \times 10^5 / f^2$		
8 - 25 Hz	20 000	$2 \times 10^4 / f$		
0,025 - 0,82 kHz	$500/f$	$20/f$		
0,82 - 65 kHz	610	24,4		
65 - 100 kHz	610	24,4		
0,1 - 10 MHz	610	24,4	$610/f$	$1,6/f$
10 - 400 MHz			61	0,16
400 - 2 000 MHz			$3\sqrt{f}$	$0,008\sqrt{f}$
2 - 300 GHz			137	0,36

Opmerking:

- f in de eenheid zoals aangegeven in de kolom van het frequentiegebied

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 $(I_{L,i} / 100 \text{ mA})^2$ 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 , $I_{L,i}$ die van de elektrische stroom in extremiteiten (armen, benen) I_L , 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.

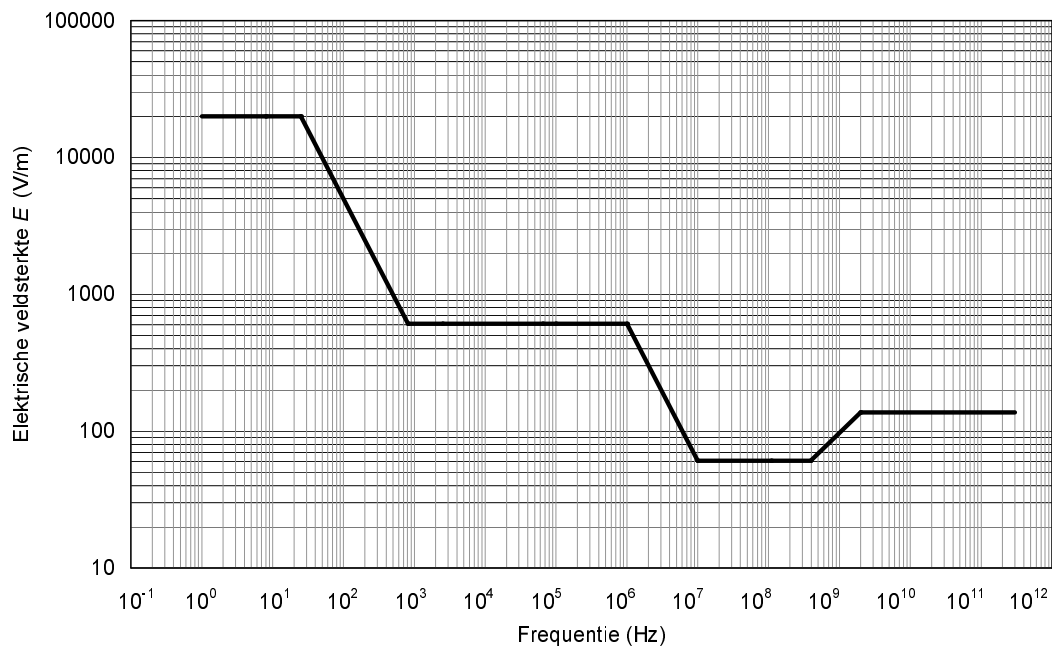
Merk op dat er voor de weging van de veldsterkten in het frequentiegebied van 100 kHz tot 10 MHz parallel aan twee verschillende sommen (verschillende noemers) moet worden voldaan. De reden hiervoor is dat bij frequenties van 1 Hz tot 10 MHz de bescherming gebaseerd is op geïnduceerde stroom door een elektrisch veld (E-veld) of een magnetisch fluxdichtheidsveld (B-veld). Bij frequenties van 100 kHz tot 300 GHz is de bescherming gebaseerd op opwarming.

Voorbeeld van de sommatieregel

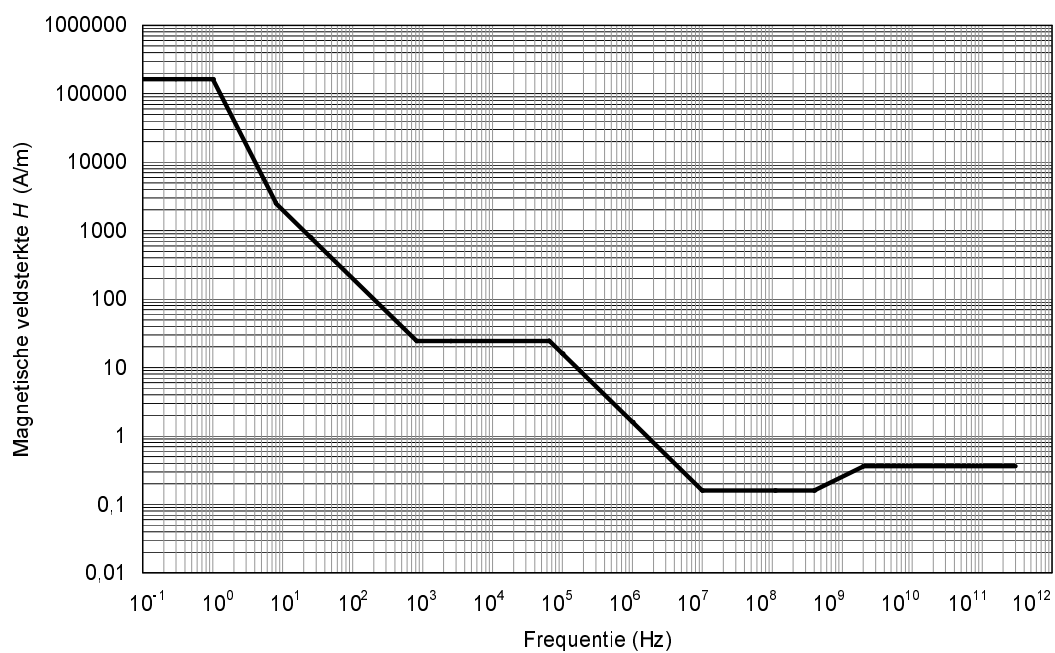
Een werknemer bevindt zich in de buurt van apparatuur die drie frequenties uitzendt: 100 kHz, 4 MHz, en 20 MHz. Metingen wijzen uit dat de RMS-waarden van het E -veld op de plaats waar de werknemer zich langdurig kan bevinden voor deze drie frequenties respectievelijk 600, 150 en 50 V/m bedragen. Met behulp van de figuren kan nu de volgende tabel worden ingevuld:

f (Hz)	E (V/m)	E_{act} (V/m)	a (V/m)	c (V/m)	E/a	$(E/c)^2$
$1 \cdot 10^5$	600	610	610	6100	0,98	0,01
$4 \cdot 10^6$	150	153	610	153	0,16	0,43
$2 \cdot 10^7$	50	61	∞	61	0	0,67
som					1,14	1,11

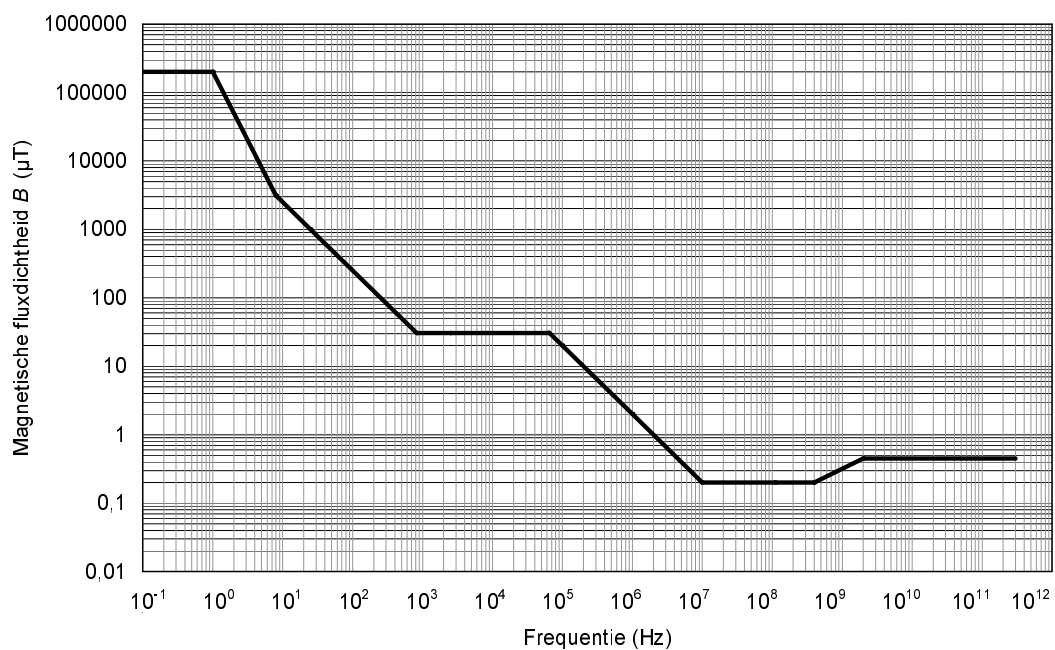
Geen van de actiewaarden voor enkelvoudige frequenties wordt overschreden. De optelling van de waarden E/a levert een waarde groter dan 1 evenals de optelling van de waarden $(E/c)^2$. Er is dus sprake van een overschrijding van de actiewaarden.



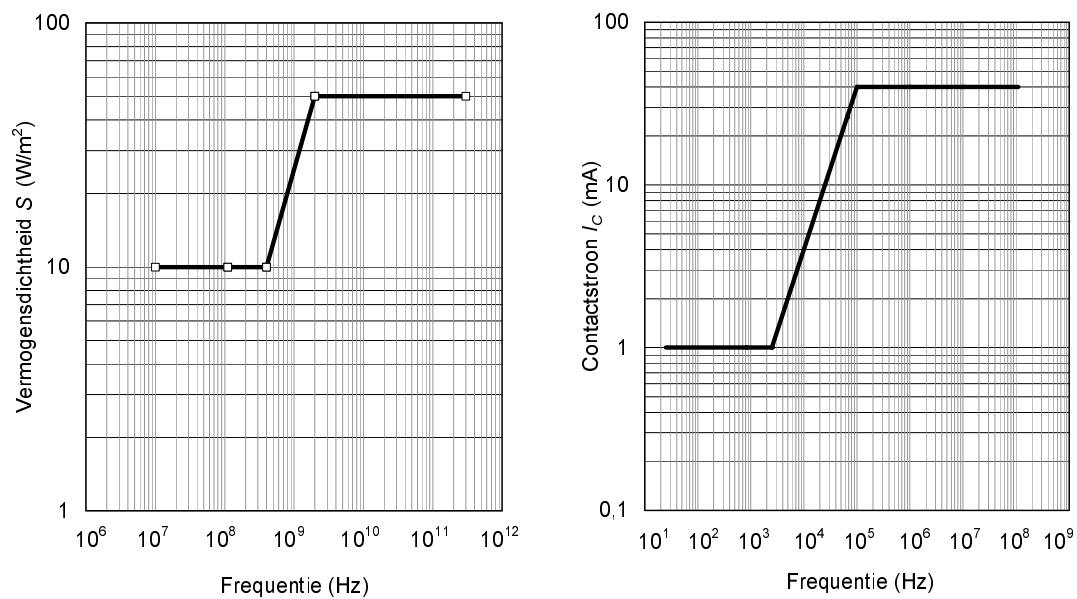
Figuur 15 Actiewaarden elektrische veldsterkte.



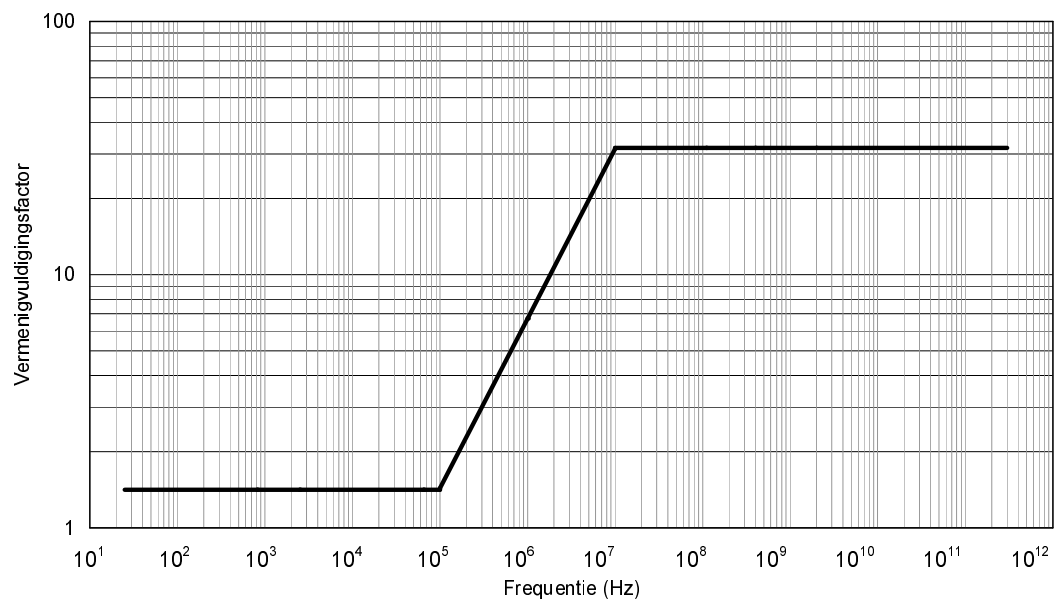
Figuur 16 Actiewaarden magnetische veldsterkte.



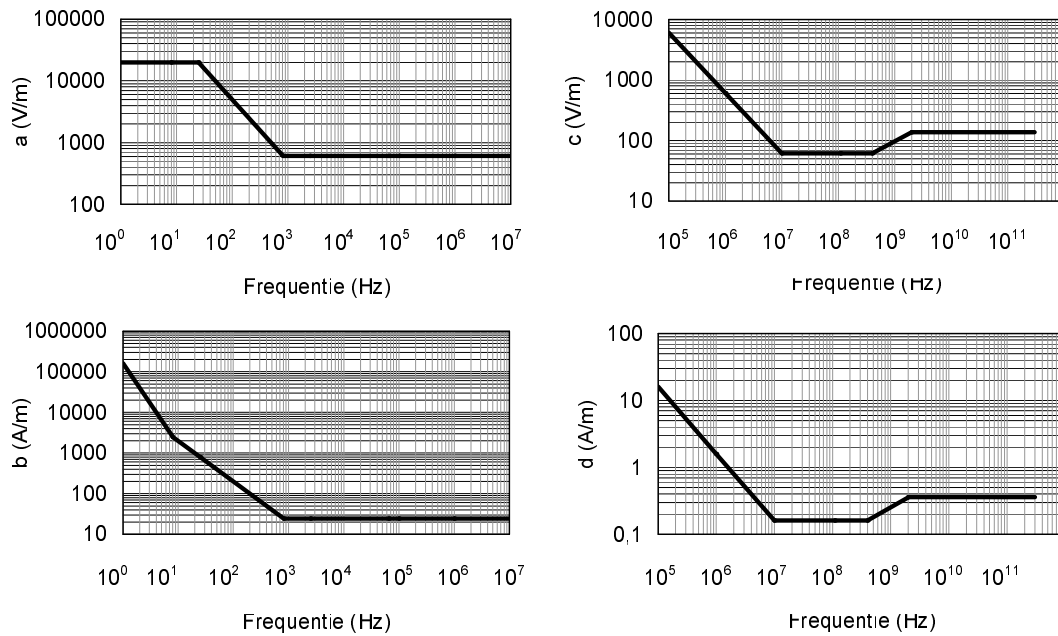
Figuur 17 Actiewaarden magnetische fluxdichtheid.



Figuur 18 Actiewaarden voor de vermogensdichtheid (links) en de contactstroom (rechts).



Figuur 19 Vermenigvuldigingsfactor voor berekenen van actiewaarden voor piekwaarden.



Figuur 20 Waarden a, b, c, en d ten behoeve van het optellen bij meerdere frequenties.

Bijlage 2 RI&E module elektromagnetische velden - voorlopige versie

De RI&E module voor elektromagnetische velden bestaat uit twee delen, namelijk de inventarisatie en het plan van aanpak. Het betreft een generieke module die voor specifieke branches kan worden vereenvoudigd, verder kan worden gespecificeerd of aangevuld.

1 Inventarisatie

	<i>Vragen</i>	ja	nee
0	Tijdens hun werkzaamheden kunnen werknemers in contact komen met apparatuur die (al dan niet bedoeld) elektrische, magnetische of elektromagnetische velden produceert.		
1	Er is een overzicht van elektrische en elektronische apparatuur.		
2	Alle apparatuur valt onder categorie I (gebruik Tabel 1 en Tabel 2 van dit rapport).		
3	Er is alleen sprake van normale en niet van afwijkende omstandigheden (gebruik Paragraaf 4.5 van dit rapport).		
4	Er zijn, waar nodig, nog aanwezige beheersmaatregelen genomen en werkinstructies gegeven om werknemers te beschermen.		
5	Iedereen kent de beheersmaatregelen en werkinstructies en leeft ze na. Iedereen is op de hoogte van de lokale blootstellingsituaties.		
6	Er is voorlichting gegeven over de richtlijn/wet en elektromagnetische velden.		
7	Er is een systeem voor controle van bestaande en voor het inschatten van nieuwe blootstellingsituaties.		

Toelichting algemeen

Als vraag 0 met 'nee' is beantwoord, hoeven de andere vragen niet te worden ingevuld. Als minstens één van de vragen 1 t/m 7 met 'nee' is beantwoord, dan dient ook het plan van aanpak te worden ingevuld.

Toelichting per vraag

- 0 Voorbeelden van de bedoelde apparatuur zijn anti-diefstalpoortjes; metaaldetectiepoorten; *plastic sealers*; generatoren in een elektriciteitscentrale; luchtspoelen in condensatorbanken; stroomgeleiders; gelijkrichterinstallaties; smeltovens; inductieverwarmers met open spoelen; booglassystemen; halfgeautomatiseerde punt- en inductielassystemen; MRI-scanners, apparatuur voor korte-golfdiathermie, microgolfdiathermie en

diepe hyperthermie, open magnetrons, omroepzenders, basisstations voor mobiele telefonie, radarsystemen.

Bedenk dat alle elektrische apparatuur in principe elektromagnetische velden kan verspreiden. Vooral apparatuur met hoge elektrische vermogens gebruikt doorgaans hoge stroomsterktes die op hun beurt magnetische velden van betekenis kunnen veroorzaken.

- 1 De lijst bevat onder andere aantallen, soort apparatuur, de locaties, de vermogens en de omstandigheden waarin met de apparatuur wordt gewerkt.
- 2 Apparatuur die niet in de tabellen wordt genoemd of waarover twijfel bestaat, wordt ingedeeld in categorie II. Voor zover bekend of mogelijk wordt van ieder apparaat uit categorie II of III vastgesteld welke frequentie de mogelijke velden kunnen hebben.
- 3 Omstandigheden waarin van de standaard bedrijfsvoering wordt afgeweken zijn bijvoorbeeld de aanwezigheid van werknemers met elektronische implantaten (pacemakers, hartpompjes etc.), medische apparatuur, ontvlambare of ontplofbare stoffen of ferromagnetische voorwerpen in een statisch magnetisch veld groter dan 3 mT.
- 4 Hiervoor moeten eerst de acties bij punten 2 en 3 uitgevoerd zijn. Als er bij de punten 2 of 3 overschrijdingen van de actiewaarden zijn geconstateerd (of mogelijk worden geacht), wordt nagegaan of de technische dan wel organisatorische beheersmaatregelen inderdaad genomen en (nog) aanwezig en afdoende zijn en of de werkinstructies gegeven zijn om deze toe te passen. Of er is aangetoond dat de grenswaarden niet worden overschreden.
- 5 Heeft iedere werknemer voorlichting gekregen over (de omgang met) elektromagnetische velden in de arbeidssituatie? Zijn alle werknemers (nog) op de hoogte van de werkinstructies en de beheersmaatregelen en ook de arbeidssituaties waarbij deze van toepassing zijn? Begrijpen ze het en kunnen ze er mee omgaan?
- 6 Weten de werknemers dat er een wet is die hen tegen te hoge blootstelling aan elektromagnetische velden beschermt? Zijn ze op de hoogte van wat de actiewaarden en grenswaarden bedragen? Weten ze hoe ze mogelijk gevaarlijke situaties kunnen inschatten?
- 7 Zijn er procedures voor het volgen van de situatie en veranderende werkomgeving?

2 Plan van aanpak

	onderwerp	actie	ver- valt	uit- voer- der	prio- riteit
1	Er is geen overzicht van elektrische en elektronische apparatuur.	Maak een lijst met de elektrische apparatuur (locatie en vermogen).			
2	Er is apparatuur in categorie II of III.	Kies óf voor maatregelen om ervoor te zorgen dat actiewaarden niet worden overschreden óf voor het beoordelen van de blootstelling. Gebruik hierbij het beoordelingsschema in Figuur 3.			
3	Er zijn afwijkende omstandigheden.	Instrueer werknemer met implantaten op afstand te blijven; verwijder ontvlambare of ontplofbare stoffen; etc.			
4	Er zijn geen instructies of beheersmaatregelen zijn niet (meer) genomen.	Maak instructies voor de omgang met apparatuur uit categorie II of III en voer de beheersmaatregelen uit, of tref ze opnieuw.			
5	Werknemers zijn niet bekend met de omgang van de beheersmaatregelen en werkinstructies.	Geef werknemers voorlichting.			
6	Werknemers zijn niet bekend met de wet.	Geef algemene voorlichting over de wet, en hoe eventuele blootstellingssituaties zijn te herkennen			
7	Er is geen systeem om veranderingen van de werksituatie te volgen.	Houd systematisch bij welke apparatuur wordt vernieuwd of veranderd, welke oude apparatuur wordt afgevoerd en wat dat voor gevolgen heeft voor de blootstelling (eventueel aan meerdere apparaten). Ook de gevolgen door veranderende of vernieuwde werkwijzen moeten bijgehouden worden.			

Bijlage 3 SBI-codes

(overgenomen uit CBS-document [12])

- A Landbouw, jacht en bosbouw
 - 01 Landbouw, jacht en dienstverlening voor de landbouw en jacht
 - 02 Bosbouw en dienstverlening voor de bosbouw
- B Visserij
 - 05 Visserij, kweken van vis en schaaldieren
- C Winning van delfstoffen
 - CA Winning van energiehoudende delfstoffen
 - 10 Turfwinning
 - 11 Aardolie- en aardgaswinning en dienstverlening voor de aardolie- en aardgaswinning
 - CB Winning van niet-energiehoudende delfstoffen
 - 14 Winning van zand, grind, klei, zout e.d.
- D Industrie
 - DA Vervaardiging van voedings- en genotmiddelen
 - 15 Vervaardiging van voedingsmiddelen en dranken
 - 16 Verwerking van tabak
 - DB Vervaardiging van textiel en textielproducten
 - 17 Vervaardiging van textiel
 - 18 Vervaardiging van kleding; bereiden en verven van bont
 - DC Vervaardiging van leer en lederwaren (geen kleding)
 - 19 Vervaardiging van leer en lederwaren (geen kleding)
 - DD Houtindustrie en vervaardiging van artikelen van hout, kurk, riet en vlechtwerk (geen meubels)
 - 20 Houtindustrie en vervaardiging van artikelen van hout, kurk, riet en vlechtwerk (geen meubels)
 - DE Vervaardiging van papier, karton en papier- en kartonwaren; uitgeverijen en drukkerijen e.d.
 - 21 Vervaardiging van papier, karton en papier- en kartonwaren
 - 22 Uitgeverijen, drukkerijen en reproductie van opgenomen media
 - DF Aardolie- en steenkoolverwerkende industrie; bewerking van splijt- en kweekstoffen
 - 23 Aardolie- en steenkoolverwerkende industrie; bewerking van splijt- en kweekstoffen
 - DG Vervaardiging van chemische producten
 - 24 Vervaardiging van chemische producten
 - DH Vervaardiging van producten van rubber en kunststof
 - 25 Vervaardiging van producten van rubber en kunststof
 - DI Vervaardiging van glas, aardewerk, cement-, kalk- en gipsproducten

- 26 Vervaardiging van glas, aardewerk, cement-, kalk- en gipsproducten
- DJ Vervaardiging van metalen in primaire vorm en van producten van metaal
 - 27 Vervaardiging van metalen in primaire vorm
 - 28 Vervaardiging van producten van metaal (geen machines en transportmiddelen)
- DK Vervaardiging van machines en apparaten
 - 29 Vervaardiging van machines en apparaten
- DL Vervaardiging van elektrische en optische apparaten en instrumenten
 - 30 Vervaardiging van kantoormachines en computers
 - 31 Vervaardiging van overige elektrische machines, apparaten en benodigdheden
 - 32 Vervaardiging van audio-, video- en telecommunicatieapparaten en -benodigdheden
 - 33 Vervaardiging van medische apparaten en instrumenten, orthopedische artikelen e.d., precisie- en optische instrumenten en uurwerken
- DM Vervaardiging van transportmiddelen
 - 34 Vervaardiging van auto's, aanhangwagens en opleggers
 - 35 Vervaardiging van transportmiddelen (geen auto's, aanhangwagens en opleggers)
- DN Vervaardiging van meubels; vervaardiging van overige goederen
 - 36 Vervaardiging van meubels; vervaardiging van overige goederen
 - 37 Voorbereiding tot recycling
- E Productie en distributie van en handel in elektriciteit, aardgas, stoom en water
 - 40 Productie en distributie van en handel in elektriciteit, aardgas en warm water
 - 41 Winning en distributie van water
- F Bouwnijverheid
 - 45 Bouwnijverheid
- G Reparatie van consumentenartikelen en handel
 - 50 Handel in en reparatie van auto's en motorfietsen; benzineservicestations
 - 51 Groothandel en handelsbemiddeling (niet in auto's en motorfietsen)
 - 52 Detailhandel en reparatie van consumentenartikelen (geen auto's, motorfietsen en motorbrandstoffen)
- H Horeca
 - 55 Logies-, maaltijden- en drankenverstrekking
- I Vervoer, opslag en communicatie
 - 60 Vervoer over land

- 61 Vervoer over water
- 62 Vervoer door de lucht
- 63 Dienstverlening voor het vervoer
- 64 Post en telecommunicatie
- J Financiële instellingen
 - 65 Financiële instellingen (uitgezonderd verzekeringswezen en pensioenfondsen)
 - 66 Verzekeringswezen en pensioenfondsen (geen verplichte sociale verzekeringen)
 - 67 Financiële beurzen, effectenmakelaars, assurantietussenpersonen, administratiekantoren voor aandelen, waarborgfondsen e.d.
- K Verhuur van en handel in onroerend goed, verhuur van roerende goederen en zakelijke dienstverlening
 - 70 Verhuur van en handel in onroerend goed
 - 71 Verhuur van transportmiddelen, machines en werktuigen zonder bedienend personeel en van overige roerende goederen
 - 72 Computerservice en informatietechnologie
 - 73 Speur- en ontwikkelingswerk
 - 74 Overige zakelijke dienstverlening
- L Openbaar bestuur, overheidsdiensten en verplichte sociale verzekeringen
 - 75 Openbaar bestuur, overheidsdiensten en verplichte sociale verzekeringen
- M Onderwijs
 - 80 Onderwijs
- N Gezondheids- en welzijnszorg
 - 85 Gezondheids- en welzijnszorg
- O Milieudienstverlening, cultuur, recreatie en overige dienstverlening
 - 90 Milieudienstverlening
 - 91 Werkgevers-, werknemers- en beroepsorganisaties; levensbeschouwelijke en politieke organisaties; overige ideële organisaties e.d.
 - 92 Cultuur, sport en recreatie
 - 93 Overige dienstverlening
- P Particuliere huishoudens met personeel in loondienst
 - 95 Particuliere huishoudens met personeel in loondienst
- Q Extra-territoriale lichamen en organisaties
 - 99 Extra-territoriale lichamen en organisaties

Bijlage 4 Afkortingen

A	ampere (eenheid van elektrische stroomsterkte)
AC	<i>Alternating Current</i> (wisselstroom)
AIMD	<i>Active Implanted Medical Devices</i>
A/m	ampere per meter (eenheid van magnetische veldsterkte)
AT-EZ	Agentschap Telecom van het Ministerie van Economische Zaken
AZU	Academisch Ziekenhuis Utrecht (tegenwoordig Universitair Medisch Centrum Utrecht, UMCU)
BET	Bedrijfseffectentoets
BIK	Bedrijven Informatie Code
BMBE	booglassen met beklede elektrode
CBS	Centraal Bureau voor de Statistiek
CE	<i>Conformitée Européenne</i> (keurmerk dat aangeeft dat het product voldoet aan de essentiële vereisten op het gebied van veiligheid, gezondheid en milieu van de betreffende richtlijn(en))
CENELEC	<i>Comité Européen de Normalisation Electrotechnique / European Committee on Electrotechnical Standardisation</i>
DC	<i>Direct Current</i> (gelijkstroom)
DMO	<i>Direct Mode Operation</i> (zendmodus bij TETRA)
EAS	<i>Electronic Article Surveillance</i> (systeem voor het elektronische volgen van artikelen, meestal gebruikt voor antidiefstalpoortjes)
EDGE	<i>Enhanced Data Rates for Global Evolution</i>
EIRP	<i>Equivalent Isotropic Radiated Power</i>
EMC	Elektromagnetische Compatibiliteit
EMC-ESD	Vereniging voor elektromagnetische compatibiliteit en elektrostatische ontlading
ERP	<i>Effective Radiated Power</i>
EU	Europese Unie
FIOH	Finse Instituut voor Beroepsgezondheid
FM	frequentiemodulatie
FME-CWM	Federatie Metaal-Elektrobranche - Contact Werkgevers in de Metaal (ondernemersorganisatie voor de technologisch-industriële sector)
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
GR	Gezondheidsraad
GSM	<i>Global System for Mobile Communication</i>
HSCD	<i>High Speed Circuit Switched Data</i>
HSE	<i>Health and Safety Executive</i>
HSL	hogesnelheidslijn
Hz	herz (eenheid van frequentie)
ICD	<i>Implantable Cardioverter-Defibrillator</i>
ICNIRP	<i>International Committee on Non-Ionizing Radiation Protection</i>

IEC	<i>International Electrotechnical Committee</i>
ILO	<i>International Labour Organisation</i>
KEMA	Keuring van Elektrotechnische Materialen
kA	kiloampere (duizend A)
kHz	kiloherz (duizend Hz)
KNGF	Koninklijk Nederlands Genootschap voor Fysiotherapie
kV	kilovolt (duizend V)
kW	kilowatt (duizend W)
MHz	megahertz (miljoen Hz)
MAG	<i>Metal Active Gas</i>
MIG	<i>Metal Inert Gas</i>
MKB	Midden- en Kleinbedrijf
MoNet	samenwerkingsverband van de vijf mobiele-netwerkoperators in Nederland: KPN, Orange, Telfort, T-Mobile en Vodafone
MW	megawatt (miljoen W)
MRI	<i>Magnetic Resonance Imaging</i>
mT	millitesla (duizendste T)
μT	microtesla (miljoenste T)
NEN	Nederlands Normalisatie Instituut
NIL	Nederlands Instituut voor Lastechniek
NRPB	<i>National Radioprotection Board</i> (tegenwoordig onderdeel van de Britse HPA - <i>Health Protection Agency</i>)
PEMF	<i>pulsed electromagnetic fields</i>
R&D	<i>Research and Development</i>
RF	radiofrequent
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i> (systeem voor het elektronische volgen van artikelen)
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
RI&E	risico-inventarisatie en -evaluatie
RMS	<i>Root-Mean-Square</i>
SAR	<i>Specific Absorption Rate</i>
SBI	Standaard Bedrijfsindeling
SZW	Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid
T	tesla (eenheid van magnetische fluxdichtheid)
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i>
TETRA	<i>Terrestrial Trunked Radio</i>
TIG	<i>Tungsten Inert Gas</i>
TMS	<i>transcranial magnetic stimulation</i>
TMO	<i>Trunked Mode Operation</i>
TNO	Nederlandse organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>

UNETO-VNI	ondernemersorganisatie voor de installatiebranche en de technische detailhandel
V	volt (eenheid van elektrische spanning)
V/m	volt per meter (eenheid van elektrische veldsterkte)
VNO-NCW	ondernemersorganisatie (fusie van Verbond van Nederlandse Ondernemingen en het Nederlands Christelijk Werkgeversverbond)
W	watt (eenheid van vermogen)
WHO	<i>World Health Organization</i>

Referenties

- 1 Rectificatie van Richtlijn 2004/40/EG van het Europees Parlement en de Raad van 29 april 2004 betreffende de minimumvoorschriften inzake gezondheid en veiligheid met betrekking tot de blootstelling van werknemers aan de risico's van fysische agentia (elektromagnetische velden) (achttiende bijzondere richtlijn in de zin van artikel 16, lid 1, van Richtlijn 89/391/EEG) (Publicatieblad van de Europese Unie L 159 van 30 april 2004). Publicatieblad van de Europese Unie, L 184, 24 mei 2004.
- 2 ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Phys. 74(4):494-522, 1998.
- 3 Gezondheidsraad. Elektromagnetische velden: Jaarbericht 2005. Den Haag, Gezondheidsraad, 23 november 2005; publicatie nr 2005/14.
- 4 Raltex - Werkboek risico-inventarisatie en -evaluatie voor Linnenverhuur- en Wasserijbedrijven. Stichting Raltex, Tilburg, 2003.
- 5 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.
- 6 Kleinjans HAW en Schuurman HW, Gezondheidsrisico's van blootstelling aan niet-ioniserende elektromagnetische straling en velden in arbeidssituaties, juli 1995.
- 7 Bijvoorbeeld de National Radiological Protection Board (NRPB, Verenigd Koninkrijk), National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH, USA) en Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency (ARPANSA).
- 8 Cooper TG. Occupational Exposure to Electric and Magnetic Fields in the Context of the ICNIRP Guidelines. Chilton, UK: National Radiological Protection Board; 2002 Sep; NRPB-W24.
- 9 Hietanen M, Härmäläinen A-M and Von Nandelstadh P. Electromagnetic Fields in the Work Environment Guidance for occupational exposure assessment. Helsinki: Finnish Institute of Occupational Health (FIOH); 2002.
- 10 Floderus B, Stenlund C, Carlgren F. Occupational exposures to high frequency electromagnetic fields in the intermediate range (>300 Hz-10 MHz). Bioelectromagnetics 2002; 23(8):568-77.
- 11 Gabriel, C. and Lau, R. Assessment and management of the exposure of workers to electromagnetic fields in the workplace. Norwich, UK: Health & Safety Executive; 1999; CRR 226/1998.
- 12 Centraal Bureau voor de Statistiek. Standaard Bedrijfsindeling 1993 (SBI '93). Versie 2004, van kracht met ingang van 1 januari 2004.
(<http://www.cbs.nl/nl/standaarden/classificaties/sbi/index.htm>; geraadpleegd januari 2005).
- 13 vastgelegd in de volgende verslagen:
Bolte JFB. Impressie Informatiedag Europese Richtlijnen, EMC-ESD Vereniging, Arnhem, 13 april 2005; Bolte JFB. Verslag presentatie FME-CWM, Zoetermeer, 14 april 2005; Pruppers MJM. Bevindingen naar aanleiding van overleg met College KAM van UNETO-VNI, Woerden, 12 mei 2005.

- 14 Jonker HT. Samenvatting EM veldsterktemetingen KEMA Quality 1995-2005 in relatie tot volksgezondheidsaspecten. KEMA-rapport 2085043-QUA/DMC 05-4682. KEMA Quality B.V., Arnhem, September 2005.
- 15 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.
- 16 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.
- 17 Jokela, K. Assessment of magnetic field exposure from EAS devices and metal detectors. S3/57 – S3/60, in: *Proceedings of the International workshop Electromagnetic Fields in the Workplace* - J. Karpowicz en K. Gryz (eds) – Warschau, Polen, 5-7 september 2005.
- 18 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.
- 19 Gandhi, Om P. Numerical modeling of induced body currents and SARs for a human for the magnetic fields of the NEDAP EAS OID system with OID45 antennas. Salt Lake City, University of Utah, February 11, 2002; onderzoeksrapport in opdracht van NEDAP, Ing. JAM Hulshof.
- 20 Jokela K. Restricting exposure to pulsed and broadband magnetic fields. *Health Physics* 79(4):372-388, 2000.
- 21 ICNIRP. ICNIRP statement related to the use of security and similar devices utilizing electromagnetic fields. *Health Physics* 87-2:187-196, 2004.
- 22 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.
- 23 Website AIM. Persbericht Norm Ontwikkelingen verpakkingen. <http://www.aim-ned.nl/verpakking.asp>, geraadpleegd 5 oktober 2005.
- 24 Website van Association for Automatic Identification and Mobility (AIM) Nederland. www.aim-ned.nl, geraadpleegd 14 oktober 2005.
- 25 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
- 26 Ministerie van EZ. Nationaal Frequentieplan 2005 (NFP). Den Haag: Min EZ, DGTP, 2005.
- 27 International Labour Organization IaW. Safety in the use of radiofrequency dielectric heaters and sealers. *Occupational Safety and Health Series*, No. 71. International Labour Office, Geneva, 1998.
- 28 Wilén J, Hornsten R, Sandstrom M et al. Electromagnetic field exposure and health among RF plastic sealer operators. *Bioelectromagnetics* 2004; 25(1):5-15.
- 29 Gandhi OP and Chen J-Y. RF currents and SARs in an anatomically-based model of man for leakage fields of a parallel-plate dielectric heater. Final report, NIOSH, Division of Biomedical and Behavioral Science, Physical Agents Effects Branch, Cincinnati, Ohio, 22 July 1988.

- 30 Gandhi OP, Wu D., Chen J-Y and D.L. Conover. Induced current and SAR distributions for a worker model exposed to an RF dielectric heater under simulated workplace conditions. *Health Physics* 72(2): 236-242 (1997).
- 31 Jokela K, Puranen L. Occupational RF exposures. *Radiation Protection Dosimetry*, (1999) 83/1-2 (119-124).
- 32 Gandhi OP and Chen J-Y. Currents Induced in a Human Being for Plane-wave Exposure Conditions 0–50 MHz and for RF Sealers. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* BME-33(8), 757–767 (1986).
- 33 Chen J-Y, Gandhi OP and Conover DL. SAR and Induced Current Distributions for Operator Exposure to RF Dielectric Sealers. *IEEE Trans. Electromag. Compat.* EMC-33(3), 252–261 (1991).
- 34 HSE. Safety in the use of radio-frequency dielectric heating equipment. Health and Safety Executive, 1986; Guidance Note PM 51, Plant and Machinery 51.
- 35 ICNIRP. Guidance on determining compliance of exposure to pulsed and complex non-sinusoidal waveforms below 100 kHz with ICNIRP guidelines. *Health Phys.* 2003 Mar; 84(3):383-7.
- 36 Moen BE, Drablos PA, Pedersen S, Sjoen M and Thommesen G. Absence of relation between sick leave caused by musculoskeletal disorders and exposure to magnetic fields in an aluminum plant. *Bioelectromagnetics*. 1996; 17(1):37-43.
- 37 Chadwick P. Assessment of industrial exposure to magnetic fields. *Radiation Protection Dosimetry*, 1999, 83/1-2 (47-52).
- 38 www.radyne.com, geraadpleegd 29 april 2005.
- 39 Allen SG, *et al.* Review of Occupational Exposure to Optical Radiation and Electric and Magnetic Fields with Regard to the Proposed CEC Physical Agents Directive. NRPB-report R265, 1994.
- 40 Chadwick P. EMF exposures from induction heaters, S3/17-21, in: Proceedings of the International workshop Electromagnetic Fields in the Workplace - J. Karpowicz en K. Gryz (eds) – Warschau, Polen, 5-7 september 2005.
- 41 López de Ipiña J.Ma., Rubio J. (presenting), Rubio B., Algorta J., Larrarte E., Margareto J., De la Peña Ma N., 2005. Thinking about the development of a guide to implement the 40/2004/CE EMF Directive in the Basque country (Spain), P37, in: Proceedings of the International workshop Electromagnetic Fields in the Workplace - J. Karpowicz en K. Gryz (eds) – Warschau, Polen, 5-7 september 2005.
- 42 Skotte JH, Hjollund HI. Exposure of welders and other metal workers to ELF magnetic fields. *Bioelectromagnetics* 1997; 18(7):470-7.
- 43 HSE. Measurement and analysis of magnetic fields from welding processes. Prepared by TWI Ltd for the Health and Safety Executive 2005, HSE report 338..
- 44 Nadeem M, Hamnerius Y, Mild KH, Persson M. Magnetic field from spot welding equipment--is the basic restriction exceeded? *Bioelectromagnetics* 2004; 25(4):278-84.
- 45 Measurement and analysis of magnetic fields from welding processes. HSE Mainstream Research News, Issue 24, april 2003, <http://www.hse.gov.uk/research/journals/mrn24.pdf>, geraadpleegd 24 februari 2005.
- 46 Hamnerius Y en M Persson. How to determinate compliance with the directive's exposure limit values (ICNIRP basic restrictions) for electric welding, S5/7-11,

- in: Proceedings of the International workshop on Electromagnetic Fields in the Workplace - Karpowicz J. en K. Gryz (eds.) – Warschau, Polen, 5-7 september 2005.
- 47 <http://emvt.nl/Download/DP/Lasprocessen.pdf>, geraadpleegd 17 februari 2005.
- 48 Zie bijv. <http://www.lincolnelectric.nl/products/msds/>, geraadpleegd 19 juli 2005.
- 49 Laskennis Opgefrist 11, <http://www.nil.nl/fris11.htm>, geraadpleegd 8 februari 2005.
- 50 NEN-EN-IEC 60974-10:2003 – Uitrusting voor booglassen; Deel 10: Elektromagnetische compatibiliteit (EMC)-eisen. (en; fr). Staatscourant, 25 augustus 2003, nr. 162 / pag. 25.
- 51 NEN-EN 50444:2005 Ontw. – Basisnorm voor de evaluatie van de blootstelling van het menselijk lichaam aan elektromagnetische velden van apparatuur voor booglassen en verwante processen. (en). Kritiek voor 2005-05-17. Staatscourant, 11 februari 2005, nr. 30 / pag. 38.
- 52 NEN-EN 50445:2005 Ontw. – Productgroepnorm om de overeenstemming aan te tonen van apparatuur voor weerstandlassen, booglassen en verwante processen met de basiseisen voor de blootstelling van het menselijk lichaam aan elektromagnetische velden (0 Hz – 300 GHz). (en). Kritiek voor 2005-05-17. Staatscourant, 11 februari 2005, nr. 30 / pag. 38.
- 53 Hill DL, McLeish K and Keevil SF. Impact of electromagnetic field exposure limits in Europe: is the future of interventional MRI safe? Acad Radiol. 2005 Sep; 12(9):1135-42.
- 54 WHO. Electromagnetic fields and public health: Static electric and static magnetic fields. WHO: Geneve, March 2006; Factsheet 299.
- 55 WHO. Static fields. WHO: Geneve, 2006; Environmental Health Criteria vol. 232.
- 56 Felmlee JP and Vetter RJ. Radio-frequency survey at the bore of a 1.5-T MR imager. Radiology. 1995; 196(2):571-2.
- 57 ICNIRP - International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Medical magnetic resonance (MR) procedures: protection of patients. Health Phys. 2004 Aug; 87(2):197-216.
- 58 Litvak E, Foster KR and Repacholi MH. Health and safety implications of exposure to electromagnetic fields in the frequency range 300 Hz to 10 MHz. Bioelectromagnetics. 2002 Jan; 23(1):68-82.
- 59 COGIR, the European Coordination Committee of the Radiological and Electromedical Industry. The EU Directive on the protection of workers against EMF (Directive 2004/40/EC) - A threat for high quality healthcare in the future? - Special Issue of COGIRNews, www.cogir.org. December 2004..
- 60 Frese G and Engels H. Magnetic Resonance Imaging (MRI) and Electromagnetic Fields (EMF); www.magres.nottingham.ac.uk/safety/eu/Frese_text.pdf; April 2003.
- 61 Stuchly MA, Repacholi MH, Lecuyer DW and Mann RD. Exposure to the operator and patient during short wave diathermy treatments. Health Phys. 1982 Mar; 42(3):341-66.
- 62 Tofani S and Agnesod G. The assessment of unwanted radiation around diathermy RF capacitive applicators. Health Phys. 1984 Aug; 47(2):235-41.
- 63 Tzima E. and Martin CJ. An evaluation of safe practices to restrict exposure to electric and magnetic fields from therapeutic and surgical diathermy equipment. Physiol Meas. 1994 May; 15(2):201-16.

- 64 Mantiplly ED, Pohl KR, Poppell SW and Murphy JA. Summary of measured radiofrequency electric and magnetic fields (10 kHz to 30 GHz) in the general and work environment. *Bioelectromagnetics*. 1997; 18(8):563-77.
- 65 Shields N, O'Hare N and Gormley J. An evaluation of safety guidelines to restrict exposure to stray radiofrequency radiation from short-wave diathermy units. *Phys Med Biol*. 2004; 49(13):2999-3015.
- 66 International Labour Organization, Protection of workers against radio-frequency and microwave radiation: A technical review. Occupational Safety and Health Series, No. 57. International Labour Office, Geneva, 1986.
- 67 Ruggera P S. Measurements of emission levels during microwave and short-wave diathermy treatments. 1980. US Dept. of Health and Human Services Publication (FDA) 80-8119.
- 68 Grandolfo, Martino and Spinelli, Maria Concetta. Occupational Exposure To Shortwave And Microwave Electromagnetic Fields During Diathermy Treatments. 2nd International Workshop on Biological Effects of Electromagnetic Fields , Rhodos, 7 - 11 October 2002.; Rhodos, Greece. EBEA; 2002 Oct: 202-210.
- 69 Koot M, Simons M en Ingenhoes R. Report of Project Stray Radiation. Erasmus MC - Daniël den Hoed Kliniek, 2003.
- 70 Medicines and Healthcare products Regulatory Agency, High power electrosurgery review update 2005, MHRA-document 05023, Department of Health, April 2005.
- 71 Liljestrand B, Sandstrom M and Mild KH. RF Exposure During Use of Electrosurgical Units. *Electromagnetic Biology and Medicine*. 2003; 22(2&3):127-132.
- 72 Mild K, Ly C, Liljestrand B, Sandström M and Foster KR. Dosimetric studies on electrosurgical units. Abstract collection, Bioelectromagnetics Society, Annual Meeting, St Paul, Minnesota, USA, June 10-14, 2001.
- 73 Shupak N, Thomas AW and Prato FS. Therapeutic uses of pulsed magnetic field exposure. International NIR Workshop & Symposium; Seville, Spain. 2004 May 20-22.
- 74 George MS, Lisanby SH and Sackeim HA. Transcranial magnetic stimulation: applications in neuropsychiatry. *Arch Gen Psychiatry*. 1999 Apr; 56(4):300-11.
- 75 Karlström EF, Lundstrom R, Stensson O and Mild KH. Therapeutic staff exposure to magnetic field pulses during TMS/rTMS treatments. *Bioelectromagnetics*. 2006 Feb; 27(2):156-8.
- 76 Riminesi C, Andreuccetti D, Fossi R and Pezzati M. ELF magnetic field exposure in a neonatal intensive care unit. *Bioelectromagnetics*. 2004 Oct; 25(7):481.
- 77 Moriyama K, Sato H, Tanaka K, Nakashima Y and Yoshitomi K. Extremely low frequency magnetic fields originating from equipment used for assisted reproduction, umbilical cord and peripheral blood stem cell transplantation, transfusion, and hemodialysis. *Bioelectromagnetics*. 2005 Jan; 26(1):69-73.
- 78 Bullough J, Rea MS and Stevens RG. Light and magnetic-fields in a neonatal intensive-care unit. *Bioelectromagnetics*. 1996; 17(5):396-405.
- 79 Schäfer TM, Maurer J, Von Hagen J and Wiesbeck W. Experimental Characterization of Radio Wave Propagation in Hospitals, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, May 2005; 47(2) 304-311.
- 80 Afpellen van betonwanden: na opwarming met een magnetron kan 5 à 10 cm van een betonwand worden afgepeld; toepassing bijvoorbeeld in met radioactiviteit besmette

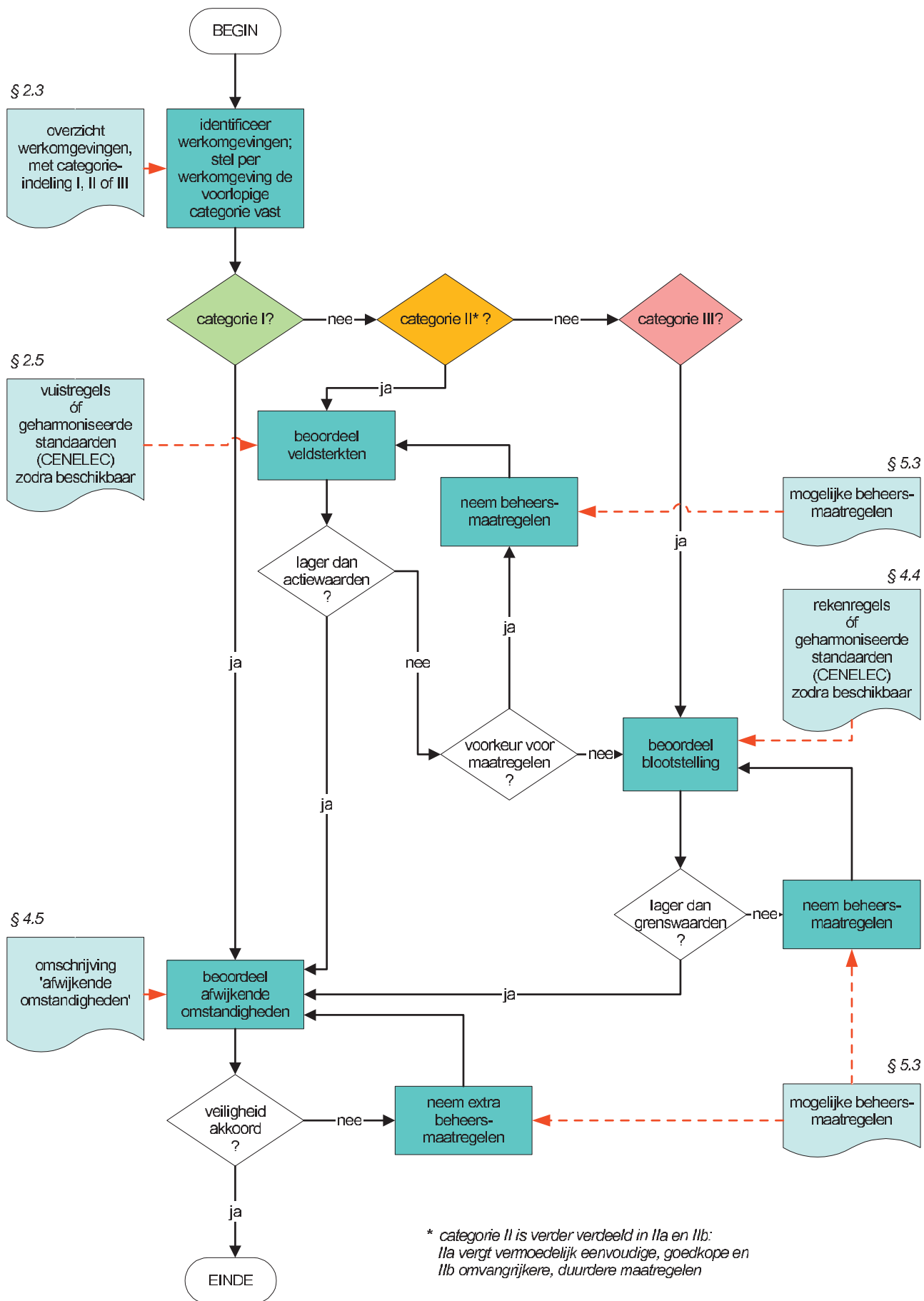
- bouwdelen van een kerncentrale die is gesloten. Telefonisch interview met Henk van Deventer, contactpersoon Nederlandse Werkgroep Drogen (NWGD), 8 april 2005.
- 81 Ontsmetten van tuinbouwgronden: als alternatief voor toepassing van methylbromide (om milieuredenen verboden); de open-grond-structuur blijft behouden. Agratron veelbelovend alternatief voor stomen. Artikel in: Vakblad voor de bloemisterij, 22 april 2005; geraadpleegd via www.agriholland.nl; en Potveer-alternatief stomen: potgrond in de magnetron. Artikel in: BloembollenVisie nr. 55, 3 februari 2005; www.cnb.nl/bloembollenvisie/.
- 82 Bestrijding van de bonte knaagkever in houten skeletten: de larve kan niet tegen warmte; alleen in laboratoriumomstandigheden onderzocht; geen toepassingen. Telefonisch interview met Wim Jansen, 12 april 2005.
- 83 Telefonisch interview met dhr. Weber van Weber Droogtechniek naar aanleiding van berichten in de media over bestrijding van de bonte knaagkever in een kerktoeren (Utrechts Nieuwsblad 5 juli 2005, De Telegraaf 6 juli 2005 en NOS Teletekst 7 juli 2005), 20 juli 2005; zie ook www.weberdroogtechniek.nl.
- 84 Koot J. Operatie 25 kV. Overgang gelijk- naar wisselspanning pas volgend decennium. De Ingenieur, 12/13, 2 juli 2004, p. 52-54.
- 85 Minder CE and Pfluger DH. Leukemia, brain tumors, and exposure to extremely low frequency electromagnetic fields in Swiss railway employees. Am J Epidemiol. 2001 May 1;153(9):825-35.
- 86 Minder CE and Pfluger DH. Extremely low frequency electromagnetic field measurements (ELF-EMF) in Swiss railway engines. Radiat Prot Dosimetry 1993;48:351-4.
- 87 Vecchia P. Sources of exposure to ELF fields at workplaces. Rad. Prot. Dos. 83 (1-2) 1999, p. 15-19.
- 88 Rossi P en Falsaperla R. EMF exposure assessment of railway system's workers: the experience in Italy, S3/65-69, in: Proceedings of the International workshop on Electromagnetic Fields in the Workplace - Karpowicz J. en K. Gryz (eds.) – Warschau, Polen, 5-7 september 2005.
- 89 Leva A, Morando AP and Zich RE. On the unwanted radiated fields due to the sliding contacts in a traction system. IEICE Trans. Commun, E83-B(3) March, 2000, p. 519-524.
- 90 Trenitalia. Characterization of the levels of exposure to magnetic fields on railway rolling stock (5 Hz - 10 kHz). Technical specification, TI.UTMR.CEM001.0, Florence, April 2002.
- 91 Muc AM. Electromagnetic fields associated with transportation systems. Radiation Health and Safety Consulting, Toronto, Canada, May 29, 2001.
- 92 Nicholas JS, Butler GC, Lackland DT, Hood WC Jr, Hoel DG and Mohr LC Jr. Flight deck magnetic fields in commercial aircraft. Am J Ind Med. 2000 Nov;38(5):548-54.
- 93 Maslanyj MP and Allen SG. A review of electromagnetic fields associated with motorised appliances. National Radiological Protection Board for HSE. Contract Research Report, Number 172, HSE Books, 1998.
- 94 Ferrari P, Mariscotti A, Motta A and Pozzobon P. Electromagnetic emissions from electrical rotating machinery. IEEE Transactions on Energy Conversion 16(1) March 2001, 68-73.

- 95 Chadwick PJ. Persoonlijke communicatie, september 2005.
- 96 Bolte JFB en MJM Pruppers. Gezondheidseffecten van blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden - Probleemanalyse niet-ioniserende straling. RIVM-rapportnr. 861020007. RIVM, Bilthoven, 2004.
- 97 Rijksoverheid. Convenant in het kader van het Nationaal Antennebeleid inzake vergunningvrije antenne-installaties voor mobile telecommunicatie. Den Haag: Ministerie van Verkeer en Waterstaat, namens de Rijksoverheid, 2002.
- 98 Website van het Nationaal Antennebureau. UMTS-misverstanden. <http://www.antennebureau.nl/index.php?id=466>, geraadpleegd 30 mei 2006.
- 99 Bongers F, Maltha S, Bekkers R, Nieuwenhuis B, Segers J, Verhagen L, en M Fijnvandraat. Evaluatie Nationaal Antennebeleid – Onderzoek in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken. Dialogic innovatie & interactie: februari 2006. Downloadbaar op: <http://www.ez.nl/content.jsp?objectid=41907>, geraadpleegd 2 juni 2006.
- 100 Website van het Nationaal Antennebureau. Antenneregister. <http://www.antenneregister.nl/www/tpl/frameset.html>, geraadpleegd 19 oktober 2005.
- 101 Van Ooijen JWT. Risico-inventarisatie en –evaluatie: Elektromagnetische velden van GSM installaties. KLM Arbo Services bv: Luchthaven Schiphol, december 2004; rapportnr: as/bnv/0437834.
- 102 Website MoNet: Veilig Mobiel - RI&E tool - veilig werken bij antennes; downloadbaar op <http://www.monet-info.nl/>, geraadpleegd 27 april 2006.
- 103 Website ITO (Informatie en Communicatie en Technologie Organisatie): Wat is C2000? <http://www.ito.nl/index.html>, geraadpleegd 11 augustus 2003.
- 104 Website C2000. C2000, digitaal netwerk: <http://www.c2000.nl>, geraadpleegd 2 juni 2006.
- 105 Nationaal Antennebureau. Nationaal Antennebeleid, Vraagbaak voor de uitvoering. Nationaal Antennebureau: Groningen, december 2002.
- 106 Brief van de Minister van Binnenlandse Zaken aan de Tweede Kamer met bijlage. Voortgangsrapportage C2000. Kenmerk: VenM2004/75727, 1 oktober 2004.
- 107 Clemens CHM en AB Woltering. Stralingsniveaus in de nabijheid van C2000-basisstations. TNO: 's Gravenhage, 1998; TNO rapport: FEL-98-C236.
- 108 Website ITO (Informatie en Communicatie en Technologie Organisatie): Wat is C2000? <http://www.ito.nl/index.html>, geraadpleegd 11 augustus 2003.
- 109 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.
- 110 Clemens CHM en AB Woltering. Stralingsniveaus in de nabijheid van C2000-basisstations. TNO: 's Gravenhage, 1998; TNO rapport: FEL-98-C236.
- 111 NRPB. Possible Health Effects from Terrestrial Trunked Radio (TETRA). NRPB-Advisory Group on Non-ionising Radiation (AGNIR): Chilton, Didcot, Oxon, Verenigd Koninkrijk, 2001; Documents of the NRPB, volume 12, no 2.
- 112 Gezondheidsraad: Mobiele telefoons; een gezondheidkundige analyse. Den Haag: Gezondheidsraad, 2002; publicatie nr 2002/01.

- 113 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 .
- 114 AGNIR. Health Effects from Radiofrequency Electromagnetic Fields. NRPB, Chilton, Didcot, Oxon, 2003, Verenigd Koninkrijk; Documents of the NRPB, Volume 14, No.2.
- 115 Pedersen GF and JB Andersen. RF and ELF exposure from cellular phone handsets: TDMA and CDMA systems. Radiation Protection Dosimetry, 1999; 83: 131-138.
- 116 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.
- 117 Website Motorola. Motorola Mediacenter - Press Releases.
http://www.motorola.com/mediacenter/news/detail/0,1958,2180_1769_23,00.html, geraadpleegd 25 augustus 2003.
- 118 Website Nokia. Phone models - Africa, Europe, Middle East.
<http://www.nokia.com/nokia/0,,73,00.html>, geraadpleegd 24 juli 2003.
- 119 Ministerie van EZ. E-mail persbericht: Start uitgifte Wireless Local Loop vergunningen. 18 januari 2005.
- 120 Website EZ: Vergunningverlening Wireless Local Loop (WLL)
http://www.ez.nl/default_bel.asp?pagina=wll, geraadpleegd 24 september 2003.
- 121 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.
- 122 Gezondheidsraad: GSM-basisstations. Den Haag: Gezondheidsraad, 2000; publicatie nr 2000/16.
- 123 Cleveland R.F., Sylvar D.M., and Ulcek J.L. Evaluating Compliance with FCC guidelines for human exposure to radiofrequency electromagnetic fields. Federal Communication Commission (FCC): Washington, DC, Verenigde Staten, 1997; Oet Bulletin 65, edition 97-1.
- 124 Ministerie van Economische Zaken. De Digitale Delta. Nederland online. Min. EZ: Den Haag, juni 1999. <http://www.ez.nl/publicaties/pdfs/05r105.pdf> .
- 125 Website Agentschap Telecom. Overzicht van analoge en digitale TV zenders.
<http://www.at-ez.nl/dav/>, geraadpleegd 8 maart 2006.
- 126 Cooper T.G., Allen S.G., Blackwell R.P., Litchfield I., Mann S.M., Pope J.M. and Van Tongeren M.J.A. Assessment of occupational exposure to radiofrequency fields and radiation. Radiation Protection Dosimetry Vol. 111, No 2, pp. 191-203, 2004.
- 127 Jokela K and L Puranen. Occupational RF Exposures. Radiation Protection Dosimetry Vol. 83, Nos 1-2, pp. 119-124, 1999.
- 128 Puranen L. RF Fields at FM/TV broadcast stations, S3/41-43, in: Proceedings of the International workshop on Electromagnetic Fields in the Workplace - Karpowicz J. en K. Gryz (eds.) – Warschau, Polen, 5-7 september 2005.
- 129 Dahme M. Residential RF exposures. Radiation Protection Dosimetry, 1999; Vol. 83, Nos1-2, pp 113-117.

- 130 Intres EL. Metingen AM-zenders Trintelhaven. TNO-FEL: 's Gravenhage, februari 2002; TNO-rapport FEL-02-EM03.
- 131 Witvliet B en B Bogaard. Veldsterktemetingen Trintelhaven, AM middengolf 1395 kHz. Agentschap Telecom: Groningen, augustus 2002.
- 132 Gezondheidsraad. Commissie ELF elektromagnetische velden. Blootstelling aan elektromagnetische velden (0 Hz - 10 MHz). Den Haag: Gezondheidsraad, 2000; publicatie nr 2000/6.
- 133 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.
- 134 Vink, WJP. Niet-destructief onderzoek. 1996-2005. ISBN 90-407-1147-X.
- 135 Jackson, JD. Classical Electrodynamics, 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1999.
- 136 Duffin JW. Electricity and magnetism, 3rd. London: McGraw-Hill Book Company Ltd., 1980.
- 137 Chadwick PJ. Occupational exposure to electromagnetic fields: Practical application of NRPB guidance. Chilton, NRPB-R301, 1998.
- 138 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.
- 139 Balanis, CA. Antenna theory: analysis and design ; 2nd ed (+diskette), 1997 - New York ; Wiley.
- 140 Puranen L and K Jokela. Radiation Hazard Assessment of Pulsed Microwave Radars. Journal of Microwave Power and Electromagnetic energy, 1996; Vol. 31 No 3, pag 165-177.
- 141 Pinski SL. Emergencies related to implantable cardioverter-defibrillators. Crit Care Med. 2000 Oct; 28(10 Suppl):N174-80.
- 142 Miller, C. S.; Leonelli, F. M., and Latham, E. Selective interference with pacemaker activity by electrical dental devices. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 1998 Jan; 85(1):33-6.
- 143 Irnich, W. Electronic security systems and active implantable medical devices. Pacing Clin Electrophysiol. 2002 Aug; 25(8):1235-58.
- 144 WHO, Elektromagnetische velden en volksgezondheid - Radarstraling en gezondheid, Informatieblad nr 226, juni 1999.
- 145 Besluit van de Staatssecretaris van Sociale Zaken en Werkgelegenheid van 3 juli 2003, Directie Arbeidsveiligheid en -gezondheid, nr. A&G/W&P/2003/46653, tot wijziging van de Beleidsregels arbeidsomstandighedenwetgeving in verband met de opname in het Arbeidsomstandighedenbesluit van regels betreffende explosieve atmosferen. Staatscourant 8 juli 2003, nr. 128 / pag. 9.
Richtlijn 1999/92/EG van het Europees Parlement en de Raad van 16 december 1999 betreffende minimumvoorschriften voor de verbetering van de gezondheidsbescherming en van de veiligheid van werknemers die door explosieve atmosferen gevaar kunnen lopen (vijftiende bijzondere richtlijn in de zin van artikel 16, lid 1, van Richtlijn 89/391/EEG). PB L 23/57-63, 28 januari 2000.

- 146 Richtlijn 98/37/EG van het Europees Parlement en de Raad van 22 juni 1998, inzake de onderlinge aanpassing van de wetgevingen van de lidstaten betreffende machines. PB L 207/1-46, 23 juni 1998.
- 147 International Labour Organization. Protection of workers from power frequency electric and magnetic fields. Occupational Safety and Health Series, No. 69. International Labour Office, Geneva, 1994.
- 148 NEN-EN 12198 Veiligheid van machines – Beoordeling en vermindering van het gevaar veroorzaakt door straling uitgezonden door machines; Deel 1:2000 – Algemene beginselen; Deel 2:2002 - Stralingsemissie meetprocedure; en Deel 3:2003 – Reductie van straling door verzwakking en afscherming. Ontwikkeld door CEN in het kader van de *Machinerichtlijn*. Richtlijn 98/37/EG van het Europees Parlement en de Raad van 22 juni 1998 inzake de onderlinge aanpassing van de wetgevingen van de lidstaten betreffende machines. PB L 207/1-46.
- 149 Environmental Health Directorate, Health Protection Branch. Safety Code 6. Limits of Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields in the Frequency Range from 3 kHz to 300 GHz. Ottawa, Ontario: Environmental Health Directorate. Published by Authority of the Minister of National Health and Welfare of Canada; 99-EHD-237; 1999.
- 150 Kanal E, Borgstede JP, Barkovich AJ, Bell C, Bradley WG, Felmlee JP, Froelich JW, Kaminski EM, Keeler EK, Lester JW, Scoumis EA, Zaremba LA, Zininger MD. American College of Radiology White Paper on MR Safety. AJR 2002; 178:1335–1347.
- 151 Website Novec BV. Melding werkzaamheden Novec-site. <http://www.novecbv.nl>, geraadpleegd 28 april 2006.
- 152 Ministeries van Economische Zaken, Justitie en Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu. Effectbeoordeling Voorgenomen Regelgeving, Publicatienummer 03ME19. Meldpunt Voorgenomen Regelgeving, Den Haag, juli 2003.
- 153 Website CBS; geraadpleegd 31 januari 2006; <http://www.cbs.nl/nl-NL/menu/methoden/begrippen/alfabet/v/default.htm>.
- 154 Baars AJ, Pelgrom SMGJ, Hoeymans FHGM, Van Raaij MTM. Gezondheids-effecten en ziektelast door blootstelling aan stoffen op de werkplek – een verkennend onderzoek. RIVM rapport 320100001, 2005.
- 155 Relevante richtlijnen zijn in dit verband
- de *Low Voltage Directive* (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. PB L 77, 26 maart 1973, p. 29-33.);
 - de *R&TTE Directive* (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. PB L 91, 7 april 1999, p. 10-28); en
 - de *EMC Directive* (Richtlijn 89/336/EEG van 3 mei 1989 betreffende de onderlinge aanpassing van de wetgevingen van de lidstaten inzake elektromagnetische compatibiliteit. PB L 139 van 23 mei 1989, p. 19; laatstelijk gewijzigd bij Richtlijn 93/68/EEG, PB L 220 van 30 augustus 1993, blz. 1).



Figuur 3 Schematische weergave van het traject waarmee in de praktijk kan worden beoordeeld of er beheersmaatregelen moeten worden genomen.



Ministerie van Sociale Zaken
en Werkgelegenheid

Postbus 90801
2509 LV Den Haag

rivm

Rijksinstituut
voor **Volksgezondheid**
en Milieu