



VLAAMSE MILIEUMAATSCHAPPIJ



Milieurapport Vlaanderen MIRA

Achtergronddocument
Thema Niet-ioniserende straling

Milieurapport Vlaanderen

MIRA **Achtergronddocument 2011** **Niet-ioniserende straling**

Auteurs

Luc Verschaeve, Ethel Brits, Wetenschappelijk Instituut Volksgezondheid

Myriam Bossuyt, MIRA-VMM

Dirk Adang, EMIC, UCL

Gilbert Decat, Integrale Milieustudies, VITO

Luc Martens, Vakgroep Informatietechnologie, UGent

Wout Joseph, Vakgroep Informatietechnologie, UGent

Laatst bijgewerkt op: juni 2011

Overname wordt aangemoedigd mits bronvermelding.

Hoe citeren?

Korte citering: MIRA Achtergronddocument 2011 Niet-ioniserende straling

Volledige citering: MIRA (2011) Milieurapport Vlaanderen, Achtergronddocument 2011, Niet-ioniserende straling Verschaeve L., Brits E., Bossuyt M., Adang D., Decat G., Martens L., Joseph W., Vlaamse Milieumaatschappij, www.milieurapport.be

Inhoudsopgave

Lijst met figuren	5
Lijst met tabellen	6
Beschrijving van de verstoring	7
Mechanismen.....	7
Het elektromagnetisch frequentiespectrum	8
Elektromagnetisch veld versus elektromagnetische straling.....	9
1 Extreem-lage frequenties (ELF).....	10
1.1 Bronnen van extreem lage frequentie	10
1.1.1 <i>Elektrische energieproductie en -transport (150 kV tot 380 kV)</i>	10
1.1.2 <i>Elektrische apparatuur</i>	10
1.1.3 <i>Natuurlijke bronnen</i>	10
1.1.4 <i>Onderlinge verhouding tussen de verschillende bronnen</i>	11
1.2 Ruimtelijk perspectief	11
1.3 Impact op de natuur.....	11
2 Intermediaire frequenties	12
3 Radiofrequente straling en microgolfstraling	12
3.1 Bronnen van radiofrequente straling	12
3.1.1 <i>Telecommunicatie</i>	12
3.1.2 <i>Microgolfvermogenstoepassingen</i>	15
3.2 Ruimtelijk perspectief	16
3.3 Tijdsperspectief	16
3.4 Impact op natuur.....	17
4 Ultraviolette en infrarode straling.....	17
4.1 Bronnen van UV-straling en lasers.....	17
4.2 Verbanden met andere thema's	18
Indicatoren	18
1 Extreem lage frequenties (ELF).....	18
1.1 Bronnen van extreem lage frequenties	18
1.1.1 <i>Geografische lengte van het hoogspanningsnet</i>	19
1.1.2 <i>Elektrische toestellen in huishoudens</i>	20
1.2 Opwekking van extreem lage frequenties	21
1.2.1 <i>Emissieveldbelasting door hoogspanningslijnen</i>	21
1.3 Aanwezigheid van extreem lage frequenties in de omgeving.....	23
1.3.1 <i>Magnetisch veld rond hoogspanningslijnen</i>	23
1.3.2 <i>ELF magnetisch veld van huishoudelijke elektrische apparaten</i>	30
1.3.3 <i>Limietwaarden, beleid en maatregelen</i>	32
1.4 Gevolgen van extreem lage frequenties voor de mens.....	34
1.4.1 <i>Inleiding</i>	34
1.4.2 <i>Epidemiologisch onderzoek</i>	34
1.4.3 <i>Experimentele studies bij mensen (klinisch/laboratoriumonderzoek)</i>	37
1.4.4 <i>Ribbel- of deukdijen (Lipoatrophia semicircularis)</i>	37
1.4.5 <i>Experimenteel onderzoek</i>	38
1.4.6 <i>Besluit</i>	39
1.4.7 <i>Kinderleukemie en blootstelling door hoogspanningslijnen in Vlaanderen</i> . 39	
2 Intermediaire frequenties	42
2.1 Bronnen van intermediaire frequenties	42
2.2 Intermediaire frequenties in de leefomgeving	42
2.3 Gevolgen voor de mens van intermediaire frequenties.....	43
3 Radiofrequentie en microgolfstraling	44
3.1 Bronnen van radiofrequente straling	44
3.1.1 <i>Aantal mobiele telefoons in gebruik in België</i>	44
3.1.2 <i>Aantal GSM-basisstations en ASTRID-zendmasten</i>	46
3.1.3 <i>Aantal zendinstallaties voor TV en radio</i>	47
3.2 Opwekking van radiofrequente straling	48
3.2.1 <i>Uitgezonden vermogen antennes voor omroep en mobiele communicatie</i> 48	

3.2.2	<i>Uitgezonden vermogen GSM-en UMTS-toestel</i>	52
3.3	Radiofrequentie en microgolfstraling in de omgeving	53
3.3.1	<i>Elektrisch veld rond GSM-zendmasten</i>	53
3.4	Beleid, maatregelen en doelstellingen	56
3.5	Situatie in onze buurlanden	63
3.6	Gevolgen van radiofrequente straling op de mens	64
3.6.1	<i>Epidemiologische en experimenteel literatuuroverzicht</i>	67
4	Ultraviolette en infrarood straling	77
4.1	Bronnen van UV-straling en infrarood	77
4.2	Aanwezigheid van UV-licht in de omgeving	77
4.3	Gevolgen van UV-straling en lasers op de mens	78
4.3.1	<i>UV straling</i>	78
4.3.2	<i>Lasers</i>	80

Lijst met figuren

Figuur 1: Het elektromagnetisch spectrum.....	8
Figuur 2: Het cellulaire systeem voor mobiele communicatie	13
Figuur 3: Geografische lengte van het hoogspanningsnet (België, 1991-2009).....	20
Figuur 4: Emissiebelasting van het B-veld voor de luchtlijnen (Vlaanderen, 1991-2009).....	22
Figuur 5: Veldverdelingen onder een 150 kV- en een 380 kV-hoogspanningslijn	24
Figuur 6: Berekende sterkte van het B-veld i.f.v. de afstand tot verschillende types luchtlijnen bij gemiddelde stroombelasting en lijnhoogte	25
Figuur 7: Berekende B-veld t.o.v. de horizontale afstand tot een 150 kV kabel	26
Figuur 8: Berekende B-veld t.o.v. de horizontale afstand tot een 70 kV kabel	26
Figuur 9: Berekende B-veld t.o.v. de horizontale afstand tot een 36 kV kabel	27
Figuur 10: B-veld geregistreerd in een woning onder een 380 kV-lijn	28
Figuur 11: Hoogspanningsnet van België (2010).....	29
Figuur 12: Effect van aan- en uitschakelen elektrische apparatuur op het magnetisch veld in een woning (Vlaanderen, 2004)	32
Figuur 13: Leeftijdsspecifieke incidentie van lymfoïde leukemie bij mannen per leeftijdscategorie (Vlaanderen, 1999-2006)	41
Figuur 14: Leeftijdsspecifieke incidentie van lymfoïde leukemie bij vrouwen per leeftijdscategorie(Vlaanderen, 1999-2006)	41
Figuur 15: Aantal mobiele telefoons in gebruik, aantal actieve abonnees en aantal simkaarten in gebruik (België, 1995-2009)	45
Figuur 16: Percentage gezinnen in bezit van een GSM of smartphone (Vlaanderen, 2001-2009)	46
Figuur 17: Aantal GSM-basisstations en basisstations voor het ASTRID-netwerk (Vlaanderen, 2000, 2002, 2006-2011).....	47
Figuur 18: Aandeel van de verschillende toepassingen in het totaal uitgezonden vermogen (Vlaanderen, 2011).....	50
Figuur 19: Totaal uitgezonden vermogen door GSM- en UMTS-antennes (Vlaanderen, 2006-2011)	52
Figuur 20: Contour in het verticaal vlak door een GSM-zendantenne, in de richting met de maximale winst, van de verhouding van het elektrisch-veld tot de referentiewaarde voor 20,6 V/m (bovenaan); elektrisch veld op een hoogte van 1,75 m boven de grond (onderaan).....	54
Figuur 21: Contour in het verticaal vlak door een GSM-zendantenne, in de richting met de maximale winst, van de verhouding van het elektrisch-veld tot de 3V/m contour	54
Figuur 22: Histogram van het gemeten elektrische veld (België, 2000-2005)	56
Figuur 23: Referentieniveaus voor het elektrisch en magnetisch veld waaraan de algemene bevolking maximaal continu mag worden blootgesteld.....	57
Figuur 24: SAT-waarde i.f.v. de frequentie uitgemiddeld over het hele lichaam bij blootstelling aan een vermogendichtheid bij het referentieniveau van 20,6 V/m.....	61
Figuur 25: Overzicht odds ratio's uit de wetenschappelijke literatuur voor het voorkomen van glioma bij blootstelling aan GSM-straling.....	69
Figuur 26: Overzicht odds ratio's uit de wetenschappelijke literatuur voor het voorkomen van meningioma bij blootstelling aan GSM-straling.....	69
Figuur 27: Overzicht odds-ratio's uit de wetenschappelijke literatuur over voorkomen van akoestisch neuroma bij blootstelling aan GSM-straling	70

Lijst met tabellen

Tabel 1: Overzicht van de gebruikte grootheden en hun eenheden	9
Tabel 2: Geografische lengte (km) hoogspanningsnet per type hoogspanningslijn (België, 1991-2009)	19
Tabel 3: Percentage van de gezinnen die beschikt over elektrische toestellen (Vlaanderen, 2001-2009)	21
Tabel 4: B-veld gedurende minimum 1 maand geregistreerd in woningen onder Belgische hoogspanningslijnen (2002)	27
Tabel 5: Geaggregeerde oppervlakte (km ²) in functie van de stroombelasting en B-veld van de bovengrondse 380 kV, 150 kV en 70 kV-luchtlijnen (Vlaanderen, 2002)	29
Tabel 6: Geaggregeerde oppervlakte (km ²) in functie van stroombelasting en B-veld van de ondergrondse 150, 70 en 36 kV-lijnen (Vlaanderen en Brussel, 2006)	30
Tabel 7: Afstand tot de verschillende types luchtlijnen waar een magnetische veld groter dan 0,4 μ T berekend werd voor verschillende werkingscapaciteiten	30
Tabel 8: Afstand tot de verschillende types ondergrondse lijnen waar een magnetisch veld groter dan een bepaalde waarde berekend werd voor verschillende werkingscapaciteiten	30
Tabel 9: B-veld (μ T) van enkele huishoudelijke elektrische apparaten	31
Tabel 10: Basisbeperkingen voor de geïnduceerde stroomdichtheden en contactstroom op een frequentie van 50 Hz	33
Tabel 11: Percentage van de jongeren (< 15 jaar) wonend in een gebied met een blootstelling door hoogspanningslijnen groter dan 0,4 μ T (Vlaanderen)	40
Tabel 12: Absoluut aantal nieuwe gevallen van lymfoïde leukemie bij kinderen (0-15 jaar) (Vlaanderen, 1999-2006)	42
Tabel 13: Magnetische fluxdichtheid in de nabijheid van elektronische bewakingssystemen in werkmilieu	43
Tabel 14: Gemiddelde waarde gemeten magnetische veld van doorwandelpoorten in grootwarenhuizen (Vlaanderen, 2006)	43
Tabel 15: Aantal zendinstallaties voor TV en radio (Vlaanderen, 2000, 2002, 2004)	48
Tabel 16: Schatting van het uitgezonden vermogen per toepassing, totaal uitgezonden vermogen, en gemiddelde uitgezonden vermogen (2002/2003, 2004/2006, 2011)	50
Tabel 17: Verdeling van de GSM- en UMTS-antennes volgens zendvermogen (België, 2010)	51
Tabel 18: (Voormalige) Belgische (en huidige Vlaamse) referentieniveaus voor mobiele telefonie	55
Tabel 19: ICNIRP-richtlijn en voormalige Belgische norm in functie voor elektromagnetische straling tussen 10 MHz en 10 GHz	58
Tabel 20: SAT-waarde i.f.v. de frequentie uitgemiddeld over het hele lichaam bij blootstelling aan een vermogendichtheid bij het referentieniveau van 20,6 V/m	62
Tabel 21: Internationale limietwaarden van de SAR voor mobiele telefoons	62
Tabel 22: INTERPHONE-studie: Relatief risico volgens cumulatief gebruik van een mobiele telefoon	65
Tabel 23: Relatief risico volgens cumulatief gebruik van een mobiele telefoon voor glioma in de Hardell-studies	66
Tabel 24: Beslissingstabel die door IARC wordt gehanteerd voor de indeling van agentia in klassen m.b.t. hun kankerverwekkend vermogen bij de mens	67
Tabel 25: Overzicht leeftijdsspecifieke incidentie hersentumoren bij kinderen (Diverse Europese landen, 1990-2007)	71
Tabel 26: UV-bestralingslimieten voor zowel beroepsbevolking als de algemene bevolking, uitgedrukt als een bestralingsdosis voor een periode van 8 uur	78
Tabel 27: Laserveiligheidsklassen volgens de vorige standaard EN 60825-1	81
Tabel 28: Nieuwe laserveiligheidsklassen volgens EN/IEC 60825-1	82

Beschrijving van de verstoring

Voorheen, toen er nog geen sprake was van milieuverstoorders, werd niet-ioniserende straling uitsluitend op een natuurlijke wijze (bliksem, zon, dynamo effect van de aarde) gegenereerd. Tegenwoordig wordt de mens echter ook dagelijks blootgesteld aan een hoeveelheid niet-ioniserende straling geproduceerd door kunstmatige bronnen o.a. zonnebanken, ICT-uitrusting en hoogspanningslijnen, waarvan de risico's nog niet duidelijk in te schatten zijn. In tegenstelling tot ioniserende straling is de fotonenergie van niet-ioniserende straling kleiner dan 12,4 elektronvolt (eV) en dus te zwak om materie te ioniseren. Het frequentiespectrum van niet-ioniserende straling strekt zich uit van 0 Hz, (de statisch elektrische en magnetische velden) tot 3 Petahertz (waar ultraviolette straling (UV) de overgang vormt naar de ioniserende straling).

Mechanismen

Elektromagnetische velden zijn afkomstig van elektrische ladingen op geleiders. Rond elke elektrische lading in rust heerst er een *elektrisch veld* gekarakteriseerd door de elektrische veldsterkte E (V/m). Via dit elektrisch veld kan deze lading een elektrische kracht uitoefenen op andere geladen deeltjes op een afstand van de lading. Beweegt de elektrische lading, dan ontstaat er tevens een *magnetisch veld* met een veldsterkte H (A/m), een magnetische fluxdichtheid of magnetisch inductieveld B [Tesla of T]. Men spreekt respectievelijk van een elektromagnetisch veld en een elektromagnetische kracht. Ondergaat de elektrische lading een versnelling, dan zal dit elektromagnetisch veld zich voortplanten en ontstaan er *elektromagnetische golven* (EM-golven). Zowel voor extreem lage frequente (ELF)-, radiofrequente (RF)- als microgolven geldt dat een EM-golf bestaat uit een elektrische (E) en een magnetische component (H) die beiden een grootte (sterkte) en een richting hebben. Het voortplantingseffect ontstaat doordat elk veranderend elektrisch veld een variërend magnetisch veld opwekt, dat op zijn beurt weer een elektrisch veld veroorzaakt, enz.. De beweging van de lading verandert meestal sinusoidaal in de tijd met een bepaalde frequentie f [Hertz of Hz] en een golflengte λ [m]¹. Volgende grootheden zijn essentieel bij het bepalen van de blootstelling aan elektromagnetische velden:

- *stralingsfluxdichtheid p of s , ook vaak vermogendichtheid (power density) genoemd*: de hoeveelheid elektromagnetische energie die per tijdseenheid passeert door een oppervlakte-eenheid (W/m^2);
- *elektrische stroomdichtheid J* : de elektrische stroom die door een oppervlakte-eenheid vloeit en bijvoorbeeld geïnduceerd wordt in biologische weefsels bij een invallend elektromagnetisch veld (A/m^2);
- *elektrische contactstroom*: de totale elektrische stroom die door een lichaamsdeel vloeit bij contact met een elektrisch geleidend voorwerp (A);
- *geabsorbeerd dosistempo per massa-eenheid SAR (Specific Absorption Rate) of SAT (specifiek absorptietempo)*: de hoeveelheid elektromagnetische energie die per seconde en per eenheid massa wordt geabsorbeerd en (doorgaans volledig) omgezet wordt in warmte. De SAR is afhankelijk van de stralingsbron, het blootgestelde subject (of object) en de onderlinge configuratie (W/kg).

Verder geldt dat in het elektromagnetisch veld rond een bron er een onderscheid is tussen het *nabije-veld* en het *verre-veld*. In het verre-veld van de bron zijn magnetisch en elektrisch veld met elkaar gekoppeld. De verhouding van de magnitude van het elektrisch veld tot de magnitude van het magnetisch veld is een constante, de intrinsieke impedantie van het homogene medium waarin de elektromagnetische golf zich voortplant (voor de vrije ruimte is dit 377 Ohm). Het elektrisch en magnetisch veld zijn onderling loodrecht geïntendeerd, en staan beiden loodrecht op de propagatierichting van de golf. De afstand tot het middelpunt van de bron vanaf waar deze verre-veld eigenschappen gelden, hangt af van de grootte van de bron en van de golflengte van de elektromagnetische golven in het medium. In het verre-

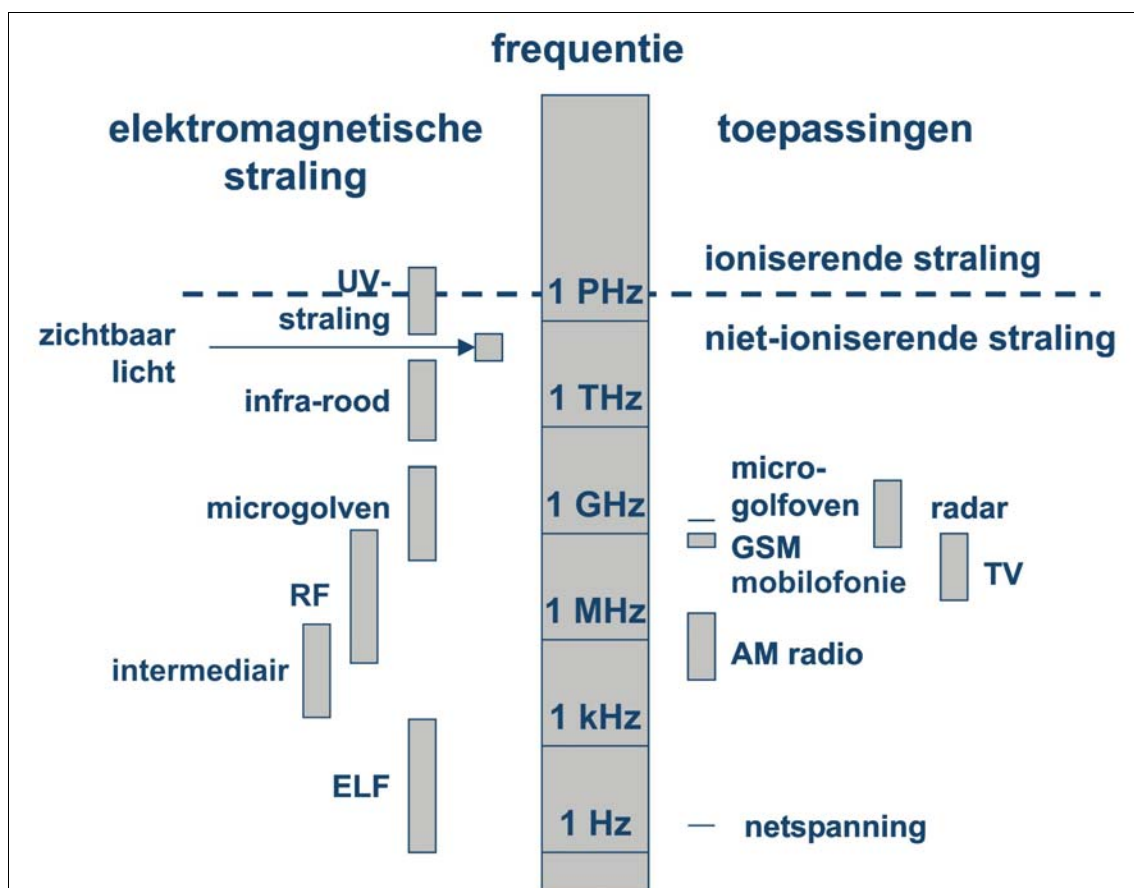
¹ De frequentie geeft het aantal golven aan dat per seconde een vast punt in de ruimte passeert. De golflengte geeft de afstand weer tussen twee opeenvolgende toppen van de golf.

veld kan de propagerende golf lokaal als een vlakke golf beschouwd worden, en kan de vermogendichtheid² (door een oppervlak loodrecht op de propagatierichting) berekend worden als $p = E \times H$ (met E resp. H de grootte van het elektrisch, resp. magnetisch veld). Het elektrisch veld zal in de vrije ruimte dan omgekeerd evenredig met de afstand afnemen, terwijl de vermogendichtheid dan omgekeerd evenredig met de afstand in het kwadraat afneemt. In het nabije-veld is het verband tussen elektrisch en magnetisch veld veel complexer. Zo geldt niet langer dat de verhouding tussen de grootte van het elektrisch en magnetisch veld constant is, noch dat de vermogendichtheid (in de propagatierichting) uit de sterkte van het elektrisch en magnetisch veld kan berekend worden.

Het elektromagnetisch frequentiespectrum

Het *elektromagnetisch frequentiespectrum* is een rangschikking van elektromagnetische velden/straling naar frequentie (Figuur 1), het omvat een gebied van ioniserende en niet-ioniserende straling. *Niet-ioniserende straling* is dat deel van het elektromagnetisch spectrum dat frequenties f kleiner dan ongeveer 3 PHz (fotonenergie is 12,4 elektronvolt (eV)) bezit en waar het meestal gaat om onnatuurlijke (mens-geproduceerde) ELF-velden (extreem lage frequentie), RF (radiofrequentie) en microgolven. De quantumenergie van deze elektromagnetische velden is te zwak om de atomen in de absorberende massa te ioniseren.

Figuur 1: Het elektromagnetisch spectrum



Bron: Vakgroep Informatietechnologie, UGent (2005)

² Voor blootstelling in het verre-veld aan GSM-straling worden zowel de elektrisch veldsterkte als de vermogendichtheid gebruikt. De relatie tussen het E-veld (E , in V/m) en de vermogendichtheid (S , in W/m^2) wordt dan in het verre-veld en in de vrije ruimte gegeven door: $E_{(V/m)} = (377 \cdot S_{(W/m^2)})^{1/2}$; $S_{(W/m^2)} = (E_{(V/m)})^2 / 377$. Soms wordt voor vermogendichtheid ook de eenheid mW/cm^2 : $1 W/m^2 = 0,1 mW/cm^2$.

Ondanks de alomtegenwoordigheid van de niet-ioniserende straling, zijn de gevolgen voor de mens nog onduidelijk. Een samenvattend overzicht van de grootheden en hun eenheden die verder gebruikt worden in dit hoofdstuk vindt u in Tabel 1.

Tabel 1: Overzicht van de gebruikte grootheden en hun eenheden

symbool grootheid	grootheid	symbool eenheid	eenheid
E	elektrische veldsterkte	V/m	Volt per meter
H	magnetische veldsterkte	A/m	Ampère per meter
B	magnetische fluxdichtheid	T	Tesla
p/s	stralingsfluxdichtheid of vermogendichtheid	W/m ²	Watt per vierkante meter
Z ₀	impedantie in vrije ruimte	Ω	Ohm
J	elektrische stroomdichtheid	A/m ²	Ampère per vierkante meter
SAT	specifiek absorptietempo	W/kg	Watt per kg
F	frequentie	Hz	Hertz
λ	golflengte	m	Meter
	vermogen	W	Watt
	bestralingsdosis	J/m ²	Joule per vierkante meter

Hier maken we onderscheid tussen de extreem-lage frequenties (ELF), de intermediaire frequenties (IF), de radiofrequente straling (RF) en ultraviolette en infrarode straling (resp. UV en IR).

Elektromagnetisch veld versus elektromagnetische straling

Het is vaak verwarrend dat de ene keer gesproken wordt van *elektromagnetisch veld* (EM-veld) en de andere keer van *elektromagnetische straling* (EM-straling). Wanneer het elektrisch en magnetisch veld gekoppeld zijn zoals in het verre veld waar de verhouding tussen de amplitude van het elektrisch veld en het magnetisch veld steeds constant is (377 ohm) of waar de golflengte klein is t.o.v. de radiale afstand tot de bron spreekt men van EM-straling. Is de amplitude van beide velden niet meer zodanig gekoppeld dat de verhouding constant is, zoals in het nabije veld waar de golflengte groot is t.o.v. de afstand tot de bron, spreekt men meestal van een elektrisch veld of een magnetisch veld.

Ruwweg worden de EM-golven die door gelijkspanningsbronnen, hoogspanningslijnen en alle elektrische huishoudelijke of industriële apparaten geproduceerd worden, beschouwd als EM-velden (ELF of extreem lage frequenties). Terwijl alle EM-golven in het radio-frequentiegebied (RF), in het microgolfg gebied en golven met een nog hogere frequentie, beschouwd worden als EM-straling. De intermediaire frequenties zijn de frequenties *grosso modo* gelegen tussen de ELF-velden en de RF-straling. Afhankelijk van de frequentie zullen deze dus de eigenschappen hebben van EM-velden of EM-straling.

De boven- en ondergrondse hoogspanningslijnen en alle elektrische huishoudelijke, industriële en andere toestellen zijn de belangrijkste *bronnen* die EM-velden onder vorm van elektrische en magnetische velden in de vrije ruimte genereren. De bronnen die energie onder vorm van EM-straling vrijgeven zijn telecommunicatiezenders, radio- en televisiezenders, radarinstallaties en bewakingsapparatuur. De EM-straling waarrond vandaag de grootste bekommernis rond gezondheidsrisico's bestaat, wordt gegenereerd door de zendantennes van de mobiele telefonie (900 en 1 800 MHz GSM) en de GSM-telefoons. Electrosmog is de algemene term die de elektromagnetische verstoringen van onze leefomgeving het best omschrijft.

Het grote verschil tussen ELF- (1 Hz – 300 Hz), intermediaire frequenties (300 Hz – 3 MHz), RF- (300 Hz – 300 GHz) en microgolven (300 MHz – 300 GHz) schuilt in de frequentie van de golven. Omdat de frequentie enerzijds omgekeerd evenredig is met de golflengte en de penetratie-indringdiepte in materies (bv. biologisch weefsel) en anderzijds recht evenredig is met de energie zullen respectievelijk het veldkarakter (afstand *r* tot bron i.f.v. nabije en verre veld), de energiedepositie en de indringdiepte sterk van elkaar verschillen. Hieruit volgt dat

blootstelling van mens, dier en plant aan verschillende EM-golftypes verschillend inwerken en verschillend benaderd moeten worden zowel voor het meten als het evalueren van de effecten.

1 Extreem-lage frequenties (ELF)

1.1 Bronnen van extreem lage frequentie

1.1.1 *Elektrische energieproductie en -transport (150 kV tot 380 kV)*

Elektriciteitstransport benut de lage frequentie van 50 Hz (60 Hz in de Verenigde Staten) die in het jargon vaak ELF wordt genoemd. De spanningen op de lijnen veroorzaken elektrische velden en de stromen de magnetische velden. De grootte van het magnetisch veld hangt samen met het wisselende elektriciteitsgebruik. De grootste velden vindt men onder het transport- en koppelnet, die werken op een hoogspanning van 70, 150, 220 en 380 kV. In België wordt het hoogspanningsnet beheert door Elia.

Recente evoluties binnen dit elektriciteitsnet is de groei van de gedecentraliseerde hernieuwbare energieproductie (zonnepanelen, windmolens ...) Een zonnepaneel of PV-paneel ('Photo-Voltaic') is een paneel dat zonne-energie omzet in elektriciteit. Sommige zonnepanelen worden via een inverter aan het elektriciteitsnet gekoppeld en sluizen de energie die niet wordt gebruikt door naar het energiebedrijf via het elektriciteitsnetwerk, dit zijn netgekoppelde decentrale opwekkers. Als gevolg van de recente staatsubsidies werden zonnepanelen vooral in 2010 massaal geïnstalleerd zowel op daken van bedrijven als op daken van particuliere woningen. Ook windmolens wekken decentraal hernieuwbare energie op. Ze worden niet alleen op land maar ook op zee ('off-shore' windmolenparken) aangelegd. Zon en wind geven echter een zeer variabele en weinig voorspelbare stroomproductie. Bij veel zon of veel wind kan deze energieproductie tijdelijk zorgen voor piekbelastingen op het distributienet. Als mogelijke oplossing voor het niet constant beschikbaar zijn van de opgewekte hernieuwbare energie worden 'smart grids' voorgesteld. Dit zijn intelligent elektriciteitsdistributienetwerken die de vraag en het aanbod beter op elkaar zouden afstemmen (bv. elektriciteit uit woonwijk A waar het zonnig en winderig is doorsluizen naar woonwijk B met naburig windmolenpark waar het op dat moment bewolkt en windstil is).

1.1.2 *Elektrische apparatuur*

Ieder elektrisch apparaat dat onder spanning staat (stekker steekt in stopcontact en apparaat werkt niet) produceert een elektrisch veld. Vanaf het ogenblik dat het apparaat in werking gesteld wordt genereert de doorvloeiende stroom een magnetisch veld. Dus, vanaf het ogenblik dat een elektrisch apparaat in werking gesteld wordt, wordt de mens (of gelijk welk ander object) die in de omgeving van dit apparaat staat tegelijk blootgesteld aan een ELF elektrisch en een magnetisch veld. Omdat beide velden niet eenvoudig gecorreleerd zijn, gaan ze apart ageren en moeten ze apart gemeten worden.

1.1.3 *Natuurlijke bronnen*

De statisch elektrische en magnetische velden die op natuurlijke wijze geproduceerd worden zijn vrijwel de belangrijkste natuurlijke ELF-wisselspanningsvelden. Het natuurlijk statisch elektrisch en magnetisch veld waaraan de mens in onze streken continu blootgesteld wordt bedraagt respectievelijk 130 V/m en 40 μ T, in de poolstreken ligt dit bij 70 à 75 μ T. Het statisch elektrisch veld wordt opgewekt door het spanningsveld (richting aarde) dat bestaat tussen de positief geladen ionosfeer en het negatief geladen aardoppervlak. Bij bliksemschichten kan de veldsterkte oplopen tot 20 kV/m. Het natuurlijk statisch magnetisch veld is een gevolg van de beweging van de aardkern t.o.v. de aardmantel.

De natuurlijke achtergrondsterkte van de 'alternating current' (AC) elektromagnetische velden zoals ELF (30 – 300 Hz), RF (300 Hz – 300 GHz), microgolven (300 MHz – 300 GHz) zijn te verwaarlozen: het natuurlijk 50 Hz elektrisch en magnetisch veld bedragen respectievelijk 10^4 V/m en 10^{-6} μ T.

1.1.4 Ouderlinge verhouding tussen de verschillende bronnen

In het algemeen produceren hoogspanningslijnen relatief sterke elektrische en magnetische velden terwijl de meeste apparaten, toestellen of machines voor huishoudelijk, industrieel of ander gebruik, zwakke elektrische en sterke magnetische velden genereren. In tegenstelling tot de natuurlijke gelijkspanningsvelden (in onze gebieden 130 V/m en 40 μ T voor respectievelijk het 'direct current' (DC) elektrisch en DC magnetisch veld) is de sterkte van de natuurlijke wisselspanningsvelden zoals ELF velden te verwaarlozen.

1.2 Ruimtelijk perspectief

Omdat leven zonder elektriciteit ondenkbaar is, kan men stellen dat waar de mens in de bewoonde wereld ook gaat of staat hij blootgesteld is aan ELF elektrische en/of magnetische velden. In ieder huis worden elektromagnetische velden opgewekt door huishoudapparaten. In bedrijven met elektrische motoren, machines voor elektrisch lassen, microgolfinstallaties enz., kunnen sterke elektromagnetische velden aanwezig zijn. Voor deze klasse van bronnen blijven de velden *lokaal* aanwezig in de huizen en bedrijven, maar het veldniveau kan sterk variëren van plaats tot plaats en in de tijd, afhankelijk van het gebruik van het toestel.

Bronnen *in de open ruimte* zijn hoogspanningslijnen. De hoogspanningslijnen genereren 50 Hz-velden, de andere bronnen RF- en/of microgolven. Aangezien de golflengte bij 50 Hz zeer groot is, bevinden we ons onder een hoogspanningsleiding steeds in een nabije-veld. Hierin zijn de amplitudes van het elektrisch (E-veld) en magnetisch veld (H-veld) uit fase (E/H verschillend van 377 Ω). Waardoor de ene veldcomponent niet uit de andere kan berekend worden.

1.3 Impact op de natuur

Ook al werd dit in sommige rapporten gesuggereerd werden er geen negatieve effecten op vee grazend onder hoogspanningslijnen teruggevonden. Toch zijn er enkele merkwaardige waarnemingen gedaan die echter verdere studie en bevestiging vereisen. Zo zou rustend en grazend vee de neiging vertonen zich te oriënteren volgens het geomagnetisch veld (Noord-Zuid richting). Waarmee ze dat doen is niet gekend. Nu blijkt echter dat magnetische velden die door hoogspanningslijnen worden gegenereerd die oriëntatiepatronen verstoren (Burda et al., 2009). Deze verstoring leek met de afstand tot de geleiders af te nemen. Als dit bevestigd wordt betekent deze reactie t.o.v. zwakke elektromagnetische velden dat er ook effecten moeten bestaan op cellulair en moleculair niveau.

De enige biologische gevolgen die niet ter discussie staan, zijn waargenomen bij *bijen*. Wanneer een bijenkorf, gemaakt van elektrisch geleidend materiaal, dicht bij een sterk elektrisch veld staat, is het gedrag van deze dieren totaal abnormaal. Over het algemeen is het plaatsen van een eenvoudig geaard metalen scherm voldoende om de normale toestand te herstellen. *Niet-geaarde geleiders* die in het elektrisch veld van hoogspanningslijnen staan, kunnen elektrische geladen worden en hierdoor dieren die met het voorwerp in aanraking komen, verwonden.

Mariene organismen zijn niet alleen aan het natuurlijk magnetisch veld van de aarde blootgesteld. Daarnaast is er ook een bijkomend natuurlijk elektrisch veld veroorzaakt door de zeestromingen. Bepaalde mariene organismen zoals *haaien, roggen en katvis*, gebruiken electroreceptieve organen voor oriëntatie en prooidetectie. De door de mens aan het leefmilieu toegevoegde ELF-bronnen op dit leefmilieu zoals onderzeese elektriciteitskabels lijken geen substantiële gedragswijzigingen of biologische effecten te veroorzaken (Warnke, 1993; ICNIRP, 2000).

Uitvoerige experimenten hebben geen gevolgen van de normaal teruggevonden velden van hoogspanningsleidingen voor *planten* kunnen aantonen. Bij uitzonderlijk hoge elektrische velden (boven de ICNIRP richtlijnen ter bescherming van de mens) kunnen ontladingen naar de toppen van de bladeren schade toebrengen aan bomen. Deze elektrische velden komen enkel voor dichtbij geleiders van hoogspanningslijnen die onder heel hoge spanning staan.

2 Intermediaire frequenties

Frequenties die zowat tussen de radiofrequente straling en de extreem lage frequenties liggen, worden soms ook aangeduid als *intermediaire frequenties of middenfrequenties*. Er zijn verschillende definities voor deze frequenties in omloop. Soms wordt als afbakening van de intermediaire frequenties 300 Hz en 10 MHz gebruikt. In dit document echter worden de frequenties tussen 3 kHz en 3 MHz als intermediaire frequenties behandeld.

Er is een hele reeks van toepassingen die deze frequenties gebruiken zoals anti-diefstal en identificatiesystemen, bepaalde radarsystemen, en metaaldetectiesystemen (wapen-opsporing) ...

3 Radiofrequente straling en microgolfstraling

3.1 Bronnen van radiofrequente straling

3.1.1 Telecommunicatie

Eerst wordt de sterk groeiende sector van de *mobiele telecommunicatie* besproken. De emissie van de elektromagnetische velden bij mobilofonie is afkomstig van de basisstations van de operatoren en van het gsm-toestellen van de gebruikers.

Sedert 1999 worden nog enkel digitale zendsystemen voor publieke mobilofonie gebruikt. We bespreken de volgende digitale systemen:

- GSM900 (Global System for Mobile Communications) is in België in gebruik sinds 1994 en werkt met zendsignalen in de frequentiebanden 890 - 915 MHz voor het GSM-toestel en 935 - 960 MHz voor het basisstation. E-GSM (Enhanced GSM) gebruikt de frequentiebanden 880 – 890 MHz voor het GSM-toestel en 925 – 935 MHz voor het basisstation.
- GSM1800 (soms DCS1800, Digital Cellular System, genoemd) met frequentiebanden 1 710 – 1 785 MHz voor het GSM-toestel en 1 805 – 1 880 MHz voor het basisstation.
- UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) gebruikt de frequentieband 1 920 – 1 980 MHz voor het GSM-toestel en 2 110 – 2 170 MHz voor het basisstation. Sinds 2004 is UMTS beschikbaar in België voor professionele klanten. Er is voornamelijk dekking in grote steden als Brussel, Antwerpen, Gent ... In 2005 werd UMTS voor het grote publiek gelanceerd.
- HSPA (High Speed Packet Access) werd sinds 2006 beschikbaar in België.
- LTE (Long term Evolution).

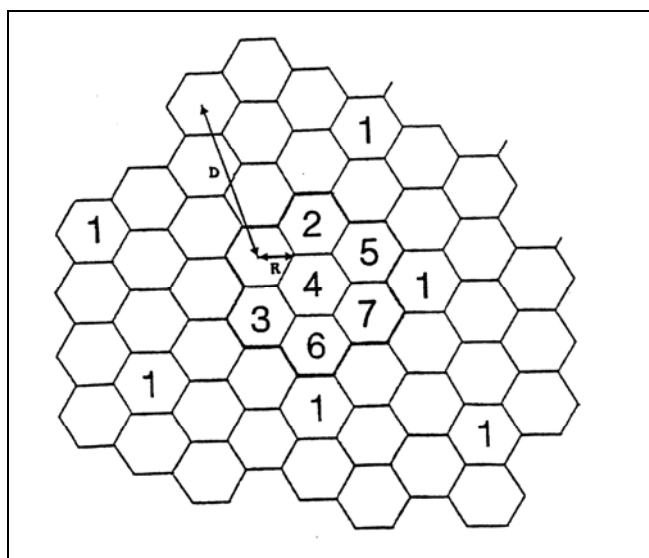
Deze digitale systemen worden aangeboden door operatoren. De vergunning voor het uitbaten van de verschillende bandbreedtes wordt bepaald door het Belgisch instituut voor Postdiensten en telecommunicatie (BIPT). In 2011 wordt een veiling georganiseerd voor een 4^e vergunning in de bandbreedte 900 - 1 800 MHz en voor meerdere vergunningen van de bandbreedte 2 500-2 690 MHz.

De digitale systemen delen het grondgebied op in cellen met een straal van ca. 2 à 10 km (zg. macrocellen, Figuur 2). In stedelijk gebied is de oppervlakte soms kleiner (microcellen met straal 500 m). In sommige gebouwen (zoals winkelcentra, stations, kantoorgebouwen) zijn antennes met een nog kleiner bereik geïnstalleerd (picocellen). Het uitgestraalde spitsvermogen (of piekvermogen) voor een GSM900-toestel is 2 W. De 8 W-toestellen zijn van de markt verdwenen. Iedere cel wordt door één of meer antennes van een basisstation bediend. Voor een basisstationantenne is het maximum vermogen afhankelijk van de celgrootte dat het basisstation bedient (macrocellen zullen een veel groter maximaal vermogen hebben dan picocellen), het omgevend landschap, het type antenne en de netwerkcapaciteit (het aantal gebruikers dat het basisstation tegelijk kan bedienen). Waarden van 10 tot 100 W zijn gebruikelijk voor macrocellen, terwijl voor picocellen het maximaal

vermogen kleiner dan 2 W is. Door de opsplitsing in cellen kan men zendfrequenties hergebruiken in cellen die ver van elkaar liggen. Zo maakt men maximaal gebruik van de beperkte frequentieband toegekend voor GSM. Zowel het GSM-toestel als het basisstation zullen het uitgezonden vermogen aanpassen aan de kwaliteit van de verbinding: om interferentie en batterijverbruik te minimaliseren, zal er minder vermogen uitgezonden worden voor een mobilfoon die zich dichtbij het basisstation bevindt, dan voor een gebruiker die zich ver bevindt. Bijgevolg zal het gemiddeld uitgezonden vermogen veel lager liggen dan het maximaal vermogen.

Het GSM1800-systeem is gelijkaardig aan het GSM900 systeem, maar werkt op frequenties rond 1 800 MHz. Voor GSM1800 is een dubbel zo grote frequentieband toegekend in vergelijking met GSM900. Dit betekent een verdubbelde capaciteit of een verdubbeld aantal gebruikers dat op hetzelfde ogenblik kan bellen. De celgrootte en het gebruikte vermogen bij het GSM1800-systeem (maximum spitsvermogen 1 W voor het GSM-toestel) zijn kleiner dan bij het GSM900-systeem.

Figuur 2: Het cellulair systeem voor mobiele communicatie



Het cellulair systeem voor mobilfonie werkt des te beter naarmate er meer basisstations beschikbaar komen. Dit betekent dat het aantal antennes op pylons en op bestaande structuren in het landschap van Vlaanderen toeneemt. Zoeken naar aanvaardbare locaties en gemeenschappelijk gebruik van locaties is nodig.

Belangrijk is het verschil tussen het *spitsvermogen* (of piekvermogen) en het *rms-vermogen* van het GSM-toestel. Dit laatste geeft een gemiddelde of effectieve waarde weer van een periodiek wisselend vermogen, en moet steeds worden gebruikt voor de berekening van de in het lichaam geabsorbeerde vermogens vermits in de normen steeds uitgemiddeld wordt over 6 minuten. Bij het GSM900- en het GSM1800-systeem wordt de zogenaamde tijdsmultiplexering toegepast: dit wil zeggen dat de tijd in een frequentiekanaal wordt verdeeld onder 8 telefoongesprekken of met andere woorden dat tijdens een telefoongesprek een GSM900- of GSM1800-telefoon gedurende $1/8^e$ van de tijd zendt en dat $7/8^e$ van de tijd gebruikt wordt voor de andere 7 gesprekken. Dit betekent dat we moeten rekenen met een rms-waarde van $1/8^e$ van het spitsvermogen of dus 0,25 W en 0,125 W voor het GSM900-respectievelijk het GSM1800-systeem. Wanneer een GSM-toestel gebruikt wordt voor datacommunicatie (in GPRS, General Packet Radio Service) kunnen meerdere slots tegelijk gebruikt worden en kan het gemiddeld vermogen hoger liggen dan 0,25 W.

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) verschilt voornamelijk van een GSM-signaal door het gebruik van Wideband CDMA (Code Division Multiple Access), het gebruik van een grotere signaalbandbreedte van ongeveer 5 MHz, en de frequentiebanden van

1 920 – 1 980 MHz en 2 110 – 2 170 MHz. Bij UMTS wordt bovendien het uitgezonden vermogen elke 0,67 ms aangepast (dit is 1 500 maal per seconde) binnen een bereik van 0,5 tot 3 dB. De celgrootte is meestal kleiner zijn voor UMTS dan voor GSM en vermogens van 10 tot 20 W zijn gebruikelijk voor de UMTS basisstationantennes. UMTS-kaarten zijn reeds geïntegreerd in bv. laptops voor professionele klanten. Sinds 2005 zijn de UMTS-diensten voor het grote publiek beschikbaar. Het rms-vermogen van UMTS-toestellen varieert van 125 tot 250 mW.

De meer recente systemen zijn HSPA en LTE. HSPA (High Speed Packet Access) biedt een snelle draadloze verbinding aan met een maximale downloadsnelheid van 14,4 Mbps en een uploadsnelheid van 2,0 Mbps. Begin 2008 waren er wereldwijd meer dan 160 commerciële HSPA-netwerken die meer dan een miljard afnemers bedienen. HSPA-netwerken maken het makkelijker en efficiënter om buiten kantoor te werken. Zo wordt videotelefonie bijvoorbeeld al toegepast voor het te hulp schieten bij technische problemen. Live beelden van niet werkende (machine)onderdelen worden gedeeld en collega's die ter plaatse zijn kunnen van afstand geïnstrueerd worden hoe deze te repareren.

Voor de opvolger, LTE (= Long Term Evolution) die bedoeld is om de UMTS toepassing te vervangen, worden in oktober 2011 de licenties te koop aangeboden. De GSM en UMTS-communicatiesystemen (smartphones, e-mail, internet ...) zijn begin 2011 quasi gesatureerd en het is duidelijk dat zowel het gebruik als de toepassingen zullen blijven toenemen. Daarom zullen de UMTS en ervan afgeleide HSPA-netwerken weldra niet meer volstaan. LTE zal toelaten mobiel internet overal bereikbaar te maken, ook in afgelegen gebieden waar breedband-bereikbaarheid nog niet overal verwezenlijkt of optimaal is. LTE laat toe van nagenoeg ogenblikkelijk aanzienlijk meer data over te brengen (tot 100 Mb/sec) dan bij UMTS. Zoals voor UMTS zullen er echter ook weer nieuwe frequenties en antennes nodig zijn. Er zijn twee frequentiebanden voorzien; de eerste rond 800 MHz (790-862 MHz), de tweede rond 2600 MHz (2500-2690 MHz). De emissies zouden vergelijkbaar zijn met deze van GSM- en UMTS.

Het *TETRA (Terrestrial Trunked Radio)* is eveneens een digitaal radiocommunicatienetwerk, maar is in tegenstelling tot GSM900, GSM1800 en UMTS gericht op professionele gebruikers. TETRA maakt eveneens gebruik van een cellulair netwerk en gebruikt gelijkaardige technologie als GSM-netwerken. Het maximaal piekvermogen van de mobilfoon is 3 W. Typische vermogens voor de basisstations zijn 40 W. De frequentieband die gebruikt wordt ligt rond de 400 MHz. Het ASTRID netwerk voor de hulpdiensten maakt gebruik van TETRA (frequentieband 380 – 395 MHz), terwijl de frequentieband 410 – 430 MHz gebruikt kan worden voor private toepassingen (bv. koerier- of taxibedrijven).

Het *digitale lokaal telefoniesysteem DECT (Digital European Cordless Telecommunications / Digital Enhanced Cordless Telecommunications)* werkt ook in de 1 800 MHz band maar is momenteel beperkt tot business en residentieel gebruik (de draagbare telefoon). DECT opereert meestal binnen een afstand van 300 m van het basisstation of de centrale. Het systeem gebruikt nog lagere vermogens (250 mW spitsvermogen en 10 mW rms-vermogen). We laten dit systeem dan ook buiten beschouwing.

Momenteel worden ook meer en meer internet hotspots en draadloze computernetwerken (WLAN, Wireless Local Area Network) geïnstalleerd, die gebruik maken van verschillende frequentiebanden (2,45 GHz, 3 GHz, 5 GHz en 17 GHz). De belangrijkste WLAN-producten zijn Wi-Fi (hotspot waar je met een laptop draadloos kan inloggen op internet) en Bluetooth (maakt verbinding tussen verschillende uitrustingen zoals telefoon-oortje, computer-printer, muis-printer). Binnenkort doen ook UWB-producten (Ultra-WideBand) hun intrede. 'Access points' in draadloze computernetwerken zijn de stations die data zenden en ontvangen. Omdat deze netwerken slechts een bepaalde dekking zullen bieden, is hun uitgezonden vermogen beperkt (maximaal 1 W). De WIFI/LAN hotspots kennen een groeiende populariteit en komen veelvuldig voor op publieke plaatsen en in particuliere woningen.

Andere draagbare communicatiesystemen zoals walkie-talkies en citizenband radio's opereren gewoonlijk in de gebieden van 27 tot 54 MHz, van 132 tot 174 MHz en van 403 tot 512 MHz met maximum vermogens tot 100 W.

Radiozenders sturen elektromagnetische straling met frequenties 0,18 - 1,6 MHz (AM) en 88 - 108 MHz (FM) in de ether. Typische uitgezonden vermogens voor FM-zenders zijn van de orde van enkele honderden Watt. Middengolfzenders kunnen een vermogen tot een megawatt in de ether brengen. Televisiezenders gebruiken de frequenties tussen 470 en 854 MHz. De uitgezonden vermogens van radio- en televisiezenders liggen tussen 50 en 5 000 kW ERP (Effective Radiated Power).

De krachtigste emissies van radiogolven worden opgewekt door *radar*. Radars kunnen opgedeeld worden in hoogvermogenstoestellen (zoeken en opsporen van voorwerpen voor militaire of burgerlijke doeleinden) en gemiddeld- en laagvermogenstoestellen (boot- en vliegtuignavigatie en snelheidsmeters). Opsporingsradars werken met hoge piekvermogens tot 30 GW in het 1 tot 9 GHz gebied en hebben meestal draaiende antennes, zodat het tijdsgemiddelde stralingsniveau op één plaats beperkt wordt. Toch kunnen in de omgeving van dergelijke radars hoge blootstellingen voorkomen. Radars met een gemiddeld vermogen werken typisch bij 4,5 of 9,375 GHz met maximumvermogens van 20 tot 100 kW. De straling van de meeste radars is gepulseerd. Pulsen van extreem korte duur worden uitgestuurd met een ritme van enkele honderden pulsen per seconde. Daarom is het gemiddeld uitgezonden vermogen gewoonlijk 1 000 maal lager dan het maximum vermogen. Verkeersradars gebruiken de frequenties 10 tot 30 GHz en hebben vermogens rond de 10 mW. De blootstelling van personen aan radarstraling gebeurt vooral beroepsmatig.

3.1.2 *Microgolfvermogenstoepassingen*

Naast de telecommunicatie zijn er ook thermische toepassingen waarbij de elektromagnetische golf de drager is van energie. Deze toepassingen zijn: het drogen, koken, steriliseren, pasteuriseren en vulcaniseren. De meest gebruikte uit deze reeks is de huishoudelijke *microgolfoven* die werkt bij een frequentie van 2 450 MHz en een vermogen van 600 tot 1 200 W. De lekstraling van deze ovens bedraagt gemiddeld 0,2 mW/cm² en ligt hierdoor ruim binnen de grenzen van de emissienorm van 5 mW/cm². Er bestaat geen verband tussen de intensiteit van de lekstraling en het vermogen of de prijs van de microgolfoven. Hoe kleiner echter de ovenlast waardoor er minder absorptie van microgolven en meer reflectie is, hoe groter de lekstraling. Bij een zeer kleine last (bv. opwarmen van 25 ml water) kan men zich verwachten aan een lekstralingsintensiteit van 1 mW/cm².

Naar aanleiding van een mislukte aanslag in 2009 en daaropvolgende terreurdreiging in een aantal landen werden maatregelen aangekondigd in luchthavens en andere openbare gebouwen. Vaak gaat het over de installatie van zogenaamde 'bodyscanners'. Hierbij is er discussie omdat die scanners werken op basis van X-stralen (X-stralenbackscatter- en X-stralentransmissiemethoden). Een alternatief bestaat uit scanners die werken op basis van niet-ioniserende stralen zoals millimetergolfschanners die gebruik maken van millimetergolven (golflengte =1-10 mm; frequentie = 0.03 - 0.3 THz). Aan deze straling zijn, voor zover de wetenschap dat weet, geen risico's verbonden.

THz golven zijn per definitie niet invasief. Ze hebben een lage foton energie (1 THz=4.1 meV), d.i. 10⁶x lager dan X-stralen en veroorzaken geen schadelijke foto-ionisatie in biologisch materiaal. Ze dringen door niet geleidende materialen zoals kledij, papier, hout en bakstenen wat betekent dat het bv. mogelijk is de inhoud van een briefomslag te karakteriseren. Via het gebruik van twee antennes die rond het lichaam draaien en weerkaatsing van de THz golven kan ook een 360° model van het lichaam geconstrueerd worden waardoor in de kledij verborgen objecten gevisualiseerd kunnen worden. Het unieke spectrum van vele materialen laat ook toe de chemische samenstelling van deze objecten te kennen waardoor bv. explosieven kunnen herkend worden. De energie zou slechts 1/1000^e van de energie bedragen die gebruikt wordt in cellulaire telefoontransmissie wat ook een argument is om aan te nemen dat er aan deze technologie geen gezondheidsrisico's verbonden zijn. Er dient opgemerkt te worden dat een dergelijke beeldvormingstechnologie ook al gebruikt werd in o.a. de kledingsindustrie voor het ontwerpen van perfect passende kledij (Brown, 2008). Naast actief gebruik van millimetergolven is ook passief gebruik mogelijk. Hierbij wordt de natuurlijke straling die elk voorwerp en dus ook het lichaam uitzendt gemeten.

Tenslotte zijn er de RFID en EAS applicaties (RFID = Radio frequency identification devices; EAS = Electronic Article Surveillance). Het betreft o.a. de antidiefstalsystemen in winkels en bibliotheken. De blootstelling is gering tot nagenoeg onbestaande al is bv. het winkelpersoneel wel gedurende lange tijd aan deze geringe (in principe ongevaarlijke) straling blootgesteld. Er bestaan echter zo goed als geen gegevens over mogelijke biologische effecten hiervan, precies omdat men niet verwacht dat betekenisvolle effecten mogelijk zijn en er dus zo goed als geen onderzoek op gebeurd is.

3.2 Ruimtelijk perspectief

Bronnen *in de open ruimte* zijn antennes voor satellietcommunicatie, TV- en radioverbindingen en mobiele communicatie. Bij RF- en/of microgolfantennes, zoals GSM-basisstations, hebben we een totaal andere situatie dan bij de ELF velden: bijvoorbeeld bij een basisstation van 900 MHz (0,9 GHz) met een antenne met een lengte van 2 m bevinden we ons reeds op 25 meter van de antenne in het verre-veld waar E- en H- in fase ($E/H = 377\Omega$) zijn en uit elkaar kunnen berekend worden. Een regel waar vaak tegen gezondigd wordt is dat in het verre-veld het E-veld afneemt met de straal van de afstand ($1/r$) en de vermogendichtheid (p of s) met het kwadraat van de afstand ($1/r^2$). Door een antenne wordt het vermogen ook steeds in een bepaalde richting gestuurd volgens het verre-veld antennepatroon. Aangezien hier vrij hoge vermogens worden gebruikt voor satelliet-, radio- en TV-verbindingen kunnen de veldsterktes hoog zijn in de nabijheid van de antennes. Door het richtingseffect en de hoge opstelling van de antennemasten, zullen de velden op menshoogte merkkelijk kleiner zijn, al moet dit ter plaatse worden nagegaan. Radarinstallaties worden op luchthavens en op controlecentra voor militaire doeleinden gebruikt. De vermogens van de antennes kunnen hier zeer hoog zijn, maar vermits de algemene bevolking steeds ver van de antennes verwijderd is, zal deze slechts bestraald worden door lage elektromagnetische velden. Militairen en luchtvaartpersoneel die in de buurt van antennes komen, kan wel onderhevig zijn aan hogere straling. Opnieuw moet ter plaatse de grootte van de velden waaraan het personeel wordt blootgesteld, worden nagegaan. In het kader van de aardobservatie, scant de radar ERSS (European Remote Sensing Satellite; frequentie 5 GHz) van op een hoogte van 800 km eenzelfde plek van de aarde om de 24 uur af.

Bronnen *binnenshuis* zijn basisstations, GSM-toestellen, DECT-toestellen en WLAN-antennes. Wanneer het basisstation gelokaliseerd is binnen een gebouw en ontworpen is om een beperkt gebied te bestralen spreken we van picocellen. Picocellen leveren een meer gerichte dekking dan micro- en macrocellen en worden binnen gebouwen gebruikt waar de dekking slecht is en waar er een groot aantal gebruikers is. Picocellen worden dus o.a. gebruikt om de cellulair telefonie (GSM, DECT, UMTS) in stations, kantoorgebouwen, winkelcentra en luchthavens mogelijk te maken. Ook de hoge datarates van WLAN netwerken zorgen ervoor dat het bereik van WLAN-antennes beperkt en gericht is. Het uitgezonden vermogen van antennes in dergelijke picocellen is evenwel beperkt.

3.3 Tijdsperspectief

Op het einde van de 19^e eeuw observeerde Hertz propagatie, reflectie en polarisatie van elektromagnetische golven. Hieropvolgend werd in het begin van de 20^e eeuw voor de eerste maal draadloze radiocommunicatie aangetoond, en even later de microgolven ontdekt en radarsystemen ontwikkeld. Sinds 1994 - 1995 kennen we de snelle expansie van de digitale mobiele telefonie. Steeds meer nieuwe draadloze diensten worden aangeboden, zowel op het vlak van communicatie als omroep.

De microgolfoven zag het daglicht rond 1945 en werd gepatenteerd in 1951. Ovens op industriële schaal werden in de jaren zestig ontworpen. De groei van de industriële microgolfmarkt verliep echter traag door de grote investeringskosten. Daarentegen steeg de verkoop van microgolfovens voor huishoudtoepassingen sterk in de jaren tachtig vanwege de sterke prijsdaling (Thuery, 1992).

3.4 Impact op natuur

Er werd vrij veel aandacht besteed aan de mogelijke effecten van radiofrequenties op het milieu (fauna en flora). Zo werden er met betrekking tot mobiele telefoonsystemen studies uitgevoerd op planten (mais, tuinkers, tomaten, sparren en dennen, beukenbomen, essen) zowel als op dieren zoals bijen, spinnen, vleermuizen, amfibieën, vogels (mussen, ooievaars e.a.) en runderen. De meeste van deze studies drukken echter eerder opinies uit dan dat ze wetenschappelijk robuuste elementen aanbrengen.

Zo hebben de meeste studies een vrij alarmerende toon maar vertonen ze ook te veel tekortkomingen (bv. ontoereikende veldmetingen) om conclusies (bv. de veronderstelde correlaties over dalende mussen- of ooievaarspopulatie) te kunnen trekken. Andere studies waren te beperkt om enige statistische significantie te kunnen hebben of waren ronduit voorbeelden van slecht onderzoek (fout gebruik meettoestellen, onrealistische blootstelling, te klein aantal onderzochte dieren, geen controlepopulaties of controlemetingen, enz.).

Claims dat de 'bijenverdwijnsiekte' (het verdwijnen van hele bijenpopulaties) die zowat overal ter wereld werd waargenomen, te wijten is aan straling van antennes voor mobiele telecommunicatie kunnen niet hard gemaakt worden. De studies hierover zijn vaak van een bedenkelijke kwaliteit. Daarnaast zijn er vele andere mogelijke oorzaken die niets met elektromagnetische straling te maken hebben en die veel beter gedocumenteerd en geloofwaardiger zijn. Ook de achteruitgang van het amfibieënbestand en toename van ontwikkelingsstoornissen bij amfibieën is niet nieuw. Dit fenomeen werd sinds het begin van de jaren 80 waargenomen voor de introductie van de mobiele telefonie. Alhoewel een sluitende verklaring ontbreekt zijn ziekte, habitat vernietiging, milieuverontreiniging, klimaatveranderingen m.i.v. verhoogde UV-B blootstelling, en pesticiden mogelijke oorzaken (Blauwstein & Wake (1990), Daszak et al. (1999)

Radarinstallaties kunnen het *oriëntatievermogen van vogels en andere dieren* wel verstoren omwille van de grotere uitgezonden vermogens. Zo werd bijvoorbeeld een gereduceerde vleermuizenactiviteit waargenomen in de buurt van grote luchthavens en werden elektromagnetische signalen aangewend om vleermuizen uit de buurt van windturbines te houden (Nicholls & Racey, 2009)

Wat planten betreft, tonen verschillende studies aan dat er enkel zichtbare effecten worden waargenomen bij vermogens van VHF of UGF, micro- of radiogolven die thermische effecten veroorzaakt. Zo werd bij stralingsfluxdichtheden vanaf 50 mW/m^2 het groeiproces bij korstmossen geremd (Eicher et al., 1992; Urech et al., 1996).

4 Ultraviolette en infrarode straling

Ultraviolette (UV) en infrarode (IR) straling begrenzen het voor ons zichtbare deel van het elektromagnetisch spectrum en kunnen dus niet als dusdanig door het menselijk oog waargenomen worden. Een van de risico's bestaat erin dat hoogvermogen UV- of IR-licht het oog treft en onherstelbare schade aanricht omdat onze afweerreactie logischerwijze uitblijft. Het oog wordt immers niets gewaar tot er een gevoel van verbranding optreedt en er dus reeds weefdschade is opgetreden.

4.1 Bronnen van UV-straling en lasers

De zon is de belangrijkste natuurlijke producent van UV-straling waarbij volgens de golflengte een indeling gemaakt wordt in UV-C (100 – 280 nm), UV-B (280 – 315 nm) en UV-A (315 – 400 nm). De opkomst van zonnebanken, een gewijzigd zonnegedrag (meer buitenlandse vakantie naar warme bestemmingen) en de afbraak van de beschermende ozonlaag hebben de blootstelling van de mens aan UV-straling doen toenemen. Andere artificiële bronnen van UV-straling zijn: kwikbooglampen, halogeenlampen, fluorescentielampen, elektrische lasapparatuur, waterontsmettingsinstallaties, UV-lampen in biologische cleanrooms en toestellen voor fotochemotherapie.

Een van de spectaculairste eigenschappen van laserstraling is zijn hoge energieconcentratie wat bijgevolg een reëel gevaar kan betekenen voor mens en milieu. Lasers worden in toenemende mate gebruikt voor show-doeleinden (naast en in discotheken), voor industriële toepassingen (bv. snijden van metaal en fijne lastechnieken), voor medische toepassingen (bv. chirurgie) en als didactisch hulpmiddel (bv. laserpointer). Laserstraling beslaat een spectrum dat zich uitspreidt van het verre ultraviolet (golflengte 200 - 280 nm) tot het verre infrarood (golflengte 3 μm tot 1 mm), met daartussen het voor ons zichtbare licht. De golflengten van lasers zijn dus doorgaans van de grootteorde van de micrometer, en de uitgezonden vermogens zijn veranderlijk volgens het model en de werkingsvoorwaarden. Lasers kunnen met pulsen of continu werken. Vermogens variëren van enkele honderden microwatt bij oogchirurgie tot enkele honderden kilowatt bij industriële lasers waarbij spitsvermogens tot meerdere gigawatts kunnen voorkomen.

4.2 Verbanden met andere thema's

Hoewel op dit ogenblik de gevolgen van UV-straling redelijk onder controle kunnen worden gehouden (door bijvoorbeeld excessieve blootstelling aan UV-bronnen te vermijden) zorgen de aantasting van de ozonlaag en de fotochemische luchtverontreiniging voor toenemende risico's. (zie achtergronddocumenten Fotochemische luchtverontreiniging en Aantasting van de ozonlaag)

De hoeveelheid verschillende vervuilende stoffen of schadelijke factoren waaraan het organisme wordt blootgesteld, zullen samen met een aantal andere factoren (bv. erfelijkheid) de wisselwerking met biologische weefsels bepalen. Het is dus niet verwonderlijk dat de invloed van elektromagnetische golven gekoppeld kan zijn aan andere milieu-invloeden. Zo treden allergische reacties met UV-bestraling op wanneer er bepaalde stoffen in de huid aanwezig zijn. Dit is bijvoorbeeld het geval bij antibiotica, niet-steroïdale ontstekingsremmers, zoetstoffen, cosmetica en schimmelwerende stoffen in zepen. Ook kan het schadelijk gevolg van chemische (of fysische) stoffen bij blootstelling aan elektromagnetische velden onder bepaalde voorwaarden groter zijn.

Indicatoren

1 Extreem lage frequenties (ELF)

1.1 Bronnen van extreem lage frequenties

Het ELF elektrisch (E-veld) en magnetisch inductieveld (B-veld) worden opgewekt tijdens de productie (elektriciteitscentrales), het transport (hoogspanningslijnen) en de transformatie (spanningstransformatoren) van elektriciteit enerzijds en door alle elektrische apparaten, toestellen en machines anderzijds. De doelgroepen voor ELF, opgesplitst naar de verschillende categorieën zijn in de volgende niet-exhaustieve lijst opgenomen:

Huishoudens:

- huishoudelijke elektrische apparatuur

Energie:

- elektriciteitsproducenten
- elektriciteitstransporteurs
- verdelers van elektriciteit

Handel & diensten:

- ziekenhuizen waar behandelingen op basis van ELF-toepassingen worden uitgevoerd

Transport:

- spoorwegmaatschappijen (tractiesystemen)

1.1.1 Geografische lengte van het hoogspanningsnet

Geografische lengte van het hoogspanningsnet

Tabel 2 en Figuur 3 tonen het verloop van de geografische lengte in kilometer van het boven- en ondergrondse hoogspanningsnet in België voor de periode 1991 - 2009.

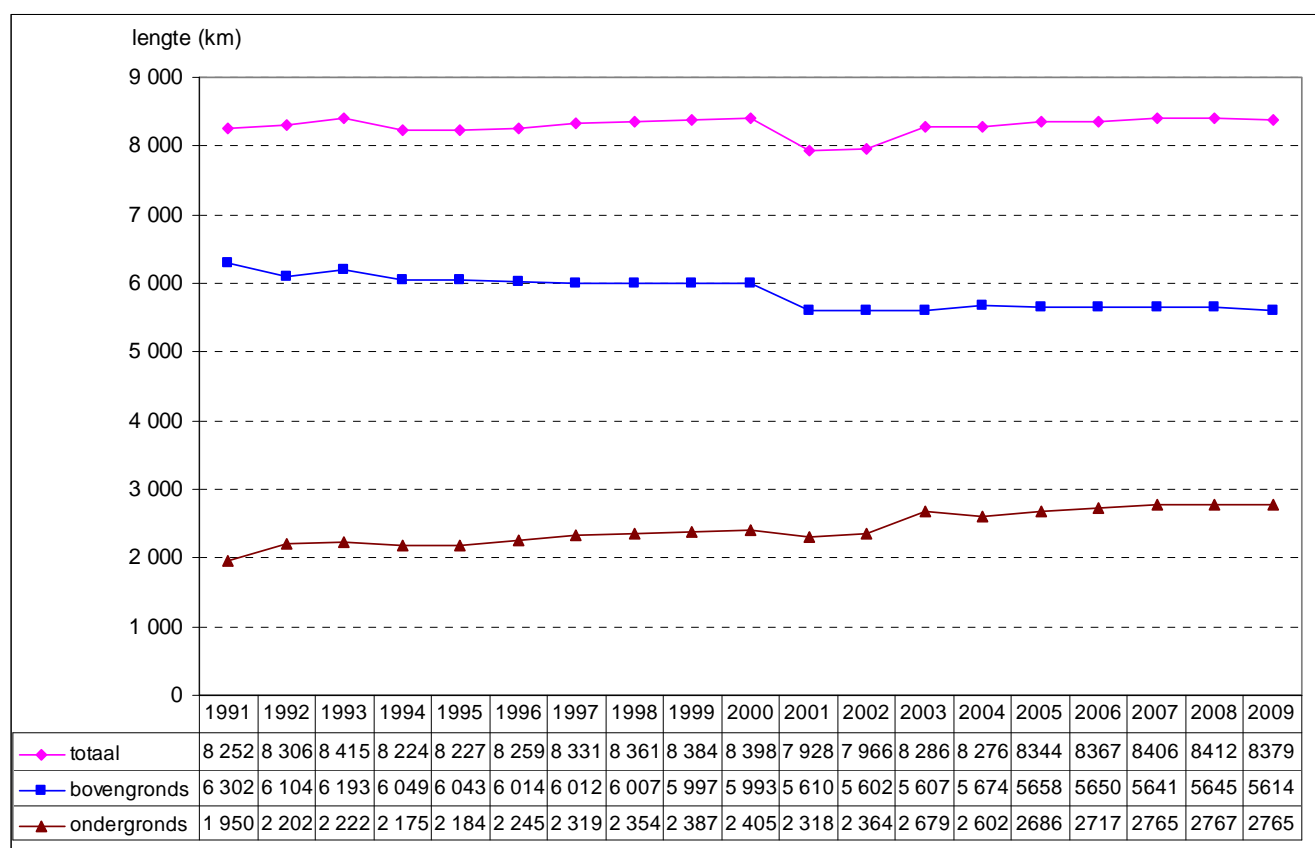
Tabel 2: Geografische lengte (km) hoogspanningsnet per type hoogspanningslijn (België, 1991-2009)

lijntype (kV)	380 (B)	220* (B)	150 (B)	150 (O)	70 (B)	70 (O)	36 (B)	36 (O)	30 (B)	30 (O)
1991	854	266	1991	119	3077	124	114	1 707	..	..
1992	854	266	2023	125	2847	127	114	1 950	..	..
1993	864	266	2030	129	2946	138	87	1 955	..	..
1994	884	266	2007	136	2812	149	80	1 890	..	..
1995	884	267	2007	141	2806	169	79	1 874	..	..
1996	884	267	2007	174	2777	169	79	1 902	..	..
1997	883	267	2003	192	2779	188	80	1 939	..	..
1998	883	267	2006	192	2772	203	79	1 959	..	..
1999	883	267	2005	211	2762	209	80	1 967	..	..
2000	883	267	2005	225	2758	210	80	1 970	..	..
2001	883	267	2005	225	2455	208	..	1 885	..	..
2002	883	267	2008	249	2444	228	..	1 887	..	..
2003	884	267	2010	282	2418	240	8	1 934	20	223
2004	890	297	2014	331	2439	189	8	1 868	26	214
2005	890	297	2012	344	2425	270	8	1 926	26	146
2006	891	297	2012	390	2415	271	8	1 915	27	141
2007	891	297	2014	410	2405	292	8	1 922	26	141
2008	891	297	2011	413	2412	282	8	1 932	26	140
2009	891	297	2008	415	2388	282	8	1 928	22	140

(B): bovengronds; (O): ondergronds; * 220 kV-lijnen komen alleen in Wallonië voor.

Bron: CPTe (1991-2000), Elia jaarverslag (2001, 2009)

Figuur 3: Geografische lengte van het hoogspanningsnet (België, 1991-2009)



Bron: CPTE (1991-2000), Operationele verslagen Elia (2000-2009)

Al vanaf 1991 is er een complete stagnatie van het 380 kV en 220 kV luchtlijnennet, sedert 1997 neemt het 70 kV luchtlijnnet stelselmatig af terwijl het ondergronds proportioneel toeneemt en tussen 2001-2005 zijn er alleen ondergrondse 36 kV-lijnen bijgekomen. Sindsdien kent deze indicator weer een vlak verloop. Van de totale lengte van het Belgisch hoogspanningsnet is gemiddeld 56 % in Vlaanderen gelokaliseerd.

1.1.2 Elektrische toestellen in huishoudens

Het gebruik van huishoudelijke elektrische toestellen veroorzaakt elektrische en magnetische ELF-velden. Veel van deze toestellen maken reeds een geruime tijd deel uit van de standaarduitrusting van een hedendaags huishouden (bv. stofzuiger, koelkast). Daarnaast zijn er echter ook meer recente toestellen die steeds vaker teruggevonden worden, zoals de microgolfoven, computer, DVD-speler, game console, digitale TV modem ... in meer en meer ruimtes van het huis. De TV bv. waarvan vroeger het enige exemplaar in de woonkamer stond, is nu vaak in meerdere exemplaren aanwezig en dit in veel kamers (slaapkamers, keuken ...). Tabel 3 geeft voor een aantal elektrische toestellen welk percentage van de gezinnen dit toestel bezit.

Tabel 3: Percentage van de gezinnen die beschikt over elektrische toestellen (Vlaanderen, 2001-2009)

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
elektrisch fornuis /kookplaat/oven	69,3	69,5	70,0	71,2	70,4	71,2	70,5	71,4	73,7
microgolfoven	79,1	81,8	82,0	86,0	88,2	86,8	88,0	90,3	89,5
vaatwasmachine	41,5	44,9	44,1	46,8	48,6	46,7	49,6	52,4	55,0
koelkast	73,9	75,6	73,9	76,1	72,8	75,8	73,7	75,2	74,2
combinatie koel-diepvries	32,6	32,9	36,8	34,9	38,8	36,3	38,4	37,3	40,7
diepvries	69,4	68,5	67,5	68,0	65,8	69,6	66,1	66,9	68,2
wasmachine	90,6	92,2	91,3	91,1	90,5	91,6	91,9	92,1	89,9
droogkast	58,6	62,0	62,5	60,7	63,3	63,4	65,9	63,9	63,9
combinatie wasmachine - droogkast	1,2	1,7	1,3	1,1	1,2	1,1	1,0	..	1,6
elektrische naaimachine	49,3	47,0	46,5	47,6	44,6	46,0	43,5	42,7	44,6
strijkijzer of -machine	95,7	96,9	95,2	95,8	93,6	95,4	94,8	94,9	94,5
stofzuiger	97,0	96,8	96,3	97,1	96,9	97,7	96,2	96,1	96,7
zonnebank	12,0	11,7	11,5	11,2	9,5	10,7	8,1	10,2	8,7
fax	15,4	16,8	13,9	14,5	15,0	13,8	13,3	12,1	11,1
televisie	95,6	97,6	96,9	97,7	96,9	96,9	96,5	97,0	97,0
videorecorder	75,3	80,4	79,4	79,9	79,1	74,6	70,5	66,0	60,5
videocamera	17,0	16,5	15,4	17,3	16,9	18,1	17,7	17,0	16,8
hifiketen	80,2	79,5	78,5	76,6	75,6	74,4	73,6	70,5	69,5
cassetterecorder	33,6	36,3	36,1	35,1	31,3	29,3	28,0	22,4	23,0
CD-speler	38,8	42,9	43,2	47,9	43,1	43,9	43,1	41,4	39,3
spelconsole voor videospelletjes	..	..	..	..	..	..	..	..	22,2
computer - PC of Mac	51,7	61,5	67,2	69,5	69,0	73,5	74,5	78,1	80,3
CD (of DVD)-lezer (en -schrijver)	..	..	51,4	56,7	58,3	61,1	61,6	60,8	62,3
CD-lezer voor PC	..	..	48,7	53,8	54,5	57,3	56,4	53,9	55,2
DVD-lezer voor PC	..	..	23,5	32,0	41,8	46,5	50,0	49,4	52,8
CD-schrijver voor PC	..	..	32,2	38,4	43,0	46,9	48,9	48,0	49,0
DVD-schrijver voor PC	..	..	5,9	13,4	25,2	33,0	39,1	41,3	45,3
CD-schrijver (niet in pc)	..	..	1,7	2,3	2,4	2,6	4,0	2,6	2,0
DVD-speler (home video)	..	..	19,2	32,5	51,4	59,7	67,1	69,2	73,5

Bron: huishoudbudget onderzoek (2001-2009)

1.2 Opwekking van extreem lage frequenties

1.2.1 Emissieveldbelasting door hoogspanningslijnen

De drukindicator van ELF is het product van de geografische lengte van het hoogspanningsnet en de emissie van het elektrisch (E) en magnetisch veld (H). Omdat er geen representatieve meet- noch rekengegevens beschikbaar zijn over het E-veld dat door het onder- en bovengronds net geproduceerd wordt, wordt verder alleen de magnetische veldbelasting (MVB) behandeld. De totale MVB voor de 70 tot 380 kV-lijnen wordt als volgt bekomen:

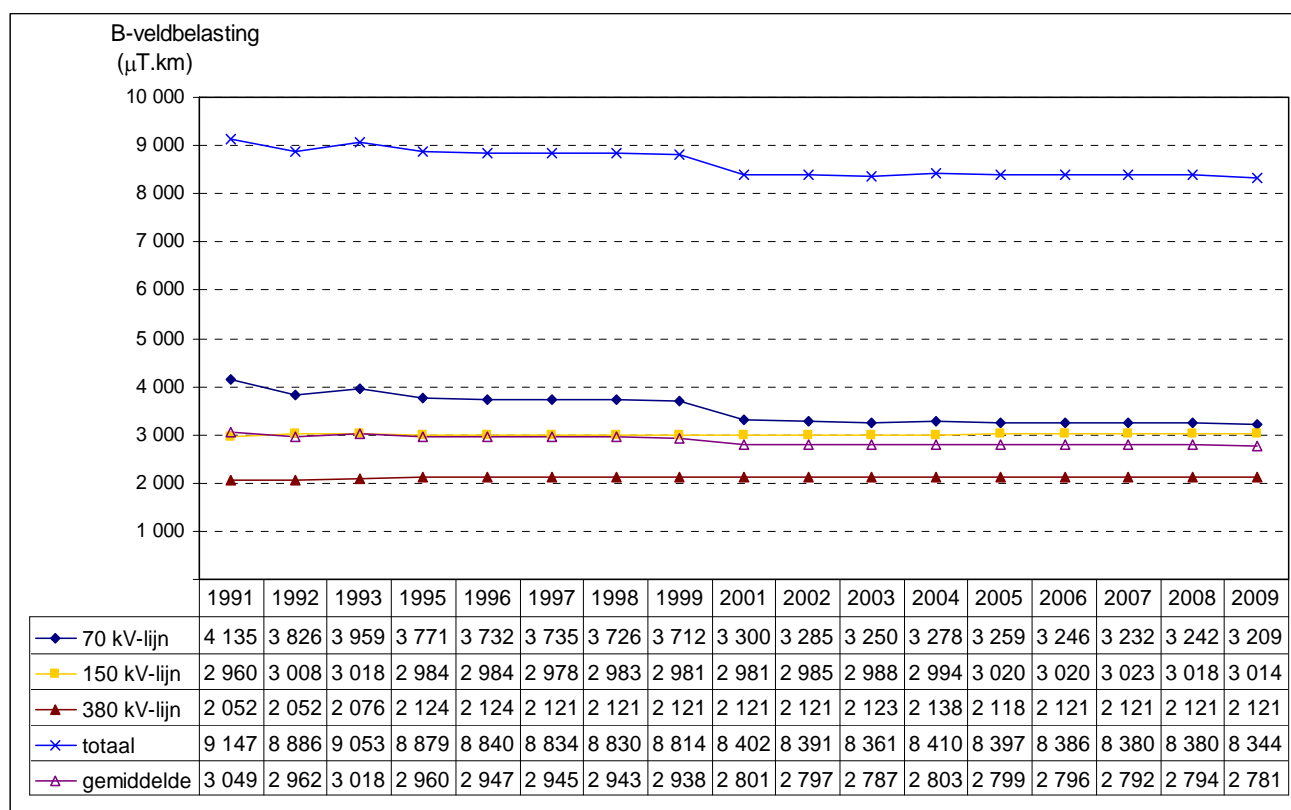
$$MVB_{(\mu T.km)} = \sum_{70kV}^{380kV} (B_{(\mu T)} \times GL_{(km)})$$

met:

- $B_{(\mu T)}$: de magnetische fluxdichtheid in microtesla
- $GL_{(km)}$: de geografische lengte van de 70 tot 380 kV hoogspanningslijnen in km.

Figuur 4 toont het verloop van de individuele, gemiddelde en totale emissiebelasting van het B-veld voor de drie betrokken luchtlijntypes in Vlaanderen.

Figuur 4: Emissiebelasting van het B-veld voor de luchtlijnen (Vlaanderen, 1991-2009)



Bron: WIV op basis van Elia

Aangezien het verloop van de geografische lengte van de 150 en de 380 kV-lijnen vrij constant blijft is het verloop van de B-veldemissie eveneens constant. De daling van het aantal bovengrondse 70 kV lijnen in 2001 laat de de B-veldbelasting van dit lijntype dalen tussen 2000 en 2002 met ongeveer 420 $\mu\text{T.km}$. Hierdoor neemt de totale emissiebelasting af van 8 800 $\mu\text{T.km}$ tot 8 391 $\mu\text{T.km}$. Daarna is er een opnieuw een vlak verloop voorzien.

Energievraag

Het verbruik van elektriciteit in de regelzone van Elia groeit sinds de jaren negentig jaarlijks met 1 % tot 3 %. In 2009 is het verbruik echter met 8 % gedaald van 88,32 TWh in 2008 tot 81,8 TWh in 2009. Deze daling is in de eerste plaats te wijten aan de economische recessie die vanaf het laatste trimester van 2008 voelbaar was (Elia, jaarverslag 2009).

Sinds 2005 is er ook een tragere groei van het afnemen van stroom van het net in vergelijking met het stroomverbruik wat mogelijk een gevolg is van de belangrijke toename van de lokale productie, warmtekrachtkoppeling en van de energieopwekking uit hernieuwbare energiebronnen zoals de wind (Elia, jaarverslag 2007).

De elektromagnetische veldsterkte van *hoogspanningslijnen* kan verminderen door:

- Gebruik van ondergrondse hoogspanningslijnen met kabels in een *metalen beschermmantel* zodat er geen elektrische velden buiten de mantel overblijven. Uit theoretische berekeningen volgt ook dat het magnetisch veld met een factor 5 kan dalen bij de beste configuratie van de kabels. Het veld is ook veel meer ruimtelijk beperkt rond de kabels. De velden worden veel groter als de fasebalans (verschil van de drie fasen ideaal 120°) van de drie draden wordt verstoord. Er blijken nog technische isolatieproblemen te zijn bij de realisatie van ondergrondse synthetische kabels boven 220 kV (Gecoli, 1992). Ook de kostprijs is veel hoger dan bij luchtlijnen. Zo kost in 1998

een luchtlijn van 150 kV met twee draadstellen 325 000 euro per lopende km terwijl twee ondergrondse kabels 1,65 miljoen euro per lopende km kosten. Een dubbel draadstel van een 380 kV luchtlijn kost ongeveer 775 000 euro per lopende km terwijl bijvoorbeeld de dubbele ondergrondse kabel ongeveer 21,25 miljoen euro per lopende km kost.

- Decentrale energieproductie (bv. gecombineerde productie van warmte en elektriciteit) zodat het transport gereduceerd kan worden.

Om het elektromagnetisch veld van *ELF-apparatuur* te beperken, dient de producent een afdoende afscherming en aarding van apparaten en installaties te voorzien en kan de consument kiezen voor energiezuinige toestellen.

1.3 Aanwezigheid van extreem lage frequenties in de omgeving

1.3.1 *Magnetisch veld rond hoogspanningslijnen*

Algemene situatie rond hoogspanningslijnen

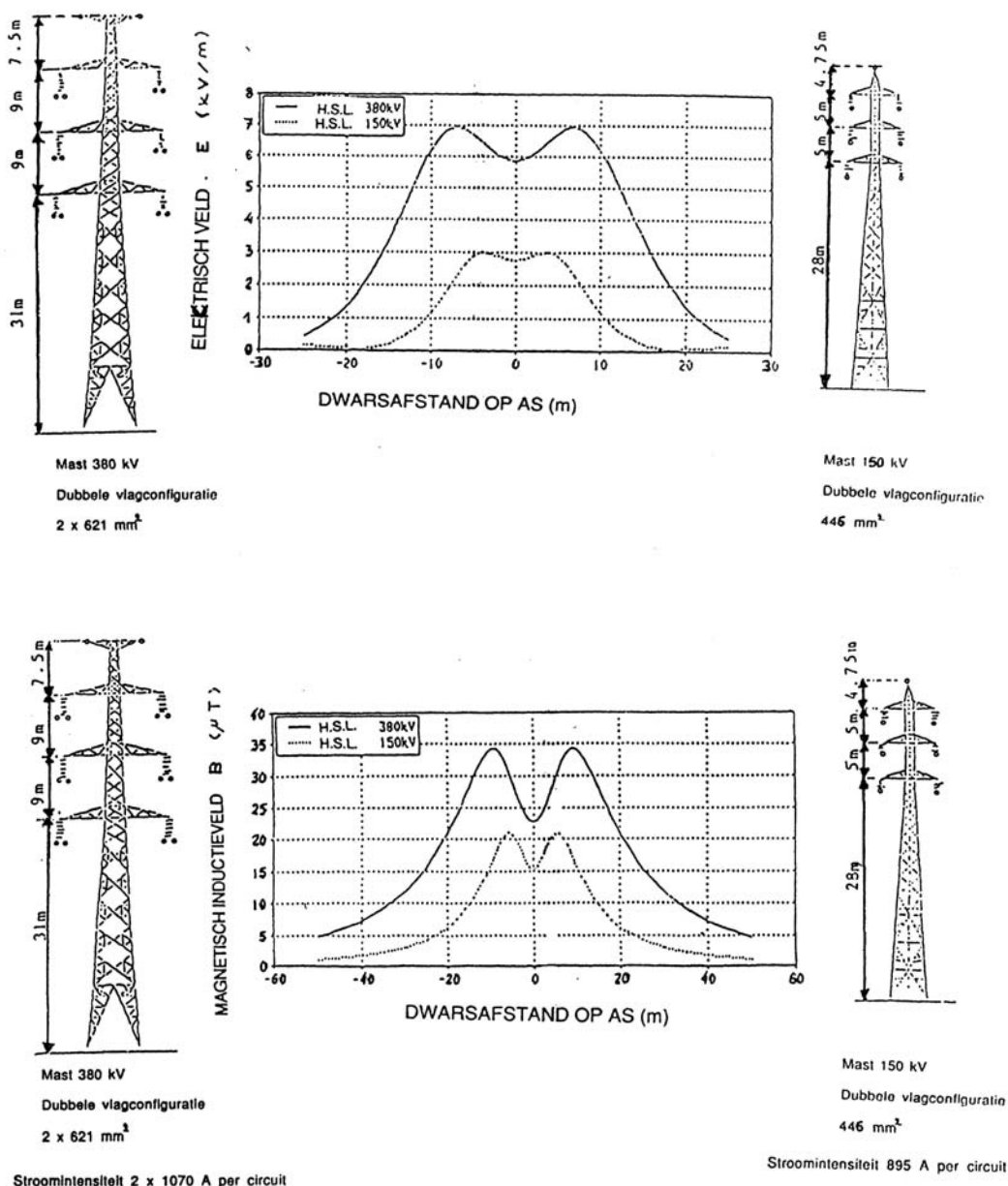
Hoogspanningslijnen creëren een magnetisch veld in de omgeving. Hieronder worden de grootte van het magnetisch veld weergegeven in:

- de omgeving van bovengrondse hoogspanningslijnen;
- de omgeving van ondergrondse hoogspanningslijnen;
- huizen die in de buurt van een hoogspanningslijn staan.

Figuur 5 geeft de veldsterkten in de buurt van een bovengrondse 150 en 380 kV/m hoogspanningslijn. Berekeningen tonen aan dat maximale elektrische velden van 7 kV/m en magnetische velden van 28 A/m ($35 \mu\text{T}^3$) onder het laagste punt van een 380 kV lijn met een normale stroomdoorvoer, kunnen waargenomen worden.

³ 1 μT = 0,8 A/m

Figuur 5: Veldverdelingen onder een 150 kV- en een 380 kV-hoogspanningslijn

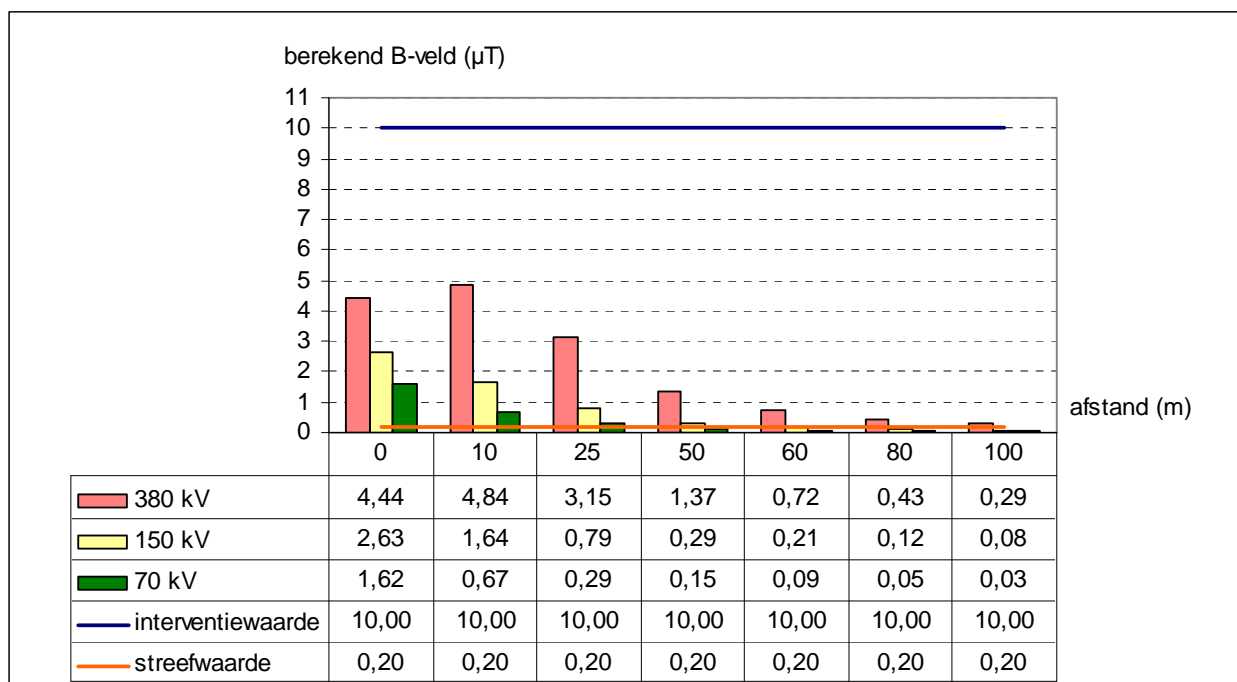


berekeningen gebaseerd op maximale stroombelasting van de respectievelijke lijnen

Bron: VITO

Figuur 6 toont de berekende sterkte van het B-veld i.f.v. de afstand tot verschillende types luchtlijnen bij gemiddelde stroombelastingen en lijnhoogtes. Enerzijds is de sterkte van het B-veld van alle luchtlijnen in Vlaanderen beduidend zwakker dan de maximaal toelaatbare waarde van $100 \mu\text{T}$ die voor de algemene bevolking in de ICNIRP-richtlijn (1998) voorgesteld wordt en de $10 \mu\text{T}$ die als interventiewaarde in het binnemilieubesluit vermeld staat. Maar anderzijds is de veldsterkte binnen een bepaalde afstand tot luchtlijnen groter dan $0,4 \mu\text{T}$, een van de waarden waarboven enkele wetenschappelijke studies een verband tussen langdurige blootstelling aan 50 Hz magnetische velden en kinderleukemie vermoeden, en de $0,2 \mu\text{T}$ die als streefwaarde in het binnemilieubesluit vermeld staat (zie 1.4.7 Kinderleukemie en blootstelling door hoogspanningslijnen in Vlaanderen). Het gebied rond een hoogspanningslijn waar het B-veld een bepaalde waarde overschrijdt, wordt ook een corridor genoemd.

Figuur 6: Berekende sterkte van het B-veld i.f.v. de afstand tot verschillende types luchtlijnen bij gemiddelde stroombelasting en lijnhoogte

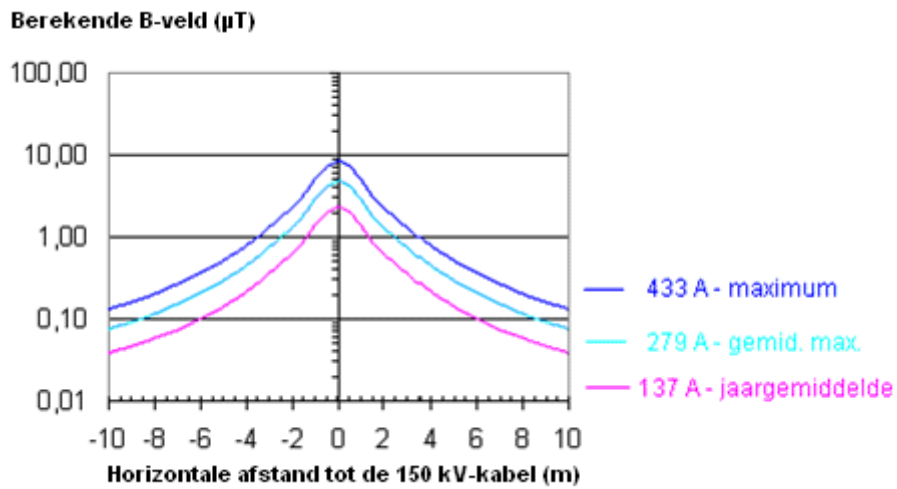


berekend voor een hoogte van 1,5 m

Bron: Decat et al. (2003)

Figuur 7 t.e.m. Figuur 9 geven het berekende magnetische veld in functie van de gemeten stroombelasting en de horizontale afstand tot de loodrechte lijnprojectie op de middelste kabel op 0 m hoogte (= grondniveau) van een 150 kV, 70kV en 36 kV ondergrondse hoogspanningskabel. Ook hier liggen de waarden onder de 100µT richtlijn van het ICNIRP en de 10 µT interventiewaarde uit het preventiedecreet maar boven de richtwaarde in het preventiedecreet. Maar anderzijds is de veldsterkte binnen een bepaalde afstand tot ondergrondse lijnen groter dan 0,4 µT, een van de waarden waarboven enkele wetenschappelijke studies een verband tussen langdurige blootstelling aan 50 Hz magnetische velden en kinderleukemie vermoeden, en de 0,2 µT die als streefwaarde in het binnenmilieubesluit vermeld staat (zie 1.4.7 Kinderleukemie en blootstelling door hoogspanningslijnen in Vlaanderen).

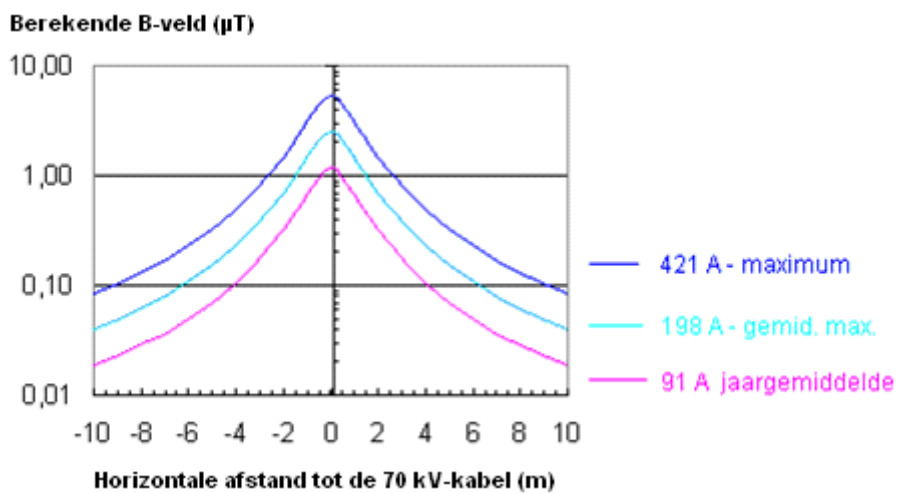
Figuur 7: Berekende B-veld t.o.v. de horizontale afstand tot een 150 kV kabel



maximum: maximale stroombelasting; gemid. max: gemiddelde jaarlijkse maximale belasting; jaargemiddelde: jaargemiddelde belasting; op basis van situatie 2003

Bron: Decat et al. (2007)

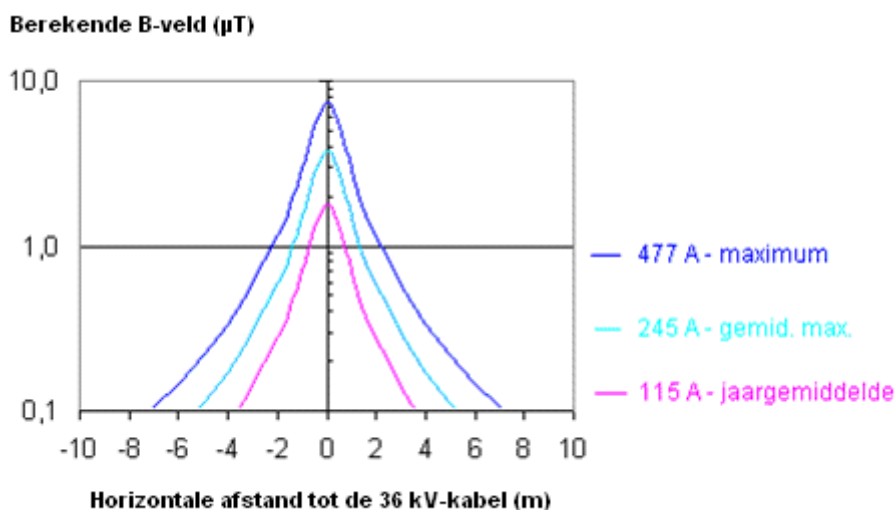
Figuur 8: Berekende B-veld t.o.v. de horizontale afstand tot een 70 kV kabel



maximum: maximale stroombelasting; gemid. max: gemiddelde jaarlijkse maximale belasting; jaargemiddelde: jaargemiddelde belasting; op basis van situatie 2003

Bron: Decat et al. (2007)

Figuur 9: Berekende B-veld t.o.v. de horizontale afstand tot een 36 kV kabel



maximum: maximale stroombelasting; gemid. max: gemiddelde jaarlijkse maximale belasting; jaargemiddelde: jaargemiddelde belasting; op basis van situatie 2003

Bron: Decat et al. (2007)

Tabel 4 geeft de statistieken die bekomen worden bij langdurige registratie van het B-veld in woningen onder de verschillende types hoogspanningslijnen.

Tabel 4: B-veld gedurende minimum 1 maand geregistreerd in woningen onder Belgische hoogspanningslijnen (2002)

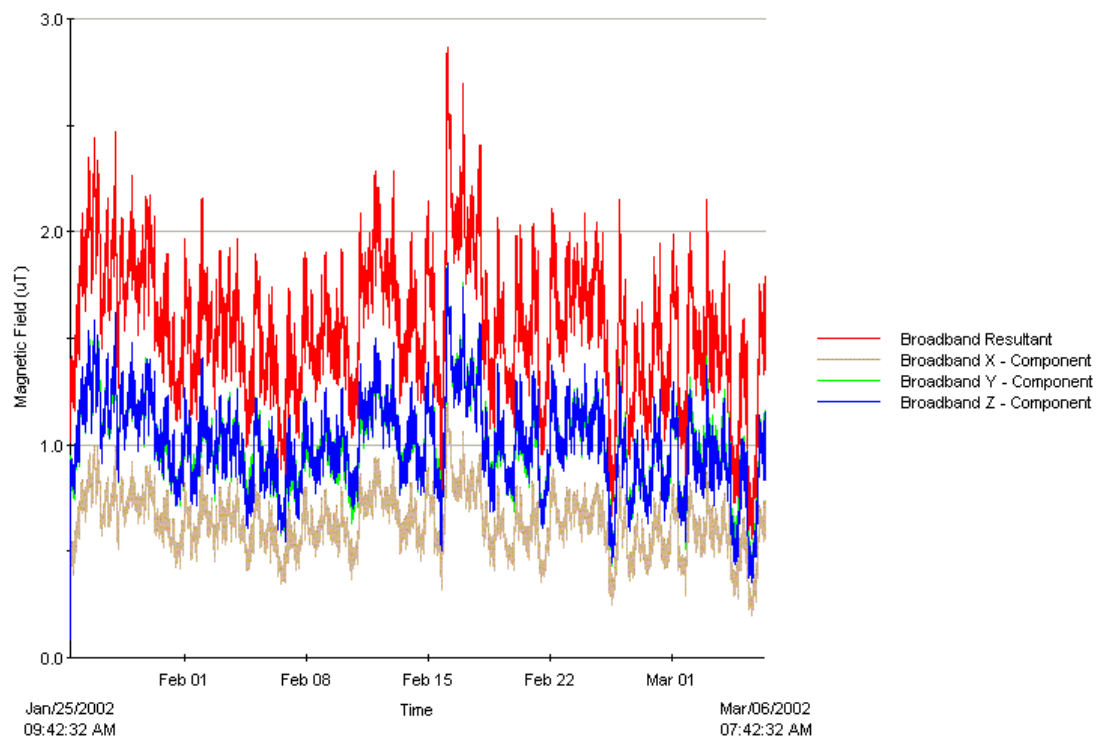
lijntype (kV)	registratieperiode van - tot	minimum (μT)	maximum (μT)	gemiddelde \pm stdev	mediaan
70	30/01/02 – 19/03/02	0,01	1,85	1,00 \pm 0,25	1,00
150	17/05/02 – 27/06/02	0,05	1,31	0,75 \pm 0,18	0,74
220	08/03/02 – 23/04/02	0,15	2,15	1,00 \pm 0,40	1,00
380	25/01/02 – 06/03/02	0,55	3,00	1,50 \pm 0,20	1,50

Bron: VITO (2002)

Omdat de hoogspanningslijnen meestal niet op hun maximale capaciteit werken is de grootste blootstelling niet altijd geassocieerd met de hoogste spanning (380 kV).

Figuur 6 toont het B-veld dat in de periode van 25/02/02 tot 06/03/02 in een woning onder een 380 kV-lijn in Vlaanderen geregistreerd werd (Decat, 2002). Door de individuele mobiliteit kan de individuele blootstelling 30 tot 50 % lager liggen dan de blootstelling in de woning onder de hoogspanningslijn waar de persoon woont (Decat, 2001).

Figuur 10: B-veld geregistreerd in een woning onder een 380 kV-lijn

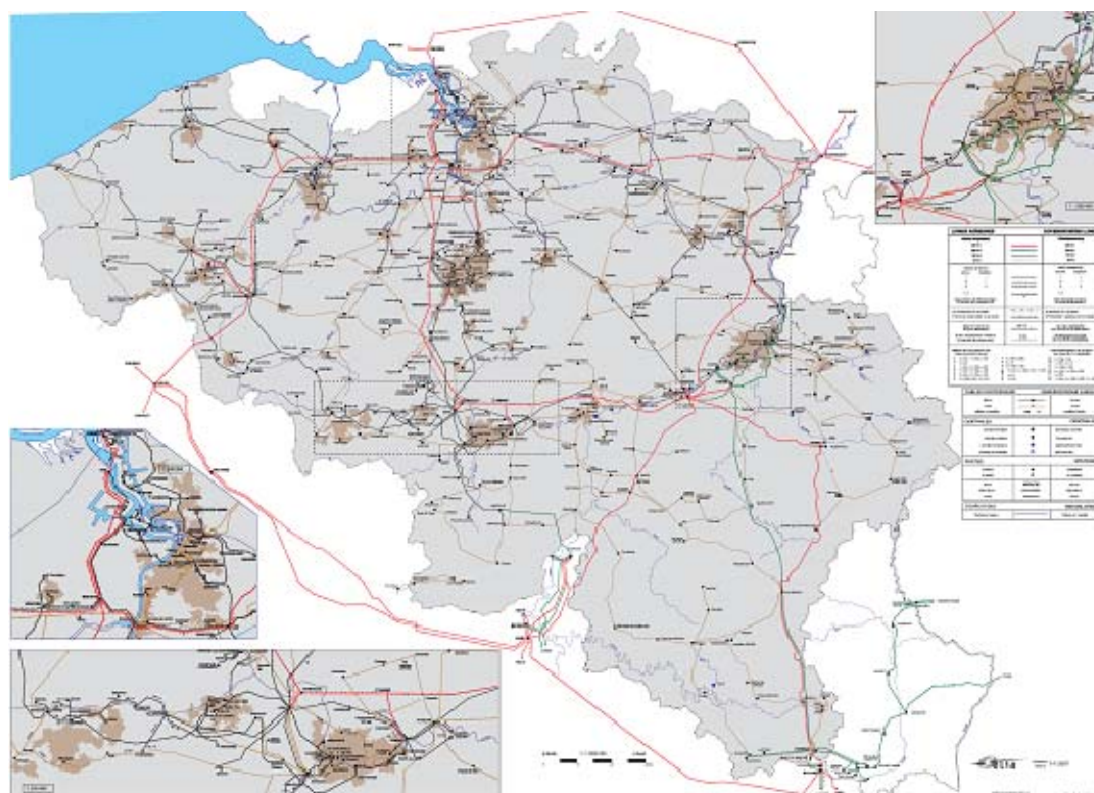


Bron: VITO (2002)

Situatie in Vlaanderen

Het hoogspanningsnetwerk in België bestaat uit zowel bovengrondse als ondergrondse lijnen. Figuur 11 geeft een overzicht van het hoogspanningsnetwerk in België. Dit netwerk wordt beheerd door het bedrijf Elia (www.elia.be).

Figuur 11: Hoogspanningsnet van België (2010)



Bron: Elia

Zoals eerder vermeld is de sterkte van het B-veld van alle luchtlijnen in Vlaanderen binnen een bepaalde afstand tot luchtlijnen groter dan de streefwaarde van $0,2 \mu\text{T}$ en groter dan waarden die uit wetenschappelijke studies tussen langdurige 50 Hz blootstelling en kinderleukemie naar voren wordt geschoven (bv. $0,4 \mu\text{T}$). Op basis van modelberekeningen kan bepaald worden in welk gebied in Vlaanderen (en Brussel) er een blootstelling is die hoger ligt dan een bepaalde waarde (bv. $0,4 \mu\text{T}$) en dit bij verschillende werkingscapaciteiten (Decat et al., 2003, 2007) (Tabel 5, Tabel 6). De corridors voor $0,4 \mu\text{T}$; $0,3 \mu\text{T}$; $0,2 \mu\text{T}$ en $0,1 \mu\text{T}$ rond het hoogspanningsnet zijn niet zo breed (tussen iets meer dan een meter en iets meer dan 100 m), maar door de lengte van het net komt de oppervlakte in een worst-case scenario voor het ondergrondse netwerk op 0,18 % van het Vlaamse en Brusselse grondgebied en voor de luchtlijnen op 0,10 % van het Vlaamse grondgebied.

Tabel 5: Geaggregeerde oppervlakte (km^2) in functie van de stroombelasting en B-veld van de bovengrondse 380 kV, 150 kV en 70 kV-luchtlijnen (Vlaanderen, 2002)

werkingscapaciteit	(B-veld) $0,4 \mu\text{T}$
25 %	3,5
50 %	7
75 %	10,5
100 %	14

Bron: Decat et al. (2003)

Tabel 6: Geaggregeerde oppervlakte (km²) in functie van stroombelasting en B-veld van de ondergrondse 150, 70 en 36 kV-lijnen (Vlaanderen en Brussel, 2006)

werkingscapaciteit	B-veld			
	0,1 μ T	0,2 μ T	0,3 μ T	0,4 μ T
25 %	6,94	5,08	4,14	3,53
30 %	8,12	5,90	4,78	4,06
50 %	12,8	9,14	7,30	6,12
75 %	18,6	13,2	10,43	8,67
100 %	24,2	17,2	13,54	11,2

Bron: Decat et al. (2007)

Om tot dit resultaat te komen werd in een GIS-model de oppervlakte van de verschillende B-veldcorridors rond het hoogspanningsnet bij elkaar opgeteld. In de volgende tabellen staan de verschillende corridors van het hoogspanningsnet (Tabel 7 en Tabel 8). De corridors zijn voor luchtlijnen tussen 9 tot 130 m breed en voor de ondergrondse lijnen tussen 1,3 m tot 21,2 m breed.

Tabel 7: Afstand tot de verschillende types luchtlijnen waar een magnetische veld groter dan 0,4 μ T berekend werd voor verschillende werkingscapaciteiten

werkingscapaciteit van de lijn	luchtlijnstype		
	70 kV	150 kV	380 kV
25 %	9	15	33
50 %	18	30	66
75 %	27	43	98
100%	36	58	130

Bron: Decat et al. (2003)

Tabel 8: Afstand tot de verschillende types ondergrondse lijnen waar een magnetisch veld groter dan een bepaalde waarde berekend werd voor verschillende werkingscapaciteiten

kabeltype	werkingscapaciteit (%)	corridorbreedte (m)			
		0,1 μ T	0,2 μ T	0,3 μ T	0,4 μ T
150 kV	100	21,2	15,2	12,2	10,2
	75	15,9	11,4	9,1	7,7
	50	10,6	7,6	6,1	5,1
	30	6,4	4,6	3,7	3,1
	25	5,3	3,8	3,0	2,6
70 kV	100	16,8	11,6	8,9	7,2
	75	12,6	8,7	6,7	5,4
	50	8,4	5,8	4,5	3,6
	30	5,0	3,5	2,7	2,2
	25	4,2	2,9	2,2	1,8
36 kV	100	12,4	8,4	6,4	5,1
	75	9,3	6,3	4,8	3,8
	50	6,2	4,2	3,2	2,5
	30	3,7	2,5	1,9	1,5
	25	3,1	2,1	1,6	1,3

Bron: Decat et al. (2007)

1.3.2 ELF magnetisch veld van huishoudelijke elektrische apparaten

Omdat de spanning (220 V) van de huishoudelijke toestellen te zwak is om een elektrisch veld van enige betekenis te genereren wordt hier enkel het magnetisch inductieveld (B-veld) behandeld. Tabel 9 geeft een overzicht van de B-veld gemeten op een afstand van 5, 30 en 50 cm van enkele huishoudelijke elektrische apparaten.

Tabel 9: B-veld (μT) van enkele huishoudelijke elektrische apparaten

apparaat	afstand tot bron					
	0-1cm	5 cm	10 cm	30 cm	50 cm	75 cm
bijzetradiator	..	5,5	..	0,4	0,2	..
broodrooster	..	5	..	0,4	0,07	..
dampkap	..	6	..	1	0,5	..
droogzwierder / droogkast	..	3	..	0,4	..	..
elektrisch fornuis	..	57	..	2,5	0,5	..
groentemixer	..	70	..	10	..	..
haardroger	..	18	..	1	0,2	..
microgolfoven	..	35	..	2,5	0,5	..
printer	..	10	..	0,16	..	..
scheerapparaat	..	6	..	0,25	0,06	..
strijkijzer	..	2	..	0,1	..	..
TV-toestel	..	0,4	..	..	..	..
				0,02	<0.1	
				40 (BG)	40	
PC-scherm	..		..	0,04	<0.1	..
		0,05				
		50				
luidsprekers	..	0.8	..	0.04	<0.1	..
AC						
DC						
koffiezetapparaat	..	0.2	..	1	0.25	..
AC/DC converter (omvormer)	..		..	0.04	0.01	..
		0.1				
		150				
radio	..	3	..	0,05	..	..
AC						
DC						
radiowekker	..	0.5	..	..	..	..
koelkast	..	..	..	..	..	0,45
elektrische vloerverwarming (bij maximale stroomtoevoer)	4,5	..	..	..	..	..
elektrisch deken	20	..	..	..	..	..
waterbed	..	..	0,05-0,02*	..	..	..
inductiefornuis**	..	..	12,5	..	<1,25	..
vaatwasmachine	..	..	..	0,6 tot 3	..	..
stereoketen	..	..	..	0,19	..	..
boormachine	..	..	..	2- 3,5	..	..
wasmachine	..	..	..	0,15-3	..	..
(elektrische) zaag	..	..	..	1 - 25	..	..
nachtlampje	..	..	..	2	..	..
gloeilamp	..	..	..	2	..	..
stofzuiger	..	..	..	2-20	..	..
energieteller	..	..	..	0,6-3,5	..	..
halogeenlamp	..	..	..	0,17	..	..
elektrische radiator	..	..	..	0,15 – 5	..	..
ventilator	..	..	..	0,03 – 4	..	..
verdeelbord	..	..	..	4-5	..	..

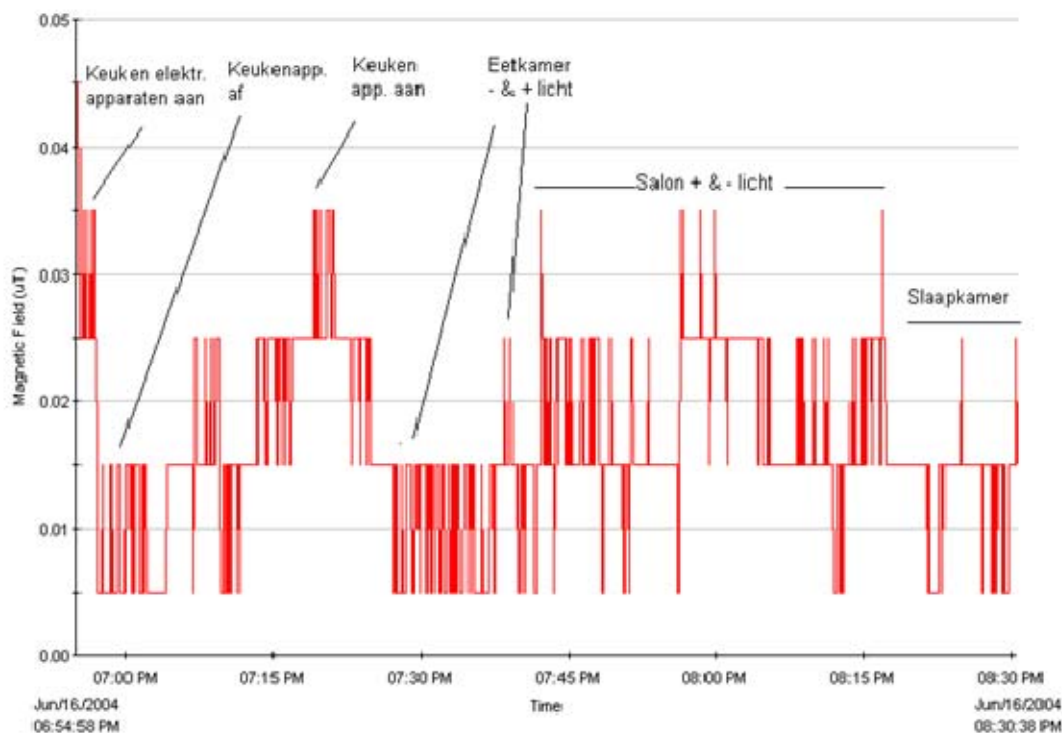
..: gegevens niet beschikbaar; BG: achtergrondniveau; AC: wisselstroom; DC: gelijkstroom; * op een afstand vergelijkbaar met de dikte van een matras; ** zowel afkomstig van netstroom als van inductievelden werking fornuis

Bron: VITO (2001), Verschaeve et al. (2004); Decat & Van Tongerloo (1998), Decat (2002); BBEMG-website

Ook de *AC-lasapparaten* die behalve in industriële milieus ook thuis bij het hobbyklussen of het maken van metalen kunstwerken of door leerlingen in het onderwijs worden gebruikt genereren sterke B-velden.

het aan en uitschakelen van elektrische apparaten in een woning wijzigt het magnetische veld in de woning. Figuur 12 toont metingen van het magnetisch veld in een woning waar verschillende apparaten worden aan en uitgeschakeld. De grootte van deze wijziging in magnetisch veld bedraagt 0,04 μT . De maximaal teruggevonden veldsterkte was in deze meting 0,05 μT .

Figuur 12: Effect van aan- en uitschakelen elektrische apparatuur op het magnetisch veld in een woning (Vlaanderen, 2004)



De woning is ver verwijderd van hoogspanningsinfrastructuur.

Bron: Verschaeve et al. (2004)

1.3.3 Limietwaarden, beleid en maatregelen

Limietwaarden elektrische velden en beleid

Aan nieuwe elektrische ELF-installaties wordt in het Ministerieel Besluit van 20-04-1988 een limietwaarde voor een ongestoord elektrisch veld opgewekt in een ongestoord regime opgelegd. De *elektrische veldsterkte* mag maximaal 5 kV/m in de woonzones of daartoe bestemde zones bedragen en 7 kV/m boven de wegen en 10 kV/m op andere plaatsen.

Voor wat de *aarding*en betreffen, wordt bepaald dat alle metalen onderdelen geaard worden die door hun aanwezigheid in het elektrisch veld op een potentiaal worden gebracht die in een bestendig (blijvend) regime een ontladingstroom geeft van 1 mA. (Ministerieel Besluit van 07 mei 1987 (B.S. van 14.05.1987)/gewijzigd bij Ministerieel Besluit van 20 april 1988 (B.S. van 06.05.1988) gewijzigd bij ministerieel besluit van 20 april 1988 (BS. Van 06.05.1988).

Als een lichaam zich in een wisselend elektrisch veld bevindt of contact maakt met een object dat onder spanning staat, kan een elektrische stroom door het lichaam stromen, de *contactstroom*. De basisbeperkingen die voor contactstroom en de geïnduceerde stroom voor een 50 Hz veld (CENELEC, 1995a) van belang zijn worden in Tabel 10 gegeven. Deze grootheden zijn niet gemakkelijk te bepalen.

Tabel 10: Basisbeperkingen voor de geïnduceerde stroomdichtheden en contactstroom op een frequentie van 50 Hz

	rms geïnduceerde contactstroom [mA]	rms contactstroom [mA]
f=50 Hz	4	1,5

Bron: CENELEC (1995a)

Limietwaarden magnetische velden en beleid

Op federaal niveau bestaat er geen Belgische wetgeving voor de beperking van de blootstelling van het publiek aan *magnetische velden* van 50 Hz. België aanvaardt in feite de Europese aanbeveling van 100 μT als blootstellinglimiet voor het voorkomen van kortetermijneffecten. Dit houdt een gehele lichaamsblootstelling in waaraan de algemene bevolking gedurende 24 uur per dag mag blootgesteld worden. Voor de beroepsbevolking is de richtlijn vijfmaal toleranter.

In Vlaanderen geldt voor het binnenhuismilieu een interventiewaarde van 10 μT en een richtwaarde van 0,2 μT . Deze grenswaarden beogen de bescherming van de bevolking tegen de risico's van langdurige blootstelling (besluit van de Vlaamse regering van 11 juni 2004 houdende maatregelen tot bestrijding van de gezondheidsrisico's door verontreiniging van het binnenmilieu, kortweg binnenmilieubesluit). (<http://www.zorg-en-gezondheid.be/workarea/linkit.aspx?linkidentificer=id&itemid=23350>)

In november 2010 werd door LNE, dienst milieu en gezondheid, een participatief consultatieproject gestart dat loopt tot midden 2011 over niet-ioniserende straling door hoogspanningslijnen. Dit project kan de start zijn van een maatschappelijk gedragen beleid voor deze problematiek.

Maatregelen

Algemene maatregelen om de (risico's van) blootstelling te verminderen zijn:

- toezicht op blootstelling met geïjkte meetsystemen;
- medisch toezicht aangepast aan de aard en de omvang van de blootstellingsrisico's (bv. uitgebreid oogonderzoek waar staarvorming een beroepsrisico vormt);
- vorming en periodieke bijscholing van risico-personeel (bv. via een regelmatige voordrachtencyclus georganiseerd in het bedrijf).

De risico's door blootstelling aan de elektromagnetische straling van hoogspanningsleidingen kan beperkt worden door:

- Aarding van de metalen delen van gebouwen in de buurt van de hoogspanningsleidingen (regel opgelegd door de wet voor alle constructies ongeacht hun omgeving AREI Art. 72 en 73).
- Het aanmoedigen van het voorzorgsbeginsel door bv. het verder af plaatsen van de elektromagnetisch bron van een persoon of omgekeerd. Een toepassing hiervan is blootstellingspreventie in het kader van de *ruimtelijke ordening* in de buurt van hoogspanningslijnen. Het Nederlandse beleid is hiervan een voorbeeld. Een eerste onderzoeksrapport i.v.m. 'Plannen voor nieuwbouwwoningen bij bovengrondse hoogspanningslijnen' (Kelfkens *et al.*, 2003) vond navolging in een ander rapport over de berekening van de specifieke 0,4 μT zone in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen (Kelfkens en Pruppers, 2005). In 2005 heeft de Nederlandse overheid een aanbeveling gegeven aan lokale autoriteiten om in nieuwe gevallen ervoor te zorgen dat kinderen niet langdurig verblijven in een zone rond hoogspanningslijnen waar de veldsterkte gemiddeld over het jaar hoger is dan 0,4 μT . Dat geldt dan specifiek voor woningen, scholen en kinderdagverblijven en wil zeggen dat die niet gebouwd zouden moeten worden dichtbij een bestaande hoogspanningslijn, of dat er geen nieuwe hoogspanningslijn zou mogen worden aangelegd dichtbij dergelijke bouwwerken. In de

praktijk wordt de aanbeveling altijd gevolgd en is er dus een de facto standaard van 0,4 uT ontstaan, maar wel alleen voor nieuwe situaties. Overigens roept dat voor bestaande situaties dan wel weer problemen op: mensen vinden dat hun kinderen daar dan minder goed beschermd zouden worden ... (RIVM, 2011; VROM 2011).

1.4 Gevolgen van extreem lage frequenties voor de mens

1.4.1 Inleiding

Kortetermijneffecten van 50 Hz elektrische en magnetische velden worden veroorzaakt door directe inwerking van elektrische of magnetische velden op het blootgestelde organisme. Magnetische velden penetreren in het lichaam en kunnen er elektrische stromen veroorzaken. De lineaire *stroominductie in het lichaam* wordt uitgedrukt in mA en de lusvormige of stroomdichtheid in mA/m². Deze parameters kunnen niet rechtstreeks in het lichaam gemeten worden, daarom wordt respectievelijk het elektrisch en het magnetisch veld gemeten. De geïnduceerde lichaamsstroom door het elektrisch veld wordt in de nek geschat op gemiddeld 5 µA per kV/m en ter hoogte van de voeten 15 µA per kV/m. Het magnetisch veld induceert in het hoofd, de romp en de benen van het blootgestelde individu een gemiddelde lusstroom van 4 µA/m² per µT. Wanneer deze stromen voldoende sterk zijn (dus het externe 50 Hz veld voldoende groot is) kan dit leiden tot stimulatie van zenuwen en spieren. Hierdoor kunnen onwillekeurige spierbewegingen en spierverkrampingen ontstaan. De ernstigste effecten, die levensbedreigend kunnen zijn, zijn hartritme stoornissen. Voor hartkamerfibrillatie is de minimaal noodzakelijke stroomdichtheid ongeveer 2,5 A/m². Deze stroomdichtheid kan enkel door heel sterke magnetische velden opgewekt worden die in de leefomgeving nooit voorkomen. Het belangrijkste effect bij lagere stroomdichtheden is het *voorkomen van fosfenen*. Dit zijn lichtvlekken of flitsen die waargenomen worden als gevolg van directe stimulatie van het netvlies door elektrische stroom. Fosfenen kunnen ook optreden door druk op de oogbol. Deze verschijnselen verdwijnen in het algemeen binnen het uur na het wegnemen van de oorzakelijke factor. De minimale stroomdichtheid om fosfenen op te wekken ligt rond de 8 mA/m².

Er bestaan ook *indirecte kortetermijneffecten*. Deze treden op wanneer ten gevolge van blootstelling aan een elektrisch veld een potentiaalverschil ontstaat tussen een organisme en een groot object. Dit kan het geval zijn wanneer een dergelijk object niet geaard is. Het voorwerp gedraagt zich dan als een condensator en er zal bij aanraking door het organisme dat wel geaard is, een ontladingsstroom lopen door het organisme. Hier is geen sprake van negatieve gevolgen voor de gezondheid, maar wel van hinder (voelen van een elektrische schok) en schrikreactie.

Een beschrijving van de voornaamste onderzoeken naar de mogelijke (schadelijke) gevolgen van extreem lage frequenties voor de mens wordt hieronder opgesplitst in *epidemiologisch* (populatie) *onderzoek*, *kort termijn onderzoek op mensen* (klinische studies), *dierenexperimenteel (in vivo) onderzoek* en *onderzoek op cellen (in vitro)*.

1.4.2 Epidemiologisch onderzoek

Onderzoek naar beroepsblootstelling

Sinds het einde van de jaren '70 onderzoeken de meeste studies de eventuele associatie met diverse types kanker, maar ook de associatie met andere ziekten werd onderzocht.

In de studies bij werknemers (*beroepmatige blootstelling*) die werken in de nabijheid van elektriciteitsgeleiders heeft men vooral het optreden van leukemie en hersenkanker bestudeerd. Er zijn ook onderzoeken gebeurd naar de relatie met lymfomen, hypofysetumoren, melanoma, borstkanker bij de man, borstkanker bij de vrouw en kankers bij de kinderen van blootgestelde werknemers. Kheifets *et al.* (1995) combineerde in een meta-analyse de resultaten van 29 onderzoeken naar de mogelijke associatie tussen beroepsmatige blootstelling aan 50 Hz magnetische velden en het optreden van hersentumoren. De uitkomst was een kleine maar statistisch significante verhoging van het risico (relatief risico: 1,2; 95%-betrouwbaarheidsinterval: 1,1 - 1,3). Enkele onderzoeken

leverden voldoende informatie voor een dosis-responsanalyse, maar een dosis-responsrelatie is niet gevonden.

Een meta-analyse van onderzoeken naar een mogelijke associatie tussen *beroepsmatige blootstelling* aan ELF velden en het optreden van leukemie laat eenzelfde beeld zien (Kheifets *et al.*, 1997). Ook in dit geval leverde het combineren van de resultaten van 42 beschikbare onderzoeken van voldoende kwaliteit aanwijzingen op voor het bestaan van een licht maar statistisch significant verhoogd risico (relatief risico 1,2; 95% betrouwbaarheidsinterval 1,1-1,3). Bij uitsplitsing van de gegevens naar verschillende vormen van leukemie bleek het relatieve risico voor chronisch lymfatische leukemie het grootst te zijn (relatief risico 1,6; 95% betrouwbaarheidsinterval 1,1-2,2). Er zijn echter geen aanwijzingen gevonden voor het bestaan van een dosis-responsrelatie.

Een belangrijke beperking bij beide meta-analyses is, dat in de verschillende onderzoeken de blootstelling doorgaans op verschillende wijzen is gecategoriseerd. In een review van het National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS, 1999) besloot men dat er enkel voor chronisch lymfocytair leukemie een zwakke evidentie bestaat voor een associatie met beroepsmatige blootstelling.

Kavet (1999) suggereert een mogelijke associatie tussen beroepsmatige blootstelling en aritmie gerelateerde hartaandoeningen. Het verband tussen neurodegeneratieve ziekten, i.h.b. de ziekte van Alzheimer, en beroepsmatige blootstelling aan ELF-elektromagnetische velden werd in verschillende studies gerapporteerd. Volgens een metastudie die 14 verschillende studies combineert zou professionele blootstelling aan magnetische velden wel degelijk een verhoogd risico op de ziekte van Alzheimer met zich meebrengen (Garcia *et al.*, 2008). De studie werd zoals vele individuele studies wel sterk bekritiseerd omwille van een aantal ernstige tekortkomingen (classificatiebias, selectiebias, onnauwkeurige evaluatie van de blootstelling, etc., Roosli, 2008). Een andere overzichtsstudie concludeert echter ook dat de associatie tussen magnetische velden en de ziekte van Alzheimer reëel lijkt te zijn (Davanipour en Sobel, 2009). De associatie zou echter niet sterk genoeg zijn om nu al enige zekerheid te hebben (Kheifets *et al.*, 2009). Behalve Alzheimer zijn er ook mogelijke verbanden met andere neurodegeneratieve ziekten bestudeerd. Eén studie vertoonde bijvoorbeeld een verhoogd risico voor amyotrofe lateraalsclerose (ALS) in de hoogste blootstellingsgroep. Twee andere studies konden dit verband niet aantonen. Eén studie vond geen verband tussen beroepsmatige blootstelling en multiple sclerose.

In humane biomonitoringstudies met betrekking tot beroepsmatige blootstelling werden wijzigingen in de urinaire excretie van melatonine metabolieten vastgesteld. Dit kon in laboratoriumonderzoeken echter niet altijd worden teruggevonden zodat het is nog onduidelijk is of 50 Hz velden een invloed hebben op melatonine en wat dit voor gevolg heeft voor de menselijke gezondheid.

Onderzoek naar residentiële blootstelling

Sinds de publicatie door Wertheimer & Leeper in 1979 van een studie waaruit bleek dat *kinderen* die wonen in de nabijheid van hoogspanningslijnen (*residentiële blootstelling*) meer kans hebben *leukemie* (en andere kankers) te krijgen dan kinderen die er niet wonen, werden zowat overal ter wereld talrijke andere epidemiologische studies uitgevoerd. Sommige studies bevestigen de Wertheimer & Leeper gegevens terwijl andere geen verband tussen een verhoogd aantal kankers en het wonen nabij hoogspanningslijnen aantonen (Verschaeve, 1995; IARC, 2002). In de meeste studies werd leukemie bestudeerd, wat een verzamelnaam is voor verschillende ziektes die soms weinig met elkaar te maken hebben. De aanwezigheid van sommige chemische stoffen die de gevolgen van niet-ioniserende straling zouden versterken wordt soms gezien als een verklaring waarom de ene persoon geen hinder ondervindt van een bepaalde blootstelling terwijl een ander persoon wel hinder ondervindt. Het is echter nog helemaal niet duidelijk in hoeverre dit effectief het geval is.

De studies over het voorkomen van leukemie bij kinderen en het wonen in de nabijheid van bovengrondse elektriciteitslijnen zijn voornamelijk in Noord-Amerika en Scandinavië uitgevoerd. Met de kwalitatief betere studies werd door Ahlbom *et al.* (2000) en door

Greenland *et al.* (2000) een *pooled analysis* uitgevoerd. Hun resultaten zijn gelijklopend met de besluiten van de expertpanels van zowel de National Research Council (1997) als van de NIEHS (1999) van de Verenigde Staten. Zij concludeerden dat er een statistisch significante associatie bestaat tussen leukemie en een verhoogde blootstelling (o.a. wonen in de nabijheid van hoogspanningslijnen). Deze associatie vertoont een consistent patroon en is robuust in die zin dat het weglaten van één studie niets wijzigt aan de conclusie. Het vastgestelde relatief risico (RR) is wel laag nl. 1,6 voor een gemiddelde blootstelling hoger dan 0,3 μT en 2,0 voor een gemiddelde blootstelling hoger dan 0,4 μT (ter vergelijking: het RR op longkanker bij rokers is bij benadering 15). In Duitsland hebben 0,2 % en in het Verenigd Koninkrijk 0,4 % van de kinderen een blootstelling hoger dan 0,4 μT . Voor andere vormen van kanker bij kinderen werden geen consistente associaties gevonden. Het internationaal Agentschap voor kankeronderzoek (IARC: International Agency for Research on Cancer) klasseerde op basis van deze gegevens de ELF elektromagnetische velden als mogelijke kankerverwekkers voor de mens (IARC, 2002).

Ook het risico op *leukemie* bij *volwassenen* die wonen in de nabijheid van hoogspanningslijnen (*residentiële blootstelling*) werd in verschillende studies bestudeerd. De studies tonen uiteenlopende resultaten. Sommige tonen een verhoogd risico voor chronische lymfocyttaire leukemie. Andere studies wijzen niet op een toegenomen risico. Nergens werd een associatie met borstkanker teruggevonden. Ook met hersentumoren werd geen verband gevonden (NIEHS, 1999).

In studies die *blootstelling door het gebruik van huishoudelijke elektrische toestellen* onderzoeken werd het verband onderzocht tussen het optreden van diverse soorten kanker en het gebruik van elektrische huishoudtoestellen zoals elektrische scheerapparaten, haardrogers, massagetoestellen, elektrische wekkers aan bed, elektrische dekens enz. Men koos deze toestellen omwille van de korte afstand tot het lichaam tijdens gebruik en/of de relatief hoge emissie. Ruwweg gezien kan men zeggen dat er geen verbanden werden vastgesteld. Uit metingen is trouwens gebleken dat het meestal kortdurend gebruik van deze toestellen slechts een geringe verhoging van de totale blootstelling veroorzaakt (National Research Council, 1997).

Effecten op de 'algemene gezondheid' werden op diverse wijze onderzocht. Strumza (1970) stelde vast dat de medische consumptie (doktersbezoeken, verbruik van medicatie) niet hoger was bij een groep van 267 personen die op minder dan 25 meter afstand van hoogspanningslijnen woonde dan bij een gelijkaardige groep die op meer dan 125 meter afstand woonde. Bij werknemers in de elektriciteitssector komen er niet meer chronische gezondheidseffecten (neurologisch, cardiovasculair, hematologisch, reproductief) dan in een referentiegroep. Er werd geen verband aangetoond tussen verhoogde blootstelling en laag geboortegewicht, groeiachterstand in de baarmoeder (intra-uterien), vroeggeboorte en congenitale afwijkingen. De relatie met spontane abortus werd in twee studies vastgesteld maar in twee andere niet. Ook in een goed uitgevoerde prospectieve studie (Bracken, 1995) werd geen verband aangetoond.

Recent werd ook melding gemaakt van een mogelijk verband tussen residentiële blootstelling aan magnetische velden en een verhoogd risico op de ziekte van Alzheimer (Huss *et al.*, 2009). Volgens deze studie zouden mensen die op minder dan 50 m van een hoogspanningslijn wonen een verhoogd risico op de ziekte van Alzheimer hebben. Het aantal jaren dat men in de buurt van een hoogspanningslijn heeft gewoond lijkt ook het risico te beïnvloeden. Tot nu zijn er geen andere studies die de associatie tussen magnetische velden en de ziekte van Alzheimer daadwerkelijk aantonen en is hoogstens opvolging van de situatie aangewezen.

In drie studies kon geen associatie met zelfmoord worden aangetoond. Twee studies vonden wel een verband. Vier studies toonden geen verband met depressie. Poole *et al.* (1993) vonden een significant positieve associatie tussen het optreden van depressieve symptomen en het wonen naast een elektriciteitstransmissielijn. Perry & Pearl (1988) stelden vast dat van de personen die in een hoogbouw wonen, de personen die het dichtst bij de grote elektrische voedingskabel wonen, significant meer depressie en angstsymptomen vertonen dan de rest van de bewoners.

1.4.3 Experimentele studies bij mensen (klinisch/laboratoriumonderzoek)

Er zijn aanwijzingen dat sommige mensen hypergevoelig kunnen zijn voor bepaalde elektromagnetische golven al zijn er nog steeds geen duidelijke bewijzen voor gevonden. Het voorkomen van dergelijke 'elektromagnetische hypergevoeligheid' (nu aangeduid met de term 'Idiopathische Milieuintolerantie') varieert merkwaardig genoeg van land tot land zonder dat er grote verschillen bestaan in het gebruik en de distributie van electriciteit. Dit kan een aanwijzing zijn dat hypergevoeligheid meer gerapporteerd wordt in landen waar de bevolking er meer voor gesensibiliseerd werd. Een gemiddelde frequentie van 1 individu op 1 000 kan worden vooropgesteld al vindt men cijfers gaande van 1 op 1 miljoen tot zelfs 10 %.

Het feit dat elektromagnetische hypergevoeligheid nog verre van bewezen is kan te maken hebben met de moeilijkheid dit fenomeen te onderzoeken. Studies zijn meestal zogenaamde provocatiestudies waarin mensen in een laboratoriumomgeving worden onderworpen aan een reeks tests terwijl zij onwetend blijven over het feit of zij nu wel of niet aan een elektromagnetisch veld zijn blootgesteld. De bedoeling is na te gaan of zij de aanwezigheid van velden kunnen waarnemen en of de aanwezigheid van de velden al dan niet een invloed heeft op hun prestaties (geheugen, reactiesnelheid, gevoel van welzijn, enz.). Provocatiestudies die noodzakelijkerwijze van relatief korte duur zijn zijn misschien net daarom niet bij machte om de hypergevoeligheid aan te tonen. Zelfverklaarde elektromagnetisch hypergevoelige mensen bekritisieren deze experimenten vaak wanneer de resultaten van het onderzoek niet met hun verwachtingen stroken en zeggen dat een langere blootstellingstijd nodig is om de effecten te manifesteren. Dergelijke lange termijn prospectieve studies zijn echter omwille van ethische en praktische redenen niet mogelijk. Een aantal retrospectieve studies waarbij mensen met onduidelijke gezondheidsklachten werden opgevolgd in hun residentiële situatie werden ook uitgevoerd, maar ook hier was het niet mogelijk om verschillen aan te tonen tussen deze 'patiënten' en gezonde controlepersonen of tussen meer en minder 'blootgestelde' personen. Dit betekent nog niet dat de mogelijkheid dat bepaalde personen effectief hinder kunnen ondervinden van elektromagnetische velden, ten minste in bepaalde situaties, niet bestaat.

In meerdere onderzoeken zijn ook andere *kortetermijneffecten* bestudeerd. Zo werden effecten op de slaap, de psychologische performantie (zoals bij de studies over hypergevoeligheid), het cardiovasculair, hematologisch en immunologisch systeem bestudeerd. Effecten konden niet op consistente wijze worden vastgesteld. In diverse studies werd het effect op melatonine (een door de epifyse geproduceerd hormoon dat o.a. een rol speelt in het bioritme en in immunologische reacties) bestudeerd.

1.4.4 Ribbel- of deukdijen (*Lipoatrophia semicircularis*)

Lipoatrophia semicircularis, beter bekend als deuk- of ribbeldijen, is een fenomeen dat zich al meer dan tien jaar in ons land voordoet bij sommige bedienden die veel tijd doorbrengen in een modern uitgerust bureau. Mensen met deukdijen werden in verschillende situaties onderzocht maar zijn nooit het onderwerp geweest van epidemiologisch onderzoek of van onderzoek in laboratoriumcondities. Daarom vermelden we ze hier in een afzonderlijk hoofdstuk. Verschillende hypothesen waaronder elektromagnetische golven in een complex samenspel met andere omgevingsfactoren, werden geformuleerd om dit fenomeen te verklaren (Maes et al., 2003). Deukdijen manifesteren zich klinisch als een deuk in de dij, op 72 cm van de grond gemeten met het schoeisel aan, ten gevolge van het verdwijnen van het onderhuids vetweefsel op die plaats, in hoofdzaak ter hoogte van de voorzijde van de dij. De lengte van de deuken is zeer verschillend en varieert van drie tot twintig centimeter. De breedte is tussen een halve centimeter en vijf centimeter en de diepte kan tot zes millimeter bedragen. Bovenop de deuk blijft de huid (epidermis) meestal intact, de spieren behouden hun normale volume en ook de lichaamsbeharing is onaangetast. Sporadisch komen atypische deuken voor ter hoogte van de arm, knie of meerdere deuken boven elkaar. Bijna steeds treedt het fenomeen voor de eerste maal op ongeveer twee maanden na ingebruikname van een nieuwe kantooromgeving. In België alleen al meldden meer dan 35 bedrijven dat er deukdijen vastgesteld werden bij hun personeel. De meest getroffen personen zijn vrouwen, maar in 10-15 % van de gevallen doen de klachten zich bij mannen voor. Vermoedelijk speelt de verschillende vetstructuur ter hoogte van de benen tussen

vrouwen en mannen hierin een rol. Soms worden er net voor of rond de onstaansperiode van de deukdij klachten als irritatie, moeheid of zwaarte in de benen geformuleerd. Deze klachten verdwijnen na enige tijd maar de deukdij verdwijnt niet. Behalve het soms erg storend esthetisch aspect zijn er tot op heden geen geassocieerde aandoeningen of symptomen ontdekt. Momenteel wijzen wetenschappelijke studies eerder in de richting van een elektromagnetische oorzaak, aangezien de andere hypothesen (over zithouding, gebruik van de bureelstoel, ergonomie en temperatuursverschil tussen het bureelblad en de dij bij contact) niet hard konden gemaakt worden. De laatste jaren vormt het fenomeen een grote bezorgdheid in Spanje waar met name in Madrid en Barcelona vele honderden gevallen van Lipoatrophia semicircularis werden genoteerd (Cruells, 2007; Pérez et al., 2010). Studies daar bevestigen de elektromagnetische hypothese maar bewijzen ze niet. Volgens deze hypothese (Maes et al, 2003; Verschaeve & Maes, 2009) zou een elektrisch fenomeen via lekstraling van de computer of andere elektrische apparatuur (printers e.d.), eventueel in combinatie met andere milieufactoren (bv. luchtvochtigheid), voor de deukdijen verantwoordelijk zijn. De onderhuidse vetcellen zouden erg gevoelig zijn voor herhaaldelijke ontladingen langs de huidporieën wat atrofieëring of wegwijning van het vetweefsel tot gevolg zou hebben.

1.4.5 Experimenteel onderzoek

In vitro onderzoek

In vitro studies bestuderen het biologisch effect van ELF op geïsoleerde menselijke of dierlijke cellen. Concreet worden de geselecteerde cellen gekweekt in een petrischaaltje of kweekflesje met een specifieke voedingsbodem en in een aangepaste omgeving onder gecontroleerde omstandigheden (temperatuur, vochtigheid, CO₂ gehalte ...) aan ELF-(meestal magnetische) velden blootgesteld.

In vitro studies hebben tot doel effecten van elektrische of magnetische velden op individuele cellen of geïsoleerde weefsels te ontdekken die in verband staan met waargenomen nadelige gezondheidseffecten. Volgens het expertpanel van de National Research Council (1997) leidt het geheel van deze studies tot de conclusies dat magnetische veldsterkten zoals ze in de leefomgeving voorkomen geen significante *in vitro* effecten doen ontstaan. Het algemene besluit van de *in vitro* studies is dat 50 Hz magnetische en elektrische velden enkel wijzigingen in cellen veroorzaken bij veldsterktes die een factor 1 000 tot 100 000 hoger zijn dan de veldsterktes in de leefomgeving. Een biofysisch mechanisme voor de inductie van kanker werd niet gevonden (Bergqvist et al., 2003).

Over het algemeen worden dus geen belangrijke schadelijke effecten gerapporteerd en kunnen de studies de soms alarmerende berichtgeving uit epidemiologisch onderzoek niet verklaren. Toch zijn er ook hier tegenstrijdige resultaten. De met Europese fondsen gesponsorde REFLEX-studie werd uitgevoerd door 12 laboratoria in 7 Europese landen (REFLEX, 2004). De verschillende teams onderzochten zowel de invloeden van ELF als van radiofrequente straling op cellen van dierlijke en menselijke oorsprong. Ondermeer werden een bepaald type menselijke kankercellen (neuroblastomacellen) gedurende 42 uren en 90 uren blootgesteld aan ELF bij 10 μ T en bij 100 μ T. Bij de 42 uren blootstelling (10 μ T) stelden de onderzoekers een groei van 12 % vast en 17 % bij 100 μ T. Mogelijk kan dit wijzen op een versnellend effect op de celdeling bij dergelijke blootstelling. Langere blootstellingsperioden leverden geen meetbaar biologisch effect op. Ook genetische effecten (DNA-schade) werden in sommige celtypes waargenomen. De REFLEX-studie is echter als geheel zeer controversieel en werd zelfs van fraude beticht. Er zijn aanwijzingen dat er grove fouten zijn gemaakt in de statistische analyse. Enkele herhaalexperimenten die door andere laboratoria werden uitgevoerd met gebruikmaking van dezelfde cellen en apparatuur bevestigden de resultaten niet (bv. Scarfi et al., 2005).

In vivo onderzoek

In vivo studies bestuderen het biologisch effect van 50 en 60 Hz velden op levende proefdieren. In een review van het proefdieronderzoek concludeerde McCann *et al.* (2000) dat lange-termijn blootstellingen met een intensiteit tussen 2 en 5 000 μ T geen kanker

veroorzaken bij ratten en muizen. Hoewel de resultaten van de meeste promotie/progressie studies negatief zijn, kan een zwak promotoreffect onder bepaalde blootstellingscondities niet uitgesloten worden. Deze conclusie is vergelijkbaar met die van de expertgroepen van de National Research Council (1997) en de NIEHS (1999) en van Repacholi (1998) van de Wereldgezondheidsorganisatie. Promotie en progressie zijn twee fasen van het ontstaan van kanker. Onder invloed van een promotorstof (groeistof), krijgen cellen met in de initiatiefase eerder aangetaste DNA een groeivoordeel ten aanzien van cellen met een gezond DNA (promotie) waardoor deze kunnen uitgroeien tot een goedaardige massa cellen. Hierna ondergaan de aangetaste cellen eventueel een tweede onomkeerbare verandering waardoor de zich snel delende cellen een kwaadaardige tumor vormen (progressie). (zie Gevolgen voor Mens). Zoals eerder al gesuggereerd is rechtstreekse aantasting van het DNA echter niet waarschijnlijk (cf. Bergqvist et al., 2003). Hoewel niet bewezen blijft de mogelijkheid wel bestaan dat ELF-magnetische velden de effecten van een chemisch mutagen (genotoxische stof) onder bepaalde condities zou kunnen versterken (Bergqvist et al., 2003; Markkanen, 2009).

Effecten op reproductie en ontwikkeling werden niet vastgesteld. Wel werden neuro-endocriene wijzigingen vastgesteld die echter geen aanleiding gaven tot gezondheidsschade.

De meerderheid (NIEHS, 1999; Bergqvist et al., 2003) van de studies bij knaagdieren over de functie van de pijnappelklier laten een daling zien van de nachtelijke melatonine concentraties. In deze studies varieert de effectvertonende veldsterkte van 10 μ T tot 5,2 mT. Bij geiten en bavianen werd deze daling niet vastgesteld. De daling van de melatonineconcentratie was niet geassocieerd met gezondheidsschade.

In de wetenschappelijke literatuur vermelden verschillende studies ook biologische effecten die in experimenten in het laboratorium werden waargenomen op allerhande domeinen. Het is echter ook steeds noodzakelijk om bij het interpreteren van dergelijke studies rekening te houden met de gebruikte methode om de bruikbaarheid in reële situaties in te schatten.

1.4.6 Besluit

Het wetenschappelijk bewijs dat 50 Hz velden lange-termijn gezondheidseffecten kunnen veroorzaken is niet geleverd. De sterkste aanwijzingen worden gegeven door de epidemiologische studies. *In vitro* en *in vivo* studies geven geen duidelijkheid al geven de studies die gecombineerde effecten bestuderen (ELF magnetische velden + chemische of ander fysisch agens) toch wel aanwijzingen dat coöperatieve effecten kunnen bestaan. Er is een consistente associatie van een licht verhoogd risico op leukemie bij kinderen met residentiële blootstelling en een iets minder overtuigende associatie tussen beroepsblootstelling en chronische lymfocytair leukemie. In contrast hiermee staan de dierexperimenten waar geen toename van leukemie werden vastgesteld. Ook de mechanistische studies falen om een consistente verklaring te geven voor het ontstaan van leukemie of een andere aandoening. Enkel bij hoge veldsterkten werden biologische effecten waargenomen. Het ontbreken van een overeenstemming tussen het epidemiologisch en het experimenteel onderzoek compliceert de interpretatie van de resultaten. De epidemiologische gegevens zijn waargenomen in de 'juiste' diersoort en zijn 'real life' blootstellingen. De risicoverhoging is echter klein zodat een andere factor hiervan de verklaring zou kunnen zijn. Een overtuigende verklaring, anders dan de 50 Hz velden, is echter niet geïdentificeerd. Om te spreken van een causaal verband moet men ook het biologische mechanisme kennen dat een verklaring geeft voor het verband tussen blootstelling en effect. De laboratorium-onderzoeken slagen er niet in zo'n mechanisme te vinden. Het ontbreken van deze mechanistische verklaring verzwakt de overtuiging dat de vastgestelde associatie feitelijk te wijten is aan 50 Hz velden al dan niet in combinatie met andere factoren, maar veegt ze niet volledig van tafel.

1.4.7 Kinderleukemie en blootstelling door hoogspanningslijnen in Vlaanderen

Zoals hoger vermeld vermoed men op basis van epidemiologische studies een verband tussen de blootstelling aan het magnetische veld van hoogspanningslijnen en het voorkomen van leukemie bij kinderen. Hierbij worden verschillende waarden naar voren geschoven

waarboven de blootstelling tot het effect zou leiden. In dit deel bekijken we het aandeel van de jongeren in Vlaanderen die wonen in het gebied met een gemiddelde jaarblootstelling hoger dan 0,4 μT . (0,4 μT corridors of 0,4 μT contour). Dit gebeurt op basis van de modelberekeningen beschreven in 1.3.1 Magnetisch veld rond hoogspanningslijnen. Een overzicht staat in Tabel 11.

Tabel 11: Percentage van de jongeren (< 15 jaar) wonend in een gebied met een blootstelling door hoogspanningslijnen groter dan 0,4 μT (Vlaanderen)

werkingscapaciteit	hoogspanningsnet		totaal
	ondergronds	bovengronds	
100 %	0,4	1,40	1,8 %
75 %	0,3	1,06	1,36 %
50 %	0,2	0,70	0,90 %
25 %	0,1	0,35	0,45 %

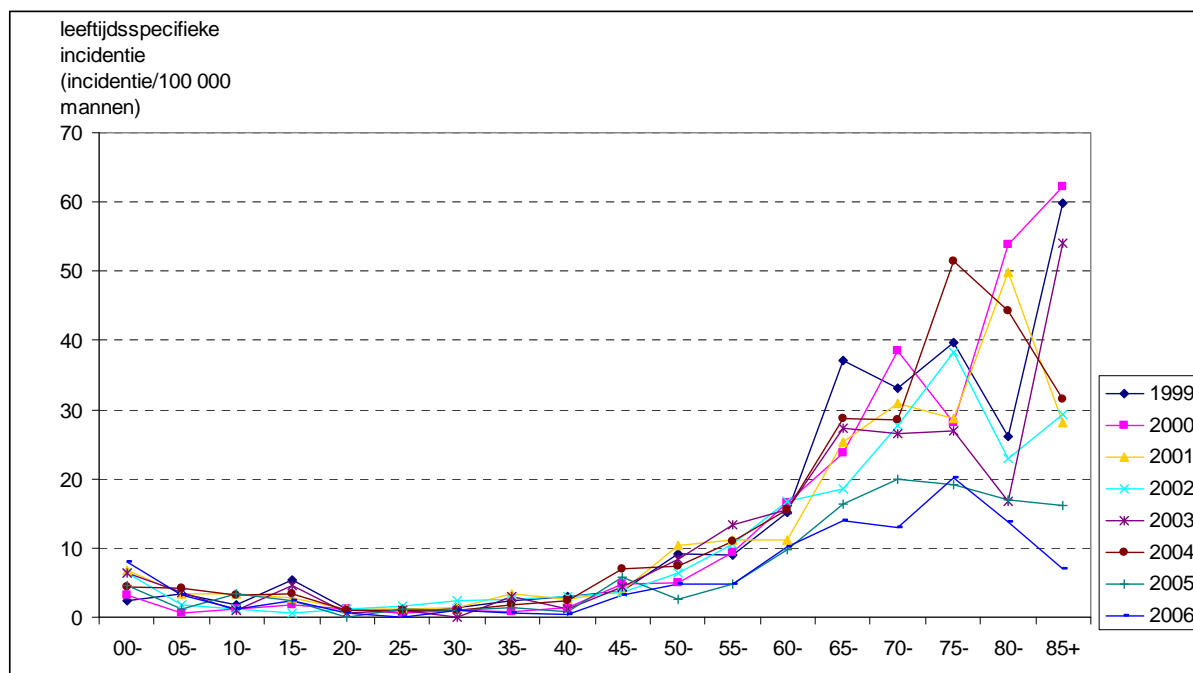
gebaseerd op situatie 2003 en 2007

Bron: Decat et al. (2007)

In een worst-case scenario wonen 1,8 % van de jongeren in Vlaanderen in een gebied met een gemiddelde magnetische veldsterkte groter dan 0,4 μT . In het meest gunstige geval (25 % werkingscapaciteit) daalt dit tot minder dan een half procent van de jongeren in Vlaanderen. In de epidemiologische veronderstelling dat er een oorzakelijk verband bestaat tussen de blootstelling aan een magnetische veld in de woonomgeving (groter dan 0,4 μT) en kinderleukemie zou er in Vlaanderen 1 geval van kinderleukemie om de twee jaar worden veroorzaakt door het bovengronds netwerk en ongeveer 1/3^e hiervan door het ondergrondse netwerk. Samen komt dit op 1,3 bijkomende kinderleukemies om de twee jaar. Deze kinderleukemies zijn de som van alle kinderleukemieën samen nl. lymfatische leukemie, myeloïde leukemie, monocyttaire leukemie en overige leukemies.

Als vergelijkingsbasis wordt hier het aantal nieuwe gevallen van lymfoïde leukemie (de meest voorkomende vorm van leukemie per kinderen) in Vlaanderen weergegeven voor de hele bevolking (Figuur 13 en Figuur 14). Uit deze grafieken blijkt o.a. dat de kinderleukemieën slechts een klein deel van de totale aantal leukemieën uitmaken. In Tabel 12 staat het absoluut aantal nieuwe gevallen van lymfoïde kinderleukemie bij kinderen tot 15 jaar in Vlaanderen. Jaarlijks krijgen zo'n veertigtal kinderen lymfoïde leukemie. Alle gegevens uit de onderstaande grafieken en tabel betreffen alle leukemieën en niet enkel deze die mogelijk toegewezen kunnen worden aan blootstelling door hoogspanningslijnen.

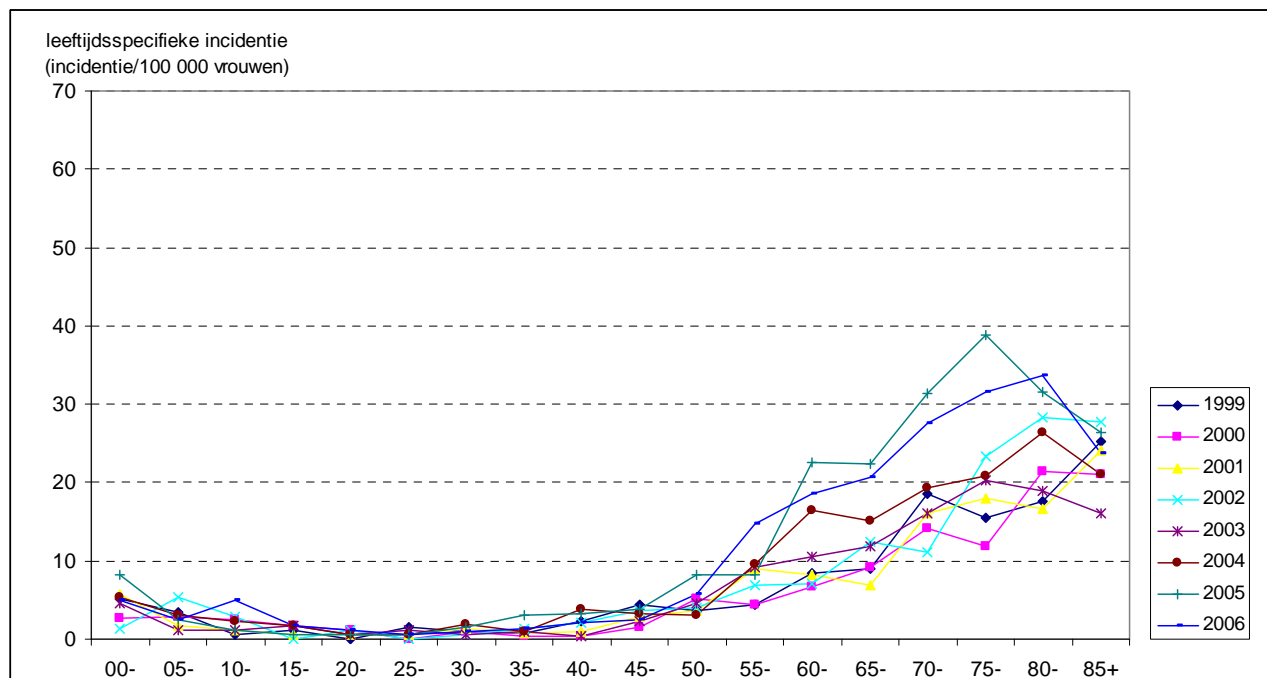
Figuur 13: Leeftijdsspecifieke incidentie van lymfoïde leukemie bij mannen per leeftijdscategorie (Vlaanderen, 1999-2006)



leeftijdsspecifieke incidentie: incidentie per 100 000 inwoners van die bepaalde leeftijdscategorie

Bron: Belgian Cancer Registry (2011)

Figuur 14: Leeftijdsspecifieke incidentie van lymfoïde leukemie bij vrouwen per leeftijdscategorie (Vlaanderen, 1999-2006)



leeftijdsspecifieke incidentie: incidentie per 100 000 inwoners van die bepaalde leeftijdscategorie

Bron: Belgian Cancer Registry (2011)

Tabel 12: Absoluut aantal nieuwe gevallen van lymfoïde leukemie bij kinderen (0-15 jaar) (Vlaanderen, 1999-2006)

	jongens	meisjes
1999	23	17
2000	11	16
2001	28	14
2002	16	16
2003	26	14
2004	26	20
2005	20	19
2006	24	23

Bron: Belgian Cancer Registry (2011)

2 Intermediaire frequenties

2.1 Bronnen van intermediaire frequenties

Frequenties die zowat tussen de radiofrequente straling en de extreem lage frequenties liggen, worden ook soms aangeduid als de *intermediaire frequenties of middenfrequenties*. Er zijn verschillende definities voor deze frequenties in omloop. De afbakening is dan gesitueerd tussen de 300 Hz en 10 MHz of tussen de 3 kHz en de 3 MHz (Verschaeve et al., 2004). In dit document worden de intermediaire frequenties gesitueerd tussen de 3 kHz en de 3 MHz. Deze frequenties worden gebruikt in verschillende toepassingen. Hieronder volgt een niet-limitatieve lijst (WHO, 2005a)

Industrie:

- diëlectrische hitteverzegelaars,
- inductie- en plasmaverhitters,
- zenders en seintoestellen.

Huishoudens:

- huishoudelijke inductiefornuis,
- nabijheidssensor,
- computerschermen en televisies.

Handel & diensten:

- anti-diefstal- en identificatiesystemen zoals elektronische artikelbewaking (electronic article surveillance of EAS) en radiofrequente identificatiesystemen (radiofrequency identification RFID),
- MRI-systemen (medisch),
- EM-zenuwstimulators (medisch),
- elektrochirurgische en andere medische behandelingsapparatuur.

2.2 Intermediaire frequenties in de leefomgeving

Frequent voorkomende bronnen van intermediaire frequenties, zijn de elektronische artikelbewaking systemen (EAS). Dit zijn de gekende doorlooppoortjes bij de ingang en/of uitgang van gebouwen. 97 % van deze systemen zijn terug te vinden in de grootwarenhuizen, maar ook in bibliotheken, hotels en hospitalen worden deze gebruikt.

Omdat de opkomst van deze technologie vrij recent is, zijn er enkel sporadische metingen in het werkmilieu en modelmatige inschattingen beschikbaar. Tabel 13 geeft de magnetische veldwaarden die teruggevonden werden in een werkmilieu op een afstand van 30 tot 50 cm van de EAS-systemen.

Tabel 13: Magnetische fluxdichtheid in de nabijheid van elektronische bewakingssystemen in werkmilieu

frequentie (kHz)	piekwaarden (μT)	ICNIRP referentieniveau
0,073	146	484
0,219	122	161
0,230	93	154
0,535	72	66
5-75	43	44
58	62-65	44

Bron: Vecchia (2004)

Voor de algemene bevolking is de blootstelling wellicht veel kleiner als de waarden vermeld in Tabel 13 aangezien de afstand tot de bron meestal meer dan 30 tot 50 cm bedraagt en de blootstellingsduur beperkt is tot enkele seconden en vaak maar een fractie van een seconde is.

Modelmatige inschattingen zijn minder positief. EAS-systemen genereren een sterker magnetisch veld op lagere hoogte nl. ter hoogte van het kinderhoofd. Hierdoor zou voor kinderen de basisrestrictie geformuleerd door het ICNIRP wel overschreden worden (zie verder). Hierbij moet er echter wel rekening mee gehouden worden dat de ICNIRP-richtlijn geformuleerd werd voor een blootstellingsduur van 6 minuten, terwijl dit bij EAS-systemen bij het doorwandelen tussen de poortjes slechts over een blootstelling enkele seconden gaat. Mogelijke gezondheidseffecten door deze bron zijn daarom eerder hypothetisch dan reëel. (Verschaeve et al, 2004).

Bij een meetcampagne in een aantal warenhuizen werden volgende gemiddelde waarden teruggevonden in de buurt van antidiestalpoorten (Tabel 14).

Tabel 14: Gemiddelde waarde gemeten magnetische veld van doorwandelpoorten in grootwarenhuizen (Vlaanderen, 2006)

meethoogte (cm)	magnetisch veld (μT)		
	minimum	maximum	gemiddelde
15	0,25	2,26	1,30
85	0,25	3,71	1,56
150	0,22	2,38	1,11

Decat et al. (2006)

Rekening houdend dat de blootstelling beperkt blijft tot maximaal enkele seconden bij het voorbijwandelen van de poortjes, is deze blootstelling minimaal voor klanten. Het personeel aan de kassa of in bibliotheken bevindt zich gedurende langere tijd in de buurt van de stralingsbron maar de blootstelling is gewoonlijk toch zeer gering. Er zijn geen aanwijzingen dat bij deze normale blootstellingcondities enig schadelijk biologisch effect kan optreden (Decat et al, 2006).

2.3 Gevolgen voor de mens van intermediaire frequenties

Er zijn echter maar weinig specifieke studies uitgevoerd over de gevolgen van intermediaire frequenties voor de mens wat in hoofdzaak te maken heeft met het feit dat men er, gelet op de verwachte geringe blootstelling, doorgaans ook geen effecten van verwacht. De biologische mechanismen waarop ze op het menselijke lichaam inwerken zijn niettemin gelijkaardig als deze van de ELF-velden en de RF-straling naargelang de frequentie (WHO, 2005a).

De volgende biologische effecten zijn goed gekend, maar komen enkel voor bij hoge niveaus van straling en dus niet in het leefmilieu waarin wij vertoeven:

- *Thermische effecten*: hitteschade door langdurige blootstelling aan de hogere frequenties binnen het IF-frequentiegebied;
- *Niet-thermische effecten*: schade aan de celmembranen door hoge potentiaal verschillen geïnduceerd door externe velden (electroporatie).

Bij epidemiologisch onderzoek naar effecten bij menselijke reproductie, effecten op het oog en borstkanker door IF-straling, werden geen effecten teruggevonden of waren de resultaten niet overtuigend.

3 Radiofrequentie en microgolfstraling

3.1 Bronnen van radiofrequente straling

De belangrijkste doelgroepen, opgesplitst naar de verschillende toepassingen van radiofrequente elektromagnetische golven zijn:

- operatoren mobiele telecommunicatie (GSM-operatoren, ASTRID-netwerk),
- eindgebruikers mobiele telefonie (GSM),
- eindgebruikers draadloze toestellen (bv. digitaal DECT-systeem, WLAN-netwerken),
- amateur-radio (bv. CB op 27 MHz),
- radio- en TV-omroepen (terrestrische transmissie van radiosignalen en TV-beelden door nationale omroepen en commerciële radio en TV).

Het aandeel van de doelgroepen kan benaderend bepaald worden met behulp van onderstaande, zij het niet-exhaustieve, lijst:

Huishoudens

- gebruikers microgolfoven, inductiekookplaten,
- gebruikers mobiele telefoon,
- gebruikers draagbare telefoon of draadloze computernetwerken,
- gebruikers babyfoons.

Industrie

- kunststofindustrie en staalbedrijven (inductieverwarmers).

Handel & diensten

- telefoonmaatschappij, incl. 3 GSM-operatoren (zendmasten en draagbare telefoons),
- TV- en radiomaatschappijen (zendmasten, satellietcommunicatie),
- ziekenhuizen waar microgolfbehandelingen en Nucleair Magnetische Resonantie-onderzoeken worden uitgevoerd,
- Openbaar bestuur: defensie (radar, communicatietoepassingen),
- antidiefstalsystemen, identificatiesystemen.

Transport

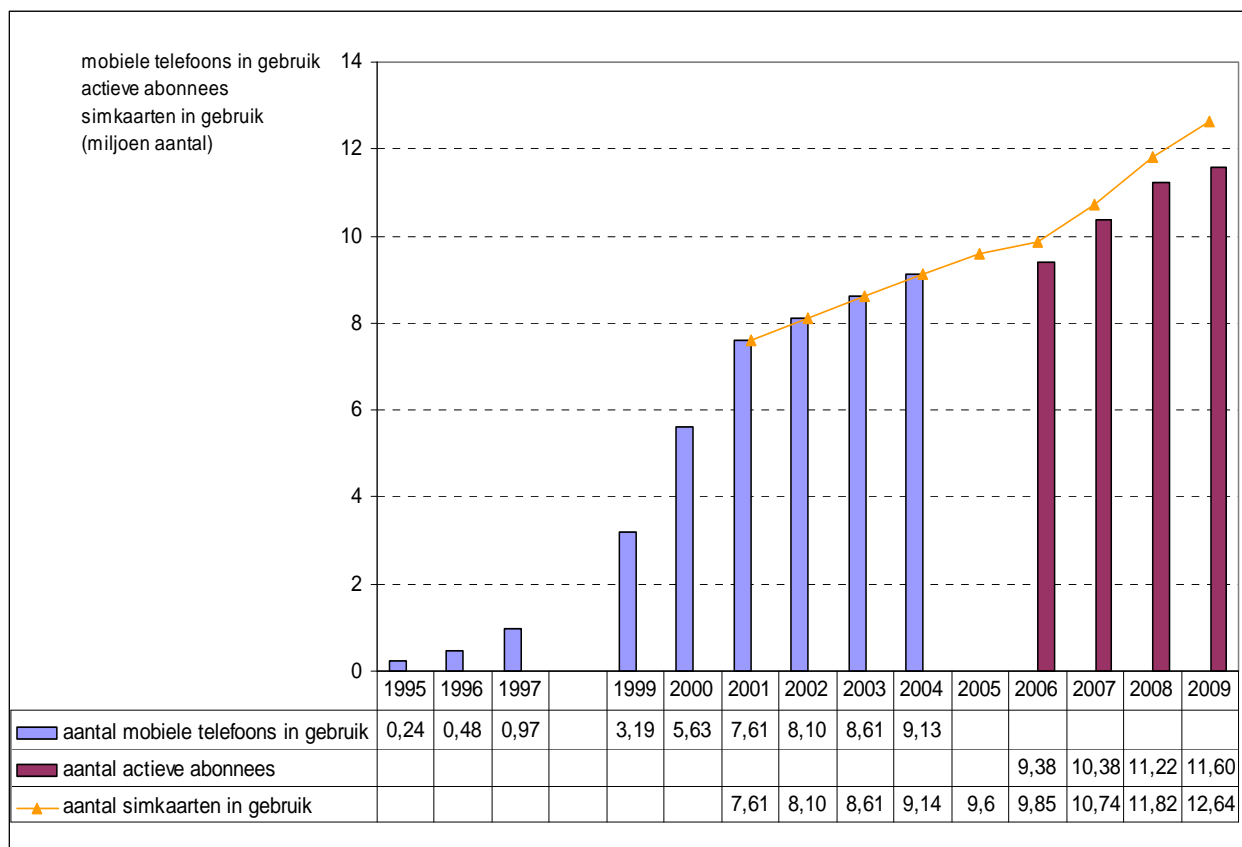
- Regie der Luchtwegen (RADAR),
- GPS-ontvangers.

3.1.1 Aantal mobiele telefoons in gebruik in België

Figuur 15 en Figuur 16 geeft de evolutie van het aantal mobiele telefoons in gebruik, het aantal actieve abonnees en het aantal simkaarten in gebruik in België voor de periode 1995 – 2009.

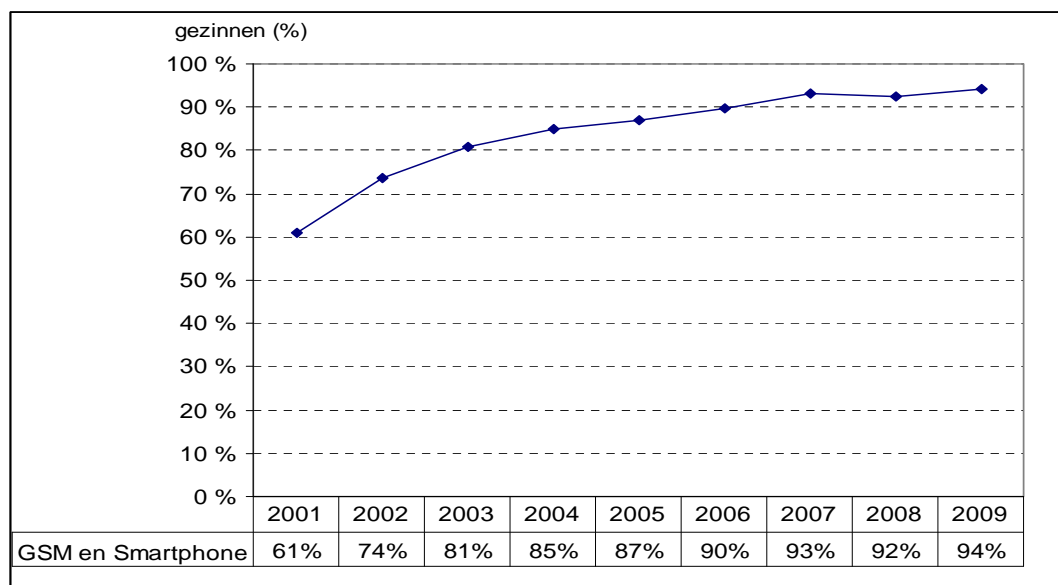
Deze figuren tonen duidelijk de zeer sterke opkomst van het GSM toestel. Het GSM-toestel is in deze relatief korte periode geëvolueerd van een zeldzaam gadget tot basisuitrusting van een gezin.

Figuur 15: Aantal mobiele telefoons in gebruik, aantal actieve abonnees en aantal simkaarten in gebruik (België, 1995-2009)



Bron: NIS (tot 2004); jaarverslag BIPT (2001-2009)

Figuur 16: Percentage gezinnen in bezit van een GSM of smartphone (Vlaanderen, 2001-2009)



vraagstelling tot 2009 GSM; vanaf 2009 GSM en smartphone

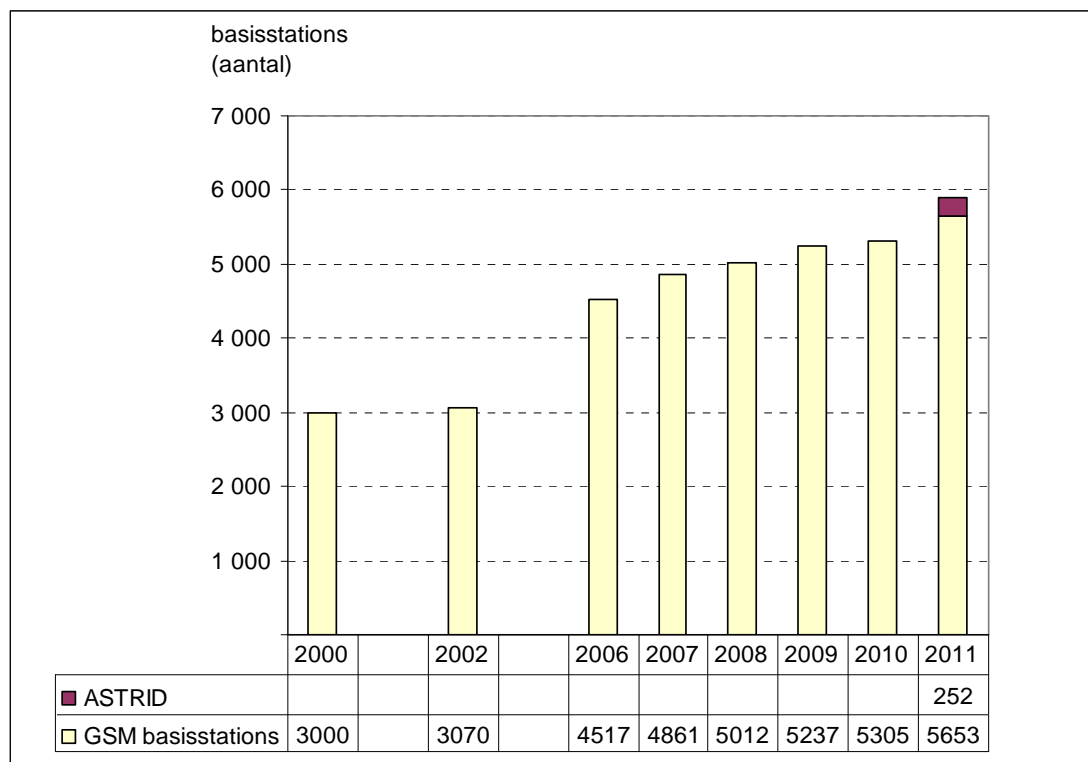
Bron: Huishoudbudgetenquêtes (2001-2009)

3.1.2 Aantal GSM-basisstations en ASTRID-zendmasten

Het aantal basisstations in Vlaanderen steeg in de periode 2000- 2011 van een 3 000 basisstations tot 5 653 basisstations (Figuur 17). Op een site kunnen meerdere basisstations zijn (site-sharing en co-locatie). Een basisstation heeft vaak meerdere antennes. In 2010 is het aantal sites gestegen tot 5 305. De stijging in aantal basisstations van 2002 t.o.v. 2006 is het resultaat van de uitbouw van het UMTS-netwerk en het leveren van een betere dekking voor GSM (ook binnenshuis). De stijging in de loop van de periode 2006-2010 is te verklaren door het toenemend gebruik van het groeiend aantal toepassingen voor deze technologie. Door toename van het aantal basisstationsites wordt enerzijds het gebied dat door één basisstation moet bediend worden, en bijgevolg het uitgezonden vermogen nodig voor een zelfde netwerkcapaciteit (het aantal gebruikers dat het basisstation tegelijk kan bedienen), kleiner, maar anderzijds worden meer mensen met een basisstation in hun buurt geconfronteerd. De nieuwere regionale normen die strenger zijn dan de voormalige Belgische norm, zullen daarom ook leiden tot een toename van het aantal basisstations. Op de antennewebsite van het BIPT (<http://www.sites.bipt.be/>) is de locatie van zendmasten en technische specificaties omtrent blootstelling raadpleegbaar.

Het mobiele communicatienetwerk voor de hulpdiensten A.S.T.R.I.D. (All-round Semi-cellular Trunking Radio communication system with Integrated Dispatching) bestaat in 2011 uit 252 basisstations in Vlaanderen (www.astrid.be). Dit netwerk wordt gebruikt door hulpdiensten (bv. brandweer, politie, douane, NIR, callcentra 100 ...) Sinds 30 juni 2007 zijn zo alle Belgische politiezones aangesloten op dit netwerk. In Nederland bestaat ook een TETRA-radiocommunicatienetwerk, onder de naam C2000, dat een nationale radiodekking voorziet voor alle Nederlandse hulp- en veiligheidsdiensten. Op 25 en 26 oktober 2005 is het Belgische A.S.T.R.I.D.-communicatiesysteem voor de eerste maal gekoppeld aan het Nederlandse C2000-communicatiesysteem tijdens een grensoverschrijdende controle-actie door de Belgische en Nederlandse politiediensten. Een integratie van beide netwerken gebeurde opnieuw in september 2010 tijdens de Europese top defensie te Gent.

Figuur 17: Aantal GSM-basisstations en basisstations voor het ASTRID-netwerk (Vlaanderen, 2000, 2002, 2006-2011)



Bron: BIPT, GSM-operatoren (GOF- AGORIA), ASTRID

3.1.3 Aantal zendinstallaties voor TV en radio

Eind 2000 waren er volgens de Administratie Media en VRT 310 erkende lokale radio's in Vlaanderen. 188 van deze zenders hadden een vermogen van 100 W, de anderen hadden lagere vermogens. Er waren 12 regionale FM-zenders met vermogen tussen 0,5 en 50 kW, 4 regionale AM-zenders met een vermogen tussen 5 en 300 kW en 7 regionale tv-zenders met een vermogen tussen 100 en 1 000 kW.

Eind 2002 waren er volgens de Administratie Media in het Vlaamse gewest 296 FM-radiozenders voor lokale radio actief, 46 FM-radiozenders voor de twee landelijke particuliere radionetten. De VRT had een FM-zendpark op 10 sites in Vlaanderen, corresponderend met 32 actieve zenders. De VRT had ook 4 regionale middengolfzenders (geïnstalleerd op drie sites). In Vlaanderen waren er eveneens 16 DAB (Digital Audio Broadcasting, digitale radio) zenders geïnstalleerd. Voor analoge televisie had de VRT 8 zenders in gebruik vanuit 5 verschillende plaatsen. Daarnaast waren er ook twee zenders van waaruit twee digitale televisieprogramma's (DVB-T, Digital Video Broadcasting - Terrestrial) werden uitgezonden.

In mei 2004 waren er volgens de Administratieve Media in het Vlaamse gewest 293 FM-radiozenders voor lokale particuliere radio actief (bv. Aalst 90 FM, Laser, City Music, Katanga ...), 28 FM-radiozenders voor regionale particuliere radio en 43 FM-radiozenders voor de twee landelijke particuliere radionetten (4 FM en Q-Music). Voor de VRT waren het aantal FM-en TV-antennes ongewijzigd gebleven t.o.v. eind 2002. In september 2005 waren er 17 DAB-zenders en 8 zenders van waaruit digitale DVB-T werden uitgezonden.

In 2011 zijn er volgens de Regularisator voor de Media in het Vlaamse gewest 298 FM-radiozenders voor lokale particuliere radio (bv. club FM Balen/Mol, Familyradio Meetjesland ...), Er zijn 28 FM radiozenders voor particuliere regionale radionetten (bv.

nostalgie) en 43 FM radiozenders voor particuliere landelijke radionetten (bv. Joe FM en Q-Music). Norkring (openbare omroepen) heeft nog steeds 32 zendinstallaties in beheer.

Sinds 2009 zijn de zendinstallaties voor TV in het beheer van Norkring België. Voor de DAB-zenders zijn er 3 extra zenders. Er zijn twee middengolfzenders gestopt, zodat er maar twee overblijven. Voor DVB-T zijn er voor de VRT geen wijzigingen t.o.v. 2004, maar er zijn wel extra zenders bijgekomen voor Norkring digitale licenties. Er zijn in 2011 geen analoge TV-zenders meer. De lidstaten van de Europese Unie hebben in 2003 beslist om tegen ten laatste 2012 via digitale etheruitzendingen aan de antennekijkers een ruimere programmakeuze aan te bieden. De analoge uitzendingen namen 4 tot 6 keer meer plaats in de ether dan digitale programma's. Bovendien was de kans op storingen groot. Digitale etheruitzendingen creëren ook nieuwe mogelijkheden zoals themakanalen, mobiele televisiediensten ... De geleidelijke overschakeling van analoge technologieën door de nieuwe digitale technologieën zorgde voor een overgangperiode waarin beide technologieën naast elkaar bestonden en tijdelijk verhoging van het uitgezonden vermogen betekenden. Sinds 3 november 2008 is het televisielandschap in Vlaanderen hierdoor veranderd. De analoge antennekijkers dienden over te schakelen op een ander systeem (bv. digitaal ethersysteem). De overheid organiseerde in 2008 een informatiecampaagne 'Weg met de sneeuw op je TV' (<http://www.cjasm.vlaanderen.be/media/archief/wegmetsneeuwopjetv/index.html>). Tabel 15 geeft een overzicht van de aantallen zendinstallaties voor TV en radio.

Tabel 15: Aantal zendinstallaties voor TV en radio (Vlaanderen, 2000, 2002, 2004)

	2000	2002	2004	2011
FM radiozenders voor particuliere lokale radio	310	296	293	289
FM radiozenders voor particuliere regionale radionetten	12		28	28
FM radiozenders voor particuliere landelijke radionetten	-	46	43	43
FM radiozenders voor openbare landelijke radionetten	32	32	32	32
<i>totaal FM radiozenders</i>	<i>354</i>	<i>374</i>	<i>396</i>	<i>392</i>
AM (midengolf) zenders	4	4	4	2
DAB zenders	-	16	17	20
analoge TV-zenders	7	8	8	0
digitale TV-zenders (DVB-T)	-	2	8	47
<i>totaal TV-zenders</i>	<i>7</i>	<i>10</i>	<i>16</i>	<i>47</i>

Bron: Administratie Media, VRT, VRM, Norkring

3.2 Opwekking van radiofrequente straling

3.2.1 Uitgezonden vermogen antennes voor omroep en mobiele communicatie

Elektromagnetische velden laten toe om zonder fysieke drager informatie over te dragen aan de lichtsnelheid. Het uitzenden van elektromagnetisch radiofrequent vermogen is dan ook de essentiële voorwaarde om *draadloze communicatie* tot stand te brengen.

Een goede drukindicator is de door de mobilofonie, tv, radio, radar en andere zendinstallaties uitgezonden radiofrequentie- en microgolfstraling in Vlaanderen. Zoals hierboven besproken zijn er velerlei bronnen van radiofrequentie- en microgolfstraling (zoals microgolfovens, GSM's, draadloze telefoons, enz.), zodat een allesomvattend cijfer voor deze indicator niet te berekenen is. Anderzijds blijkt uit metingen van de elektromagnetische veldsterkte dat meestal dezelfde bronnen relevant zijn: FM-radiozenders, televisiezenders en de zenders voor mobiele communicatie. Deze zenders hebben dan ook tot doel om in een bepaald uitgestrekt gebied een bepaalde dienst via elektromagnetische golven aan de eindgebruiker aan te bieden en zenden continu uit. Daarom zal voor deze drukindicator enkel de vaste zendantennes voor omroep en mobiele communicatie in rekening worden gebracht, waarbij weliswaar in het achterhoofd moet worden gehouden dat er nog vele andere bronnen kunnen zijn die lokaal een sterkere bijdrage kunnen leveren tot de emissie van radiofrequentie- en microgolfstraling (bv. private mobiele radio, amateur radio ...) Maar omdat deze bronnen meestal lokaal van aard zijn of niet continu uitzenden, en omdat gegevens erover niet

beschikbaar zijn, werden ze niet in rekening gebracht bij het berekenen van deze drukindicator. Voor het berekenen van de indicator beperken we ons ook tot het frequentiegebied 10 MHz – 10 GHz (het toepassingsgebied van het besluit van de Vlaamse regering van 19 november 2010 tot wijziging van besluit van de Vlaamse regering van 1 juni 1995 houdende algemene en sectorale bepalingen inzake milieuhygiëne wat betreft de normering van vast en tijdelijk opgestelde zendantennes voor elektromagnetische golven tussen 10 MHz en 10 GHz, BS 13/01/2011). Aangezien het totale uitgezonden vermogen afhankelijk is van het gebied dat men wil bedekken, is het totaal uitgezonden elektromagnetisch vermogen, uitgemiddeld over het hele Vlaamse gewest een goede indicator voor de druk.

Het vermogen dat in rekening moet worden gebracht is het vermogen aan de ingang van de antenne en niet het effectief uitgestraald vermogen (ERP of EIRP, waarbij de richtingsafhankelijke winst van de antenne in rekening wordt gebracht om het effectief uitgestraald vermogen te bepalen). Alhoewel de antennewinst lokaal een sterke verhoging van de uitgezonden vermogendichtheid kan veroorzaken, moet zij – samen met de hoogte van de antenne – ervoor zorgen dat het uitgezonden vermogen zo egaal mogelijk over het zendgebied wordt verspreid. Daardoor zullen antennes met een grote antennewinst hoger worden geplaatst. Indien zou rekening worden gehouden met de winst van de antenne, zouden toepassingen die slechts een klein gebied moeten bedekken (in het limietgeval bv. microgolfverbindingen die een punt-naar-punt verbinding tot stand brengen) sterk overschat worden. Tabel 16 vermeldt het totaal uitgezonden vermogen per toepassing, het totaal uitgezonden vermogen voor alle toepassingen samen en het gemiddelde uitgezonden vermogen per km². Figuur 18 toont het aandeel van de verschillende toepassingen in het ingeschatte totaal uitgezonden vermogen in Vlaanderen in 2011. Iets minder dan driekwart van het uitgezonden vermogen wordt uitgezonden door zendinstallaties voor TV- en radio. In deze berekening ontbreken echter de WIFI/LAN hotspots. De openbare hotspots (Belgacom/Telenet) en de particuliere hotspots in woningen stralen elk op zich weinig vermogen uit (100 mW EIRP), maar door hun grote aantal, zullen deze toch een beduidend aandeel van het totaal uitgezonden vermogen uitmaken.

Het uitgezonden vermogen tussen 2006 en 2011 is gedaald ondanks een stijging in uitgezonden vermogen door GSM/UMTS; digitale televisie en digitale radio. Deze daling van het totaal is te wijten aan een stopzetten van de middengolfzenders en het stopzetten van de analoge TV zenders.

De introductie van nieuwe digitale technologieën maakt het mogelijk om beter gebruik te maken van het schaarse frequentiespectrum om draadloos diensten aan te bieden. Dit zal dan ook gepaard gaan met een vermindering van het uitgezonden vermogen om een zelfde dienst aan te bieden. Meer en meer diensten zullen echter draadloos worden aangeboden, waarvoor het uitgezonden vermogen toch kan verhogen. Ook een verder stijging van het aantal WIFI/LAN hotspots in Vlaanderen zal het uitgezonden vermogen doen stijgen.

Hieronder wordt het uitgezonden vermogen door omroepen en het uitgezonden vermogen door GSM/UMTS-basisstations in detail besproken.

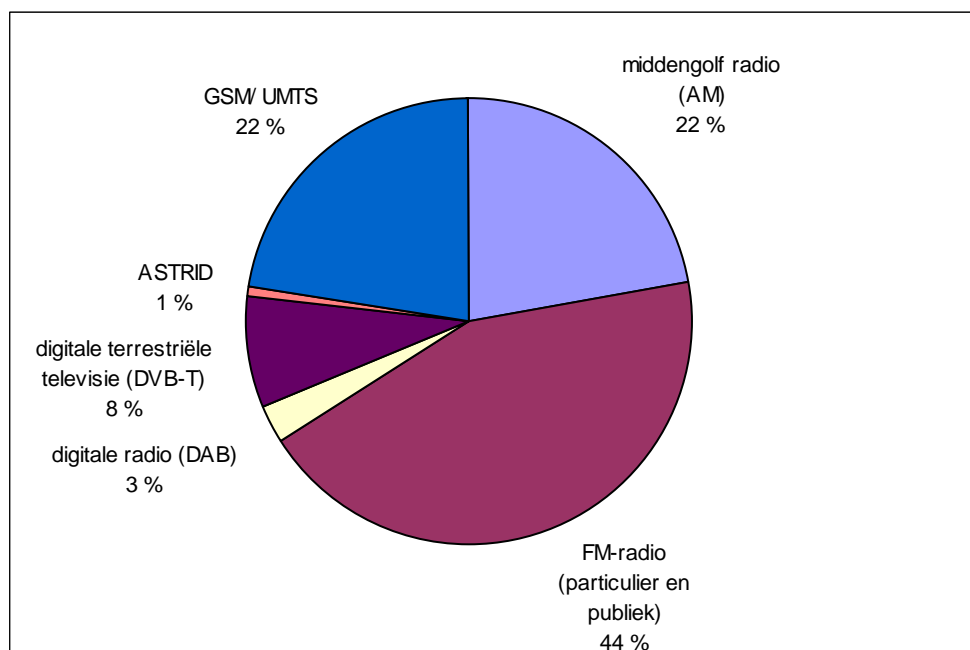
Tabel 16: Schatting van het uitgezonden vermogen per toepassing, totaal uitgezonden vermogen, en gemiddelde uitgezonden vermogen (2002/2003, 2004/2006, 2011)

toepassing	frequentie	uitgezonden vermogen		
		2002/2003	2004/2006	2011
middengolf radio (AM)	1 MHz	555 kW	555 kW	170 kW
FM-radio (particulier en publiek)	100 MHz	191 kW	320 kW	334 kW
digitale radio (DAB)	200 MHz	13 kW	13 kW	20 kW
analoge televisie	200 MHz tot 800 MHz	170 kW	170 kW	0 kW
digitale terrestriële televisie (DVB-T)	800 MHz	5 kW	14 kW	63 kW
ASTRID	400 MHz	..	..	6,3 kW
GSM / UMTS	900 MHz, 1 800 MHz, 2 000 MHz	560 kW *	137kW	171 kW
totaal uitgezonden vermogen		1 494 kW*°	1 209 kW°	764,3 kW
gemiddeld uitgezonden vermogen (W)/km ²		110*°	89°	56

* berekeningswijze van GSM / UMTS is voor 2002/2003 gewijzigd voor de daaropvolgende periodes waardoor 2002/2003 niet vergelijkbaar is met de andere jaartallen.° zonder uitgezonden vermogen ASTRID netwerk. Er werd in deze tabel geen rekening gehouden met de WIFI/LAN hotspots.

Bron: UGent op basis van BIPT, gegevensbank Sectie RF-straling; VRT; Administratie Media; MIRA op basis van Norkring, VRM, AGORIA/GOF, ASTRID

Figuur 18: Aandeel van de verschillende toepassingen in het totaal uitgezonden vermogen (Vlaanderen, 2011)



Bij deze verdeling werd geen rekening gehouden met de WIFI/LAN hotspots.

Bron: UGent op basis van BIPT, gegevensbank Sectie RF-straling; VRT; Administratie Media; MIRA op basis van Norkring, VRM, AGORIA/GOF, ASTRID

Antennes voor omroep

De gegevens betreffende de particuliere omroepzenders werden verstrekt door de Administratie Media in 2003 en 2005. De gegevens van 2011 zijn verstrekt door Vlaamse regulator voor de media. Om het totale uitgezonden vermogen voor de particuliere FM-radio te kennen, werd het toegelaten vermogen aan de ingang van de antenne gesommeerd voor alle lokale, regionale en alle landelijke particuliere FM-radio's. De gegevens voor de FM-radio zenders voor publieke omroep zijn verstrekt door de VRT tot 2005 en door Norkring in 2011, evenals de uitgezonden vermogens voor DAB-radio en DVB-T.

Het uitgezonden vermogen van digitale terrestriële televisie is toegenomen van 6 kW in 2002 tot 14 kW in 2005. In 2011 bedraagt het uitgezonden vermogen 63 kW. Deze stijging is een weergave van de groei van de digitale televisie. Voor radio valt vooral de daling van het uitgezonden vermogen door middengolfzenders op, door het stopzetten van twee zenders.

Antennes voor mobiele communicatie

Het uitgezonden vermogen voor GSM-antennes werd berekend op basis van het aantal sites. Hierbij werd uitgegaan dat er gemiddelde per site een drietal antennes werkzaam zijn. Voor de berekening van het uitgezonden vermogen werd de verdeling van de antennes volgens vermogen voor België overgenomen voor dit totale aantal antennes (Tabel 17).

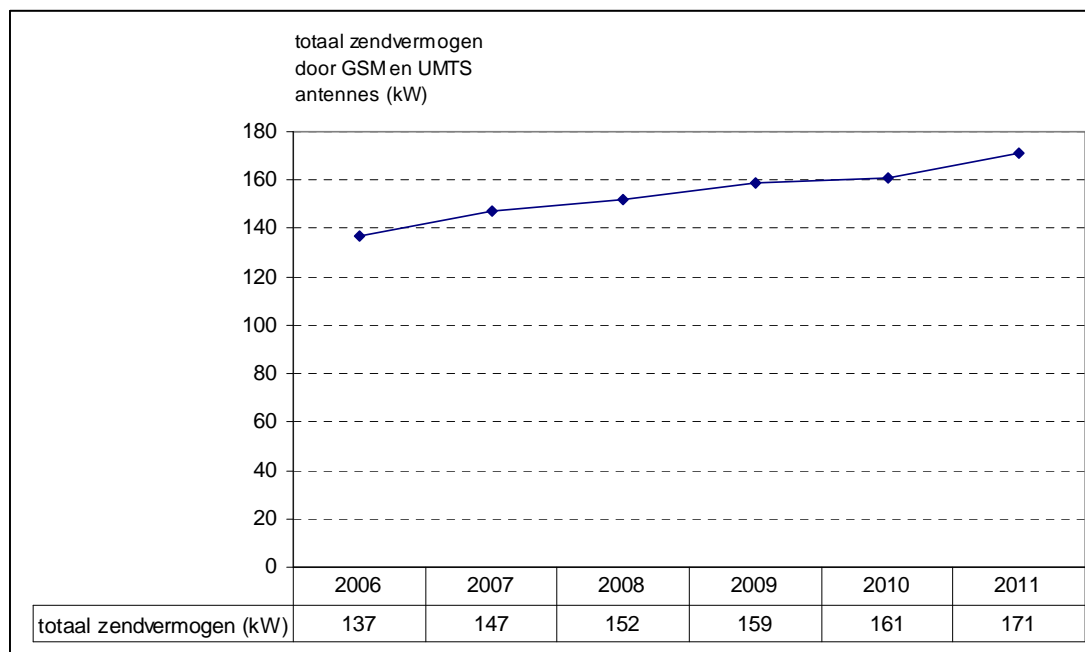
Tabel 17: Verdeling van de GSM- en UMTS-antennes volgens zendvermogen (België, 2010)

zendvermogen (W)	procent	aantal
meer dan 100	0,3	1 500
tussen 60 en 100	10	5 000
tussen 40 en 60	22,4	11 200
tussen 20 en 40	20,2	10 100
kleiner dan 20	47,1	23 550

Bron: BIPT

Hierbij veronderstellen we dat deze verdeling ook representatief is voor Vlaanderen en niet gewijzigd is in de periode 2006-2011. Figuur 19 toont het totaal uitgezonden vermogen voor GSM- en UMTS antennes in de periode 2006-2011. Het uitgezonden vermogen stijgt over de jaren heen door een toename van het aantal antennes. Bij vergelijking met eerdere cijfers uit 2002 waarbij een totaal uitgezonden vermogen van 560 kW werd teruggevonden, zijn er meerdere verklaringen voor de daling. Enerzijds zal het vermogen dalen wanneer er meer basisstations beschikbaar zijn (omdat het gebied dat elk basisstation moet dekken kleiner wordt). Anderzijds werd voor de cijfers van 2002 een andere berekeningsmethode gebruikt. Hierbij werd uit de antenne databank van het BIPT een gemiddeld vermogen uitgerekend en werd dit geëxtrapoleerd naar alle antennes. Eigen aan deze methode is dat in het vermelde vermogen in de databank van het BIPT door de operatoren soms een marge wordt gerekend, zodat het vermogen in realiteit soms lager zal liggen.

Figuur 19: Totaal uitgezonden vermogen door GSM- en UMTS-antennes (Vlaanderen, 2006-2011)



Bron: MIRA op basis van BIPT, AGORIA/GOF

3.2.2 Uitgezonden vermogen GSM-en UMTS-toestel

Het maximaal uitgestraalde vermogen van een GSM-toestel in de vrije ruimte is 2 W. Het vermogen van een antenne op het basisstation varieert van vermogens kleiner dan 1 W voor picocellen, tot maximale vermogens van ca. 100 W voor macrocellen. Het uitgezonden vermogen van de GSM-toestel is afhankelijk van de kwaliteit van de verbinding tussen basisstation en mobilofoon: hoe beter die kwaliteit is (bv. wanneer men zich dicht bij het basisstation bevindt), hoe lager het vermogen is, dat door de telefoon wordt uitgezonden.

Het gsm-toestel is niet permanent in gebruik en geeft bij uitschakeling geen straling. In de 'standby'-toestand zendt het gsm-toestel sporadisch signalen uit voor de communicatie met het dichtbijzijnde basisstation. Aangezien het gsm-toestel dicht bij het hoofd op ongeveer 2 cm afstand wordt gehouden, moet men de nabije-velden bepalen. Deze zijn sterk afhankelijk van het ontwerp van de telefoon. Ook het hoofd van de gebruiker wijzigt de velden sterk. Het heeft bijgevolg geen nut emissiewaarden en –normen voor de elektromagnetische velden op te geven; wel is er behoefte aan blootstellingsnormen.

De emissie is het laagst als het vermogen van het gsm-toestel op iedere plaats wordt geminimaliseerd zoals nu bij het GSM-systeem. In de auto gebruikt men best een mobilofoon aangesloten op een antenne op het dak, omdat het gsm-toestelgebruiker hierdoor het minst energie opneemt door de afschermdende werking van de autocarrosserie. Als daarentegen een mobilofoon met ingebouwde antenne in de auto wordt gebruikt zal het uitgestraalde vermogen zeer moeilijk de auto verlaten om dezelfde reden, zodat het gsm-toestel op maximaal vermogen zal uitzenden. Meer antennes en bijgevolg kleinere cellen verlagen het nodige vermogen. Bij het GSM1800-systeem is het nodige vermogen twee maal lager dan bij het GSM900-systeem. Bij het UMTS systeem worden kleinere cellen gebruikt en is het uitgezonden vermogen lager. Het rms-vermogen van UMTS-toestellen varieert van 125 tot 250 mW.

3.3 Radiofrequentie en microgolfstraling in de omgeving

3.3.1 Elektrisch veld rond GSM-zendmasten

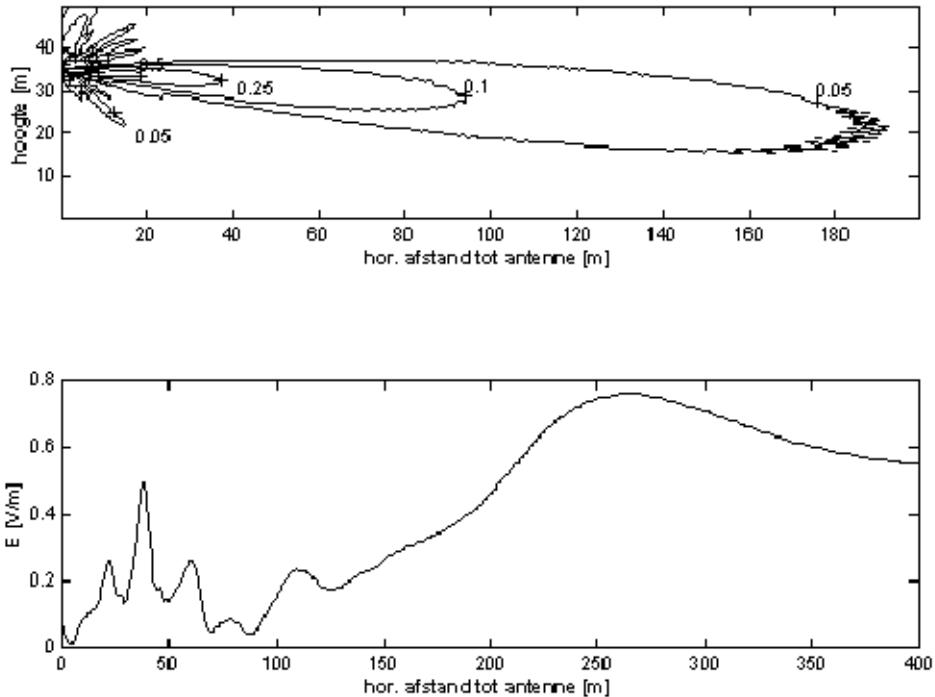
Algemene situatie rond een GSM-zendmast

De *maximum stralingsfluxdichtheid of vermogendichtheid* is omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand. Uit schattingen blijkt dat op 20 meter afstand van een pyloon (20 W vermogen aan de ingang van de antenne, antennewinst 18 dBi) in de richting waar de antenne maximaal straalt, de vermogendichtheid p_{max} ongeveer 0,25 W/m² (E-veld = 10 V/m) bedraagt en de p -waarde op de grond blijkt meestal lager te zijn. De gevonden waarde staat tegenover een voormalige Belgische norm voor p_{max} van 1,12 W/m² (20,6 V/m) voor de 900 MHz band. Bij antennes op daken kan de afstand korter zijn. Juist onder de antenne zijn evenwel de velden of de stralingsfluxdichtheid lager wegens de eigenschappen van het stralingspatroon van de antenne. Daarenboven kan het dak voor een zekere afscherming zorgen. Bij een basisstation is zodoende de straling laag maar kan de blootstelling langdurig zijn, bv. bij antennes op daken van scholen.

Figuur 20 illustreert het *verloop van het E-veld* dat berekend werd voor een typische macrocel-zendantenne (900 MHz-band; 20 W) die op een hoogte van 35 m op een pyloon geplaatst is. In de figuur wordt bovenaan de verhouding van het berekende elektrische veld tot de voormalige Belgische norm (20,6 V/m bij 900 MHz) gegeven in een vertikaal vlak doorheen de GSM-antenne. In de richting met maximale winst, liggen op een afstand van meer dan 10 m de veldwaarden onder de voormalige Belgische norm, voor afstanden groter dan 20 m zijn de elektrische veldwaarden teruggevallen op de helft van de voormalige Belgische norm en op 40 m is dit al minder dan een kwart hiervan. Op de onderste helft van Figuur 20 is de sterke richtingsafhankelijkheid van de antenne geïllustreerd: op manhoogte (1,75 m) komen de maximale veldwaarden voor op het punt waar de hoofdbundel de grond raakt (d.i. op 250 m) en niet vlak onder de antenne. Voor de berekeningen werd enkel de invloed van de grond in rekening gebracht (dus geen blokkerende en/of reflecterende effecten van bebouwing of aanplanting). De berekende elektrische veldwaarden zijn enkel geldig in het verre-veld van de antenne.

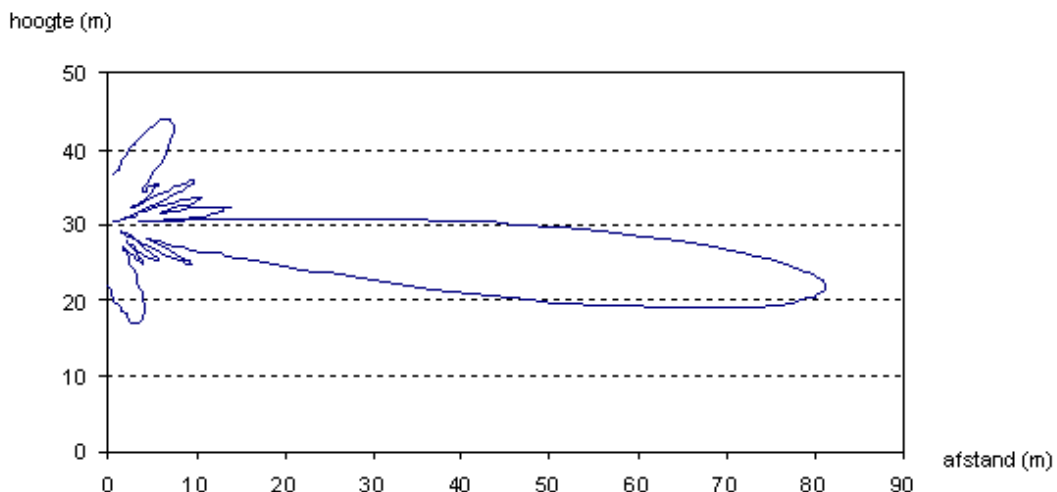
Omdat de Belgische norm sinds februari 2009 niet meer van toepassing is en er sinds dat jaar regionale normen gelden geeft Figuur 21 ook het voorbeeld van een 3 V/m contour die in de regionale normen, zij het met belangrijke nuances al naargelang de regio, is opgenomen. De figuur geeft het voorbeeld van een Kathrein 741327 (17 dBi) antenne die op 30 m hoogte is geplaatst (= ongeveer 8 à 10 verdiepingen van een gebouw), een vermogen heeft van 40 W en een 'tilt' of stralingshoek van 6°. In dit voorbeeld is het duidelijk dat er minder dan 3 V/m wordt opgetekend beneden een hoogte van 18 m en op een afstand van meer dan 82 m.

Figuur 20: Contour in het verticaal vlak door een GSM-zendantenne, in de richting met de maximale winst, van de verhouding van het elektrisch-veld tot de referentiewaarde voor 20,6 V/m (bovenaan); elektrisch veld op een hoogte van 1,75 m boven de grond (onderaan)



Bron: Vakgroep Informatietechnologie, UGent (2003)

Figuur 21: Contour in het verticaal vlak door een GSM-zendantenne, in de richting met de maximale winst, van de verhouding van het elektrisch-veld tot de 3V/m contour



Bron: ISSeP (2011)

De toename van het aantal basisstations in het cellulaire systeem zal de elektromagnetische velden en dus ook de nodige vermogendichtheid doen dalen om een voldoende kwaliteit van de verbinding te waarborgen. Bijvoorbeeld het verdubbelen van het aantal basisstations betekent het halveren van de celoppervlakte, en ook van het uitgezonden vermogen en dus

van de vermogendichtheid. Daar tegenover staat de toename in het landschap van het aantal antennes op daken of pylonen. Anderzijds zal, bij toenemende vraag naar mobiele telecommunicatiediensten, het uitgezonden vermogen toenemen om voldoende capaciteit te kunnen aanbieden.

Situatie in Vlaanderen en België

Algemene meetgegevens van elektromagnetische veldwaarden in Vlaanderen ontbreken, omdat er geen periodieke gebiedsdekkende meetcampagnes zijn uitgevoerd. Fragmentarisch zijn er wel meetgegevens aanwezig.

Het BIPT heeft sedert juni 2000 vele metingen van het elektrische veld uitgevoerd. Het histogram van de gemeten elektrische veldwaarden is gegeven in Figuur 22. Deze figuur geeft het aantal meetpunten aan afhankelijk van het gemeten niveau. Zo geeft de eerste balk in het staafdiagram het aantal meetpunten waar het gemeten niveau tussen 0 V/m en 0,2 V/m ligt, de tweede balk het aantal meetpunten waar het gemeten niveau tussen 0,2 V/m en 0,4 V/m ligt ... Men kan zo constateren dat het gemeten niveau in de meeste gevallen lager is dan 1 V/m, en slechts uitzonderlijk hoger dan 3 V/m wat strookt met de aanbevelingen van de Hoge GezondheidsRaad (HGR) en nu in de regionale normen is opgenomen. Deze meetgegevens dateren van 2005 maar zijn tegenwoordig gelijkaardig. Er zijn vele nieuwe meetresultaten die eenzelfde verdeling van de velden weergeven (o.a. uitgevoerd door ISSeP in Wallonië). Het is ook belangrijk te melden dat de cijfers >10 V/m bekomen zijn bij metingen op daken van woningen en dus eigenlijk op plaatsen waar mensen normaliter nooit komen.

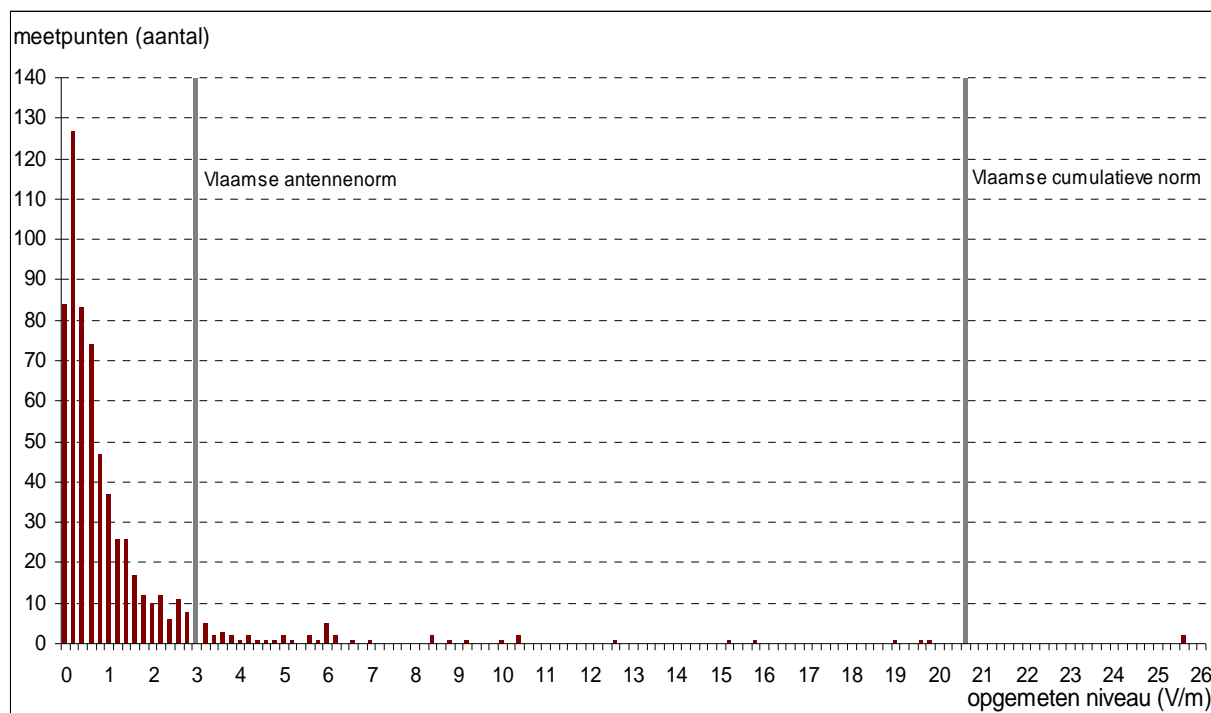
De metingen van het BIPT bevatten enkel de bijdrage van de GSM-zendantennes, en omdat de frequentie van de gemeten velden niet beschikbaar is, is een vergelijking met de blootstellingsnorm wel moeilijk. In vergelijking tot de referentieniveaus van de vroegere Belgische norm die nu deels door Vlaanderen is overgenomen liggen de meetwaarden alleszins ver onder de norm.

Tabel 18: (Voormalige) Belgische (en huidige Vlaamse) referentieniveaus voor mobiele telefonie

norm	frequentieband	E (V/m)	H (A/m)
GSM900	900 MHz	20,6	0,055 (B= 0,068 μ T)
GSM1800	1 800 MHz	29,1	0,077 (B= 0,096 μ T)
UMTS	2 000 MHz	30,5	0,08 (B= 0,010 μ T)

Bron: KB van Belgisch Staatsblad van 22 mei 2001

Figuur 22: Histogram van het gemeten elektrische veld (België, 2000-2005)



Schaalverdeling horizontale as 0,2 V/m, GSM 900 - 1800: aantal meetpunten afhankelijk van het gemeten niveau, aantal dossiers: 267, aantal metingen: 631; laatste update 04-2005

Bron: Nationale Dienst voor de Controle op het Spectrum, BIPT (2005)

3.4 Beleid, maatregelen en doelstellingen

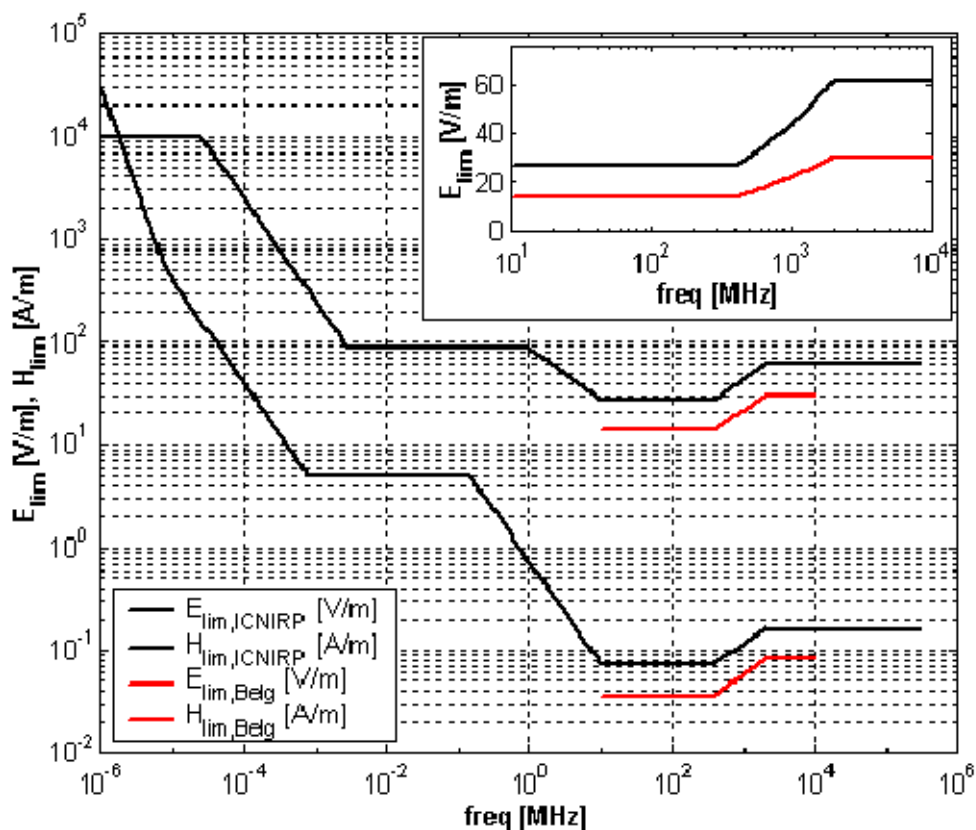
GSM-masten

Op 12 juli 1999 heeft de *raad van de Europese Unie* een aanbeveling in verband met niet-ioniserende elektromagnetische straling uitgevaardigd (Raad van de EU, 1999). Deze aanbeveling bevat basisbeperingen voor de absorptie van elektromagnetische velden door het menselijk lichaam. De basisbeperingen voor absorptie zijn bepaald op basis van gekende opwarmingseffecten en een veiligheidsfactor. Omdat de basisbeperingen voor absorptie moeilijk meetbaar zijn, werden voor deze basisbeperingen referentieniveaus bepaald. Die referentieniveaus kunnen makkelijker bepaald worden dan het voldoen aan de basisbeperingen. Als die referentieniveaus voor de elektromagnetische velden niet worden overschreden, zal aan de basisbeperingen voldaan zijn. Het omgekeerde geldt echter niet: het is mogelijk dat aan de basisbeperingen voldaan wordt, maar dat de referentieniveaus toch overschreden worden (bv. sterkte van de velden van een mobiele telefoon in de buurt van het hoofd van de gebruiker).

Men maakt een onderscheid tussen referentieniveaus voor de algemene bevolking en de beroepsbevolking, de mensen die beroepshalve in aanraking komen met elektromagnetische straling bv. onderhoudstechnicus van GSM-masten. De referentieniveaus zijn lager (dus strenger) voor de algemene bevolking dan voor de beroepsbevolking. Figuur 23 geeft de referentieniveaus (rms-waarden van de velden) voor het elektrische en magnetisch veld waaraan de algemene bevolking mag worden blootgesteld. Deze richtlijnen zijn opgesteld door de International Commission for Non-Ionising Radiation Protection (ICNIRP, 1998). In een recente update heeft ICNIRP bevestigd dat ze op basis van de inmiddels verschenen nieuwe gegevens geen redenen ziet om haar aanbevelingen bij te sturen en behoudt ze deze richtlijnen (ICNIRP, 2009). De niveaus zijn afhankelijk van de frequenties omdat de koppeling van het elektromagnetische veld met het menselijk lichaam zal verschillen in functie van de frequentie. Zo geldt als ICNIRP-referentieniveau voor de blootstelling aan een elektrisch veld

(E) van 900 MHz een veldsterkte van 42 V/m terwijl dat bij 1 800 MHz 58 V/m bedraagt. Bij 2 000 MHz is dit ICNIRP-referentieniveau 61 V/m.

Figuur 23: Referentieniveaus voor het elektrisch en magnetisch veld waaraan de algemene bevolking maximaal continu mag worden blootgesteld



Bron: Raad van de EU, 1999, K.B. 29-04-2001 (Belgisch Staatsblad 22-05-2001)

Op 4 december 2000 werd een akkoord bereikt tussen de Federale Ministers en de Waalse, Vlaamse en Brusselse Gewestministers van Leefmilieu en Ruimtelijke Ordening over de normering van zendmasten voor elektromagnetische golven tussen 10 MHz en 10 GHz. wat resulteert in het Koninklijk Besluit van 29 april 2001 (Belgisch Staatsblad, 22-05-2001), gewijzigd bij Koninklijk Besluit van 21 december 2001.

Deze blootstellingsnorm bepaalt dat naast de voorschriften i.v.m. stevigheid en veiligheid (risico van omvallen, blikseminslag) de operatoren ook het uitzendvermogen maximaal moeten beperken in functie van de technische noodzakelijkheden voor een kwalitatieve dienstverlening. Volgens deze koninklijke besluiten is elke eigenaar van een vaste zendantenne verplicht voor deze antenne een studie te maken in welke mate hij bijdraagt tot de totale blootstelling aan elektromagnetische straling, zodat hij kan aantonen dat de antenne voldoet aan de normen voor blootstelling aan elektromagnetische golven vermeld in het K.B. van 21 december 2001 (Belgisch Staatsblad, 29-12-2001). In elk geval moet de totale blootstelling van de bevolking aan elektromagnetische velden lager zijn dan 0,02 W/kg (uitgemiddeld over het ganse lichaam). 0,02 W/kg is de basisnorm die gebaseerd is op de SAR en is een vaste waarde bij de veiligheidsfactor 200. Uitgedrukt in elektromagnetische veldsterkte komt dit neer op een referentienorm van 20,6 V/m ($1,12 \text{ W/m}^2$) bij 900 MHz, 29,1 V/m ($2,24 \text{ W/m}^2$) bij 1 800 MHz en 30,5 V/m ($2,5 \text{ W/m}^2$) bij 2 000 MHz. De elektromagnetische veldsterkte is geen vast getal en moet in de wetenschappelijke formule van de ICNIRP-richtlijn ingevuld worden waardoor de grenswaarden variëren volgens de

frequentieband. De wetenschappelijke basis voor het bepalen van de norm is de ICNIRP-richtlijn.

Tabel 19 geeft een overzicht van respectievelijk de ICNIRP-richtlijn (van 1998 maar nog steeds van toepassing) en de (voormalige) Belgische norm en huidige Vlaamse norm voor het totale stralingsveld van alle vast opgestelde zendantennes (10 MHz – 10 GHz). Voor de berekening van de normwaarde per frequentieband wordt de frequentie in Tabel 19 steeds uitgedrukt in MHz.

Tabel 19: ICNIRP-richtlijn en voormalige Belgische norm in functie voor elektromagnetische straling tussen 10 MHz en 10 GHz

frequentie	ICNIRP veiligheidsfactor 50		voormalige Belgische norm volgens voorzorgprincipe veiligheidsfactor 200		Vlaamse norm
	vermogen- dichtheid (W/m ²)	elektrisch veld (V/m)	vermogen- dichtheid (W/m ²)	elektrisch veld (V/m)	elektrisch veld (V/m)
10 – 400 MHz	2	27,5	0,5	13,7	13,7
400 MHz - 2 GHz	f/200	1,37√f	f/800 (900 MHz=1,12 W/ m ²) (1 800 MHz=2,24 W /m ²)	0,686√f (900 MHz=20,6 V/m) (1 800MHz=29, 1 V/m)	0,686√f
2 – 10 GHz	10	61,4	2,5	30,7	30,7

Bron: KB van Belgisch Staatsblad van 22 mei 2001

Voor de overige frequenties gelden de Europese en internationale aanbevelingen.

$$\sum_{10\text{MHz}}^{10\text{GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{\text{ref}}} \right)^2 \leq 1$$

De in Tabel 19 aangehaalde normwaarden zijn slechts van toepassing voor elektromagnetische velden met een zelfde golffrequentie. De (voormalige) Belgische norm voor samengestelde elektromagnetische velden in het frequentiedomein van 10 MHz tot 10 GHz houdt in dat het kwadraat van de som van het waargenomen elektrisch veld bij frequentie i (E_i) gedeeld door haar overkomstig referentieniveau (E_{ref}) van de normbepaling niet groter mag zijn dan 1 (zie formule)

E_i is de waargenomen elektrische veldsterkte bij frequentie i en E_{ref} het overeenkomende referentieniveau voor de veldsterkte zoals gegeven in tabel 8. De formule garandeert dat de gecumuleerde SAR ten gevolge van de verschillende bronnen de basisrestricties niet kan overschrijden. Wanneer meerdere sterke signalen aanwezig zijn, zou het kunnen dat de blootstelling t.g.v. elke bron apart de limieten niet overschrijdt, maar de gecumuleerde blootstelling wel. Indien de blootstelling gekarakteriseerd wordt, moet dan ook de totale frequentieband beschouwd worden.

Het BIPT werd als controlerende instantie aangeduid voor deze wet. Voor nieuwe installaties werd sinds 2002 een dossier ingediend, voor installaties die dateren voor 2002 werd alsnog een dossier opgemaakt tegen eind 2006.

Op 23 mei 2001 werd door het Vlaams Parlement de resolutie betreffende de inplanting van GSM-masten aangenomen. Samengevat vraagt het Vlaamse Parlement aan de Vlaamse regering om maatregelen te nemen i.v.m.:

- afdoende informatie voor de omwonenden;

- alternatieven zoeken voor inplantingsplaats van mast(en);
- GSM- en andere zendantennes die op minder dan 300 m van scholen of ziekenhuizen staan te behandelen als milieuvergunningplichtig (klasse 2);
- ander zendantennes als meldingsplichtig (klasse 3) te beschouwen;
- het opmaken van databank van antennesites;
- maximale coördinatie tussen controlemetingen (BIPT) en Vlaamse overheid;
- het bevorderen van het wetenschappelijk onderzoek in Vlaanderen i.v.m. de gezondheidseffecten van GSM- en andere zendmasten (Vindevogel, 2001).

Op 15 december 2004 vernietigde de Raad van State het Koninklijk Besluit houdende de normering van zendmasten voor elektromagnetische golven tussen 10 MHz en 10 GHz. Op 22 september 2005 verscheen in het Belgisch Staatsblad het Koninklijk besluit van 10 augustus 2005 houdende de normering van zendmasten voor elektromagnetische golven tussen 10 MHz en 10 GHz. waardoor de leemte die ontstond door de vernietiging van het vorige K.B. door de Raad van State terug ingevuld was.

Het Grondwettelijk Hof oordeelde in januari 2009 dat deze materie aan de gewesten toebehoort in het kader van de milieuwetgeving. Het KB van 10 augustus 2005 werd in mei 2009 door de Raad van State vernietigd naar aanleiding van dit arrest van het Grondwettelijk Hof waardoor opnieuw een juridisch vacuüm ontstond tot de Belgische norm vervangen werd door de regionale normen. De regionale normen zijn strenger dan de voormalige Belgische norm. Die verstrenging van de normen heeft o.a. te maken met de aanbevelingen van de Hoge GezondheidsRaad die vooral op basis van het voorzorgsprincipe 3V/m als blootstellingsnorm adviseerde. De invulling ervan werd door de gewesten wel verschillend geïmplementeerd en is ook verschillend van wat wij in het buitenland waarnemen. In België hebben we thans normen die behoren tot de strengste in Europa en de wereld (vooral in het Brussels hoofdstedelijk gewest). Het BIPT was sinds het arrest niet meer automatisch belast met de controle. Voor Vlaanderen werd een protocol opgesteld tussen de Vlaamse minister voor Leefmilieu en het BIPT zodat er toch controle metingen werden uitgevoerd tijdens dit vacuüm.

Het Vlaams parlement diende op 7 januari 2009 een resolutie in betreffende de normering van niet-ioniserende straling. Hierin werd gevraagd om de (toen nog federale) normering te laten dalen tot 3 V/m wat 50 maal lager is dan de toenmalige Belgische norm.

Op 2 april 2010 keurde de Vlaamse regering een ontwerp van besluit principieel goed i.v.m. de normering van vast opgestelde zendantennes voor elektromagnetische golven tussen 10 MHz en 10 GHz. Op 9 juli 2010 werd het ontwerp van besluit in een tweede lezing goedgekeurd (VR 2010 0907 DOC.0600). Pas na voorlegging van dit ontwerp van besluit aan de Raad van State kan dit besluit ook effectief definitief worden goedgekeurd. In dit besluit wordt de stralingsterkte begrensd op twee manieren:

- 3 V/m per antenne voor verblijfplaatsen (inclusief speelplaatsen, ziekenhuizen ...);
- 20,6 V/m bij 900 MHz voor het totale stralingsveld van alle vast opgestelde zendantennes (10 MHz – 10 GHz).

De norm voor het totale stralingsveld komt dus overeen met de voormalige Belgische norm voor antennes.

In Vlaanderen worden sinds het voorjaar 2011 milieuattesten afgeleverd door het departement Leefmilieu, Natuur en Energie (<http://www.lne.be/themas/milieu-en-gezondheid/regelgeving-zendantennes>). Deze attesten gaan twee zaken na:

- de totale blootstelling te wijten aan alle bronnen die uitzenden tussen 10 MHz en 10 GHz.
- nagaan of de blootstelling te wijten aan de individuele antennes binnen bepaalde normen blijven.

Voor het analyseren van de aangevraagde attesten en het verzorgen van eerstelijnsmetingen doet de Vlaamse overheid beroep op het BIPT, dit in afwachting van het uitvoeren van de basismetingen (breedbandmetingen) door de Vlaamse milieu-inspectie. De smalbandmetingen zullen blijvend worden uitgevoerd door het BIPT.

In de andere regio's zijn volgende normen van kracht:

Voor het Brussels Hoofdstedelijk gewest is een norm van 3 V/m bij 900 MHz. Dit geldt voor het totale elektromagnetische veld afkomstig van verschillende stralingsbronnen samen en voor alle gebieden die toegankelijk zijn voor het publiek. Toestellen gebruikt door particulieren (draadloze telefoons, antennes gebruikt door radioamateurs ...) vallen buiten de norm.

In 2011 is in Wallonië een decreet van kracht dat het elektromagnetisch veld voor alle radiofrequenties ook tot 3 V/m beperkt, maar wel per antenne. Het totale elektromagnetisch veld is dus niet beperkt. De norm geldt ook alleen voor verblijfplaatsen m.i.v. scholen, sport- en spelterreinen, ziekenhuizen e.d. maar niet voor wegen, parken, tuinen, terrassen e.d. waar mensen slechts af en toe komen.

Product (toestellen)

Als de elektrische en magnetische velden of de vermogendichtheid in een gebied gekend zijn, kunnen theoretische modellen de depositie in de mens bepalen. Maatstaf voor de depositie bij mobilfoonfrequenties is de 'Specific Absorption Rate' (SAR) of specifiek absorptietempo (SAT) [W/kg]. De depositie is afhankelijk van de sterkte van de bron, de aard van de bron (frequentie, antennevorm ...) en de afstand tot de bron (Kuster et al., 1997) en ook van de veldpolarisatie (E-, H- of K-polarisatie) of de opstelling van het blootgestelde individu t.o.v. het invallende veld (Joseph, 2003, 2005). Enerzijds is de SAR groter wanneer het E-veld meer evenwijdig dan loodrecht op het lichaam gericht is (E-polarisatie) en anderzijds is de SAR ook groter wanneer het H-veld loodrecht op de grootste lichaamsdoorsnede staat dan wanneer het loodrecht op de kleinste lichaamsdoorsnede staat. De SAR wordt niet rechtstreeks op de mens gemeten maar men neemt hiervoor zijn toevlucht tot zogenaamde fantomen ('phantoms'): voor het meten van de SAR tijdens het gebruik van mobiele telefoons maakt men gebruik van een standaard fantoomhoofd, door middel van industriële robots en aangepaste software wordt de SAR in drie dimensies doorheen dit hoofd gekarakteriseerd. De bepaling van de SAR is zeer moeilijk wegens de complexiteit van de mens en de elektromagnetische straling uitgezonden door de telefoon (Martens, 1994). Toch bevestigen alle studies dat 50 % of meer van het vermogen uitgezonden door een telefoon met klassieke draadantenne geabsorbeerd wordt in het hoofd. De SAR is meestal maximaal nabij het oor en neemt vrij snel af dieper in het hoofd van de gebruiker. De SAR is zeer afhankelijk van het type telefoon. Microwave News (1997) vermeldt dat de maximale SAR bij 16 GSM- mobilfoons varieert tussen 0,28 W/kg en 1,33 W/kg. De 16 toestellen voldoen aan de Europese norm van 2 W/kg. Een SAR_{max} van 1,33 W/kg komt wel dicht in de buurt van de voorgestelde grens. Nieuwe technologie vereist nieuw onderzoek. Tegenwoordig zijn fabrikanten van mobilfoons in het kader van de R&TTE directieve (1999/5/EC) (zie verder) verplicht een conformiteitsverklaring te geven waarin gesteld wordt dat de maximale lokale SAR van de telefoon onder de Europese norm ligt. Recente modellen hebben een maximale lokale SAR die kleiner is dan 1 W/kg.

De SAR in het mobilfoonfrequentiegebied zal dalen met het verkleinen van de cellen, met een evenredig lager vermogen gebruikt door het gsm-toestel. De blootstelling door de basisstations zal evenredig stijgen met het aantal operatoren met elk een volledige bedekking van het grondgebied, maar de depositie veroorzaakt door een antenne op een basistation op afstanden waar de algemene bevolking zich bevindt, is zeer laag.

Voor een onbeperkte blootstelling van het hele lichaam geldt algemeen:

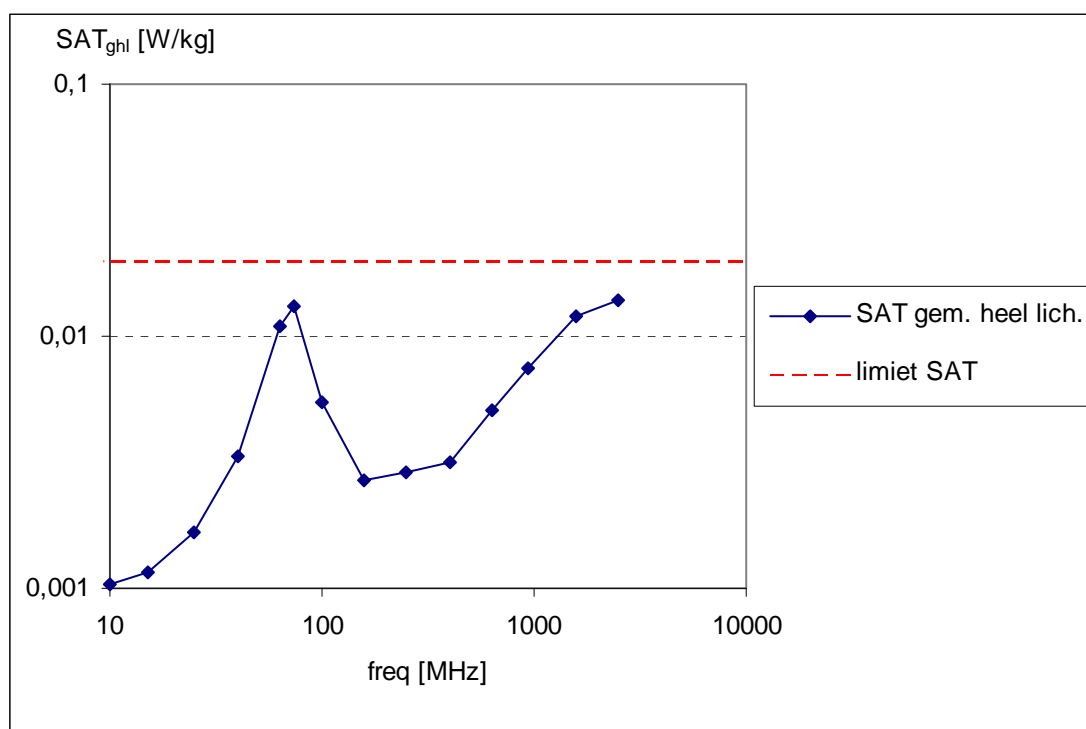
$$\text{SAR} \leq 0,08 \text{ W/kg (ICNIRP-richtlijn)} \quad \text{SAR} \leq 0,02 \text{ W/kg (Belgische norm)}$$

Om allerlei redenen, zoals een controleerbare blootstelling, het op de hoogte zijn van de mogelijke risico's en het kunnen nemen van voorzorgsmaatregelen, zal men bij beroepsmatige blootstelling een hogere waarde toelaten. Dan geldt:

$$SAR_{\text{prof}} \leq 0,4 \text{ W/kg (ICNIRP-richtlijn)}$$

Deze grens is geldig voor een gehele lichaamsblootstelling uitgemiddeld over periodes van 6 minuten. In Figuur 24 en Tabel 20 is in functie van de frequentie, de SAR of SAT uitgemiddeld over het hele lichaam gegeven bij een blootstelling aan een vermogendichtheid corresponderend met het referentieniveau voor 20,6 V/m. Eveneens is de maximale Belgisch SAR-limiet (0,02 W/kg) met stippellijn aangeduid. De SAR-waarden werden in het menselijk lichaam berekend met behulp van elektromagnetische simulatiesoftware (FDTD-software). Het invallend veld was een vlakke golf en de mens bevond zich in de vrije ruimte. Men ziet duidelijk bij 75 MHz het resonantie-effect van het menselijk lichaam. Hieruit blijkt ook dat in dit geval de referentieniveaus een bijkomende veiligheidsfactor bieden, t.o.v. de basisrestricties.

Figuur 24: SAT-waarde i.f.v. de frequentie uitgemiddeld over het hele lichaam bij blootstelling aan een vermogendichtheid bij het referentieniveau van 20,6 V/m



Bron: Simulaties vakgroep Informatietechnologie, UGent (2003)

Tabel 20: SAT-waarde i.f.v. de frequentie uitgemiddeld over het hele lichaam bij blootstelling aan een vermogendichtheid bij het referentieniveau van 20,6 V/m

freq [MHz]	SAT _{ghl} [W/kg]
10	0,001
15	0,001
25	0,002
40	0,003
63	0,011
73	0,013
100	0,006
158	0,003
251	0,003
398	0,003
631	0,005
947	0,007
1 585	0,012
2 512	0,014

Bron: Simulaties vakgroep Informatietechnologie, UGent (2003)

Voor gedeeltelijke blootstellingen van het lichaam stelt de Hoge Gezondheidsraad België (HGR, 2000) een SAR-grenswaarde voor van 2 W/kg voor het algemeen publiek en 10 W/kg voor de beroepsbevolking. In beide gevallen gebeurt de uitmiddeling over ieder interval van 6 minuten en over iedere 10 gram weefsel. Tabel 21 geeft een overzicht van de internationale limietwaarden van de SAR voor mobiele telefoons.

Tabel 21: Internationale limietwaarden van de SAR voor mobiele telefoons

	Australië ACA	USA ANSI C95.1 AN	Europa ENV50166	Japan TTC/MPT	N. Zeeland NZS2772	Taiwan DGT
geheel lichaam (W/kg)	0,08	0,08	0,08	0,04	0,08	0,08
ruimtelijke Piek (W/kg)	1,6	1,6	2	2	2	1,6
uitmiddelingstijd (min)	6	30	6	6	6	30
gemiddelde massa (gram)	1	1	10	10	10	1

Bron: Microwave Engineering (2001)

Constructeurs van zaktelefoons kunnen modellen ontwikkelen die minder absorptie in het hoofd veroorzaken. Soms wordt melding gemaakt van in de handel beschikbare toestelletjes of 'beschermers' die de blootstelling beperken. Deze zijn echter niet effectief en zullen zelfs vaak de blootstelling verhogen. In geval er een zekere afscherming van straling mogelijk is zullen hogere vermogens vereist zijn voor een goede ontvangst en dus meer blootstelling veroorzaken.

Radiotoestellen

Op Europees niveau wordt een regelgeving uitgewerkt in het kader van de R&TTE (Radio Equipment and Telecommunications Terminal Equipment) directieve (1999/5/EC). Deze richtlijn stelt voorwaarden op voor het op de markt brengen van en in werking stellen van radio-installaties. De richtlijn heeft als doel om te verzekeren dat apparatuur die gebruikt wordt zoals voorgeschreven, de blootstellingslimieten in de Europese aanbeveling niet overschrijden. Deze richtlijn verzekert echter niet dat de apparatuur voldoet aan de Belgische richtlijn die vier keer strenger is dan de Europese.

Microgolfovens

Microgolfovens zijn zo ontworpen dat de microgolven binnen in de oven blijven en enkel aanwezig zijn als het toestel aangeschakeld en de deur gesloten is. Lekkage door het glas in de deur en door kierren langs de deur is beperkt en genormeerd. Om lekstraling zo veel mogelijk te vermijden is het belangrijk dat de oven goed onderhouden wordt. Ovens met kapotte dichtingen of bekisting kunnen immers voor een grotere lekstraling zorgen (WHO, 2005c). De emissienorm voor de maximale lekstraling bij *microgolfovens* luidt:

- vóór verkoop: mag de intensiteit van maximale lekstraling op een afstand van 5 cm niet groter zijn dan 1 mW/cm^2 ;
- na verkoop: niet groter dan 5 mW/cm^2 .

Dit wordt telkens gemeten volgens de IEC-norm 335-2-25 (1988) met een standaardbelasting in de oven van 275 ml kraanwater aan 20° C. Gelijkwaardige normen zijn van toepassing voor andere elektrische toestellen.

3.5 Situatie in onze buurlanden

In verschillende buurlanden werd met behulp van meetcampagnes de blootstelling aan elektromagnetische velden gekarakteriseerd. In *Duitsland* heeft de RegTP (Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post) in 1992, 1996/1997 en in 1999/2000 een uitgebreide meetcampagne uitgevoerd in het frequentiegebied 9 kHz – 18,5 GHz. In de eerste campagnes werden het elektromagnetisch veld op een duizendtal plaatsen gekarakteriseerd, in de campagne van 1999/2000 werden de elektrische velden op 3 600 posities gemeten. In juli 2005 is de dienst voor Telecommunicatie en Post ondergebracht in het Bundesnetzagentur. Een EMF-databank is beschikbaar op <http://emf.bundesnetzagentur.de>.

In *Frankrijk* voert de ANFR (Agence Nationale des Fréquences) sinds 2001 elektromagnetische veldmetingen uit. Tussen 2001 en 2004 is het aantal elektromagnetische veldmetingen uitgevoerd door de ANFR (in het frequentiegebied van 9 kHz – 30 GHz) toegenomen van een 100-tal tot bijna 4 000 metingen. Om de verdeling van de basisstations te visualiseren heeft men al deze antennes in kaart gebracht en beschikbaar gemaakt voor het publiek: CARTORADIO is de naam van deze digitale kaart (www.cartoradio.fr).

In *Groot-Britannië* heeft de Radiocommunications Authority (RA) in de periode 2001-2002 een audit gedaan van de blootstelling aan elektromagnetische straling in scholen en ziekenhuizen gelegen in de nabijheid van een basisstation. In 2003 hield de RA op te bestaan en heeft Ofcom (Office Communication, www.ofcom.org.uk) de activiteiten van het RA overgenomen. In 2003 werd er opnieuw een de audit gehouden omtrent de blootstelling van basisstations in en rond scholen en ziekenhuizen. De resultaten (2004) zijn via internet beschikbaar onder de vorm van pdf- of doc-files. Er wordt in deze documenten een vergelijking gemaakt met normen voor blootstelling aan elektromagnetische straling.

Omdat een geharmoniseerde procedure voor het meten van de blootstelling aan elektromagnetische velden ontbreekt, is een vergelijking tussen verschillende metingen moeilijk. Momenteel wordt op *Europees niveau* aan een dergelijke procedure gewerkt. CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardisation) ontwikkelt procedures om de blootstelling te karakteriseren. Het CENELEC comité TC 106x werkt aan een standaard voor 'put-into-service' van basisstations in hun operationele omgeving, rekening houdend met de cumulatieve blootstelling van andere bronnen.

In België hebben we normen die behoren tot de strengste in Europa en de wereld (vooral in het Brussels hoofdstedelijk gewest). Immers vinden we in vele landen normen die zo goed als niet verschillen van de ICNIRP richtlijnen ($40,2 \text{ V/m}$ bij 900 MHz) al zijn er ook uitzonderingen. Enkele landen zijn nog iets minder streng (Duitsland, VS) terwijl andere landen, ook op basis van voorzorg aanzienlijk strenger zijn al zijn ze, in tegenstelling tot wat men soms denkt, minder streng dan in België. Normen in Zwitserland, Luxemburg, Lichtenstein, Parijs en Salzburg worden vaak aangehaald als nog strenger maar dit is fout.

De Zwitserse norm is 4 V/m voor GSM900 installaties, 6 V/m voor DCS1800 en UMTS en 5 V/m voor installaties die gelijktijdig GSM900 en DCS1800 of UMTS bevatten. De Luxemburgse norm is 3 V/m *per antenne*; deze van Liechtenstein (0,6 V/m) en Salzburg (0,6V/m gemiddeld per jaar; sinds 2002 zelfs 0,06 V/m) zijn niet van toepassing. De Oostenrijkse norm is conform de ICNIRP richtlijn. Parijs heeft geen norm (de Franse norm volgt de ICNIRP-richtlijn) maar wel een charter waarin de operatoren aangeven naar een gemiddelde van 2 V/m over 24 uur te zullen streven. Dit charter is enkel van toepassing voor de 3 mobiele telefoonoperatoren en slaat dus niet op de totaliteit van de bronnen van radiofrequente straling. Bovendien is er geen enkele wettelijke verplichting en kan overschrijding van de opgegeven waarden niet tot sancties leiden.

Hoewel het voorzorgsprincipe in verschillende landen de normen mee bepalen is het dus duidelijk dat niet iedereen het voorzorgsprincipe op dezelfde wijze hanteert of opvat. Wat radiofrequenties (mobiele communicatiesystemen) betreft zegt de Nederlandse gezondheidsraad (GR) dat er geen redenen zijn om de blootstellinglimieten beneden de internationale richtlijnen te brengen terwijl onze HGR daar duidelijk van afwijkt. In Nederland mogen antennes van basisstations (<5m) zonder bouwvergunning maar met goedkeuring van de bevolking op gebouwen geplaatst worden, wat in België en Vlaanderen tegenwoordig helemaal uitgesloten is. Verschillende zienswijzen leiden dus tot verschillende maatregelen en een andere implementatie van het voorzorgsprincipe (cf. Foster et al., 2000; van Dijk et al. 2011).

Op 6 mei 2011 publiceerde de raad van Europa een rapport waarin als maatregel het mijden van draadloze verbindingen (WIFI) en het gebruik van GSM in scholen wordt voorgesteld. Dit document is een voorbeeld dat de situatie nog niet helemaal uitgeklaard is en de meningen drastisch kunnen verschillen. In het rapport wordt GSM straling vergeleken met asbest en roken waarvan de effecten op lange termijn ook lange tijd werden geminimaliseerd. Men kan zich de vraag stellen waarom leerlingen op school in staat moeten zijn hun GSM te gebruiken en dus kan de maatregel tot op zekere hoogte zonder meer aanvaard worden. Feit is wel dat er alleen al in 2009 een dertigtal expertgroep rapporten zijn verschenen die nog door enkele andere in 2010 en 2011 werden aangevuld. Daarvan zijn er slechts twee die vinden dat GSM-straling gevaarlijk is en dat er dus dringend aan preventie moet worden gedaan.

3.6 Gevolgen van radiofrequente straling op de mens

Een vrij uitvoerig, recent overzicht van de belangrijke studies die tot nu toe werden uitgevoerd wordt gegeven in Juutilainen et al. (2009) en in de IARC Monografie 102 (voorziene verschijningsdatum, eind 2011).

Van 22 tot 31 mei 2011 heeft een internationale expertgroep zich in opdracht van het IARC (Internationaal Agentschap voor Onderzoek naar Kanker) gebogen over de vraag of RF-straling (m.i.v. deze die door draadloze communicatiesystemen worden gebruikt) al dan niet kankerverwekkend zijn. De wetenschappelijke literatuur die met kanker te maken heeft werd hierbij in detail en met grote zorg geëvalueerd (epidemiologisch onderzoek, dierenexperimenteel onderzoek naar kanker en overige relevante in vitro en in vivo studies en studies over werkingsmechanismen). De totaliteit van deze gegevens en evaluaties heeft geleid tot een eindevaluatie waarbij de stof of het betrokken agens werd onderverdeeld in één van de 4 mogelijke groepen die IARC bij haar evaluaties hanteert. Deze groepen zijn:

- Groep 1: carcinogeen (kankerverwekkend) bij de mens;
- Groep 2A: waarschijnlijk kankerverwekkend bij de mens;
- Groep 2B: mogelijk kankerverwekkend bij de mens;
- Groep 3: niet klassificeerbaar m.b.t. het vermogen om kanker te induceren;
- Groep 4: waarschijnlijk niet kankerverwekkend bij de mens.

Hierna volgt een bondige beschrijving van de redenering die IARC heeft gevolgd en het hierop gebaseerde besluit dat in consensus werd bereikt.

Er werd aandacht geschonken aan alle tot op heden gepubliceerde epidemiologische studies maar al gauw bleek dat de oudere studies zo goed als niets bijdragen aan de discussie over het mogelijk kankerverwekkend vermogen van RF-straling. We gaven eerder al aan dat lange termijnstudies onontbeerlijk zijn gezien de grote latentieperiode tussen het ontstaan en de diagnose van de meeste hersen-, hoofd- en nektumoren. Vele 'oudere' studies zijn wat dit betreft al ontoereikend. Vaak hebben ze ook grote methodologische tekortkomingen en werden te weinig proefpersonen in de studies betrokken. Als gevolg hiervan bleken eigenlijk slechts twee studies van belang te zijn in de discussie nl. de Interphone-studie en enkele studies van de groep van de onderzoeker Hardell. Van alle onderzochte tumoren bleken ook alleen de gegevens voor glioma's en akoestische neuroma's toereikend te zijn.

De *Interphone-studie* vond geen associatie tussen het gebruik van een mobiele telefoon en een verhoogd risico op kanker. Er was geen statistische toename van diverse vormen van hersentumoren met het toenemend aantal jaren mobiel telefoongebruik. Wat glioma's betreft waren de odds ratio's in 90 % van de gevallen zelfs lager dan 1. Dit wijst wel niet op een 'beschermend effect' maar wellicht eerder op een 'selectie bias' tussen kankergevallen en controles. Alleen in de hoogst blootgestelde groep was er een verhoogd relatief risico zoals in Tabel 22 is aangegeven. Het betreft een mobiel telefoongebruik van meer dan 1 640 uren wat ongeveer overeenkomt met een half uur per dag mobiel bellen gedurende 10 jaar. Wanneer de meest onwaarschijnlijke gegevens werden verwijderd (bv. getuigenissen van onwaarschijnlijk hoog mobiel telefoongebruik) verlaagde het relatieve risico tot bijna de controlewaarde (=1). Daarom kan worden aangenomen dat het niet mogelijk is om te besluiten dat de interphone-studie op voldoende wijze een verband legt tussen mobiel telefoongebruik en hersenkanker (i.h.b. glioma's) al zijn de gegevens voor de hoogst blootgestelde groep toch van die aard dat ze twijfel zaaien. Zo ook het feit dat de plaats waar de mobiele telefoon het meest frequent tegen het hoofd werd gehouden overeen komt met de lokatie van de tumor). Er was echter ook weer serieuze twijfel betreffende mogelijke bias ('biased reporting'), o.a. door het aangetoonde verminderd risico in gebruikers die de GSM die meer frequent aan de andere kant van het hoofd hielden dan de lokatie van de tumor (contra-laterale gebruikers). Bias is dus zeker mogelijk maar is echter niet bewezen. Tenslotte is het feit dat tumoren in de hoogst blootgestelde groep in de temporale regio van de hersenen voorkomen niet goed verklaarbaar door bias. Als gevolg hiervan is een relatie tussen mobiel telefoongebruik en een verhoogd risico op glioma's, ondanks vrij zwakke argumenten, toch niet uit te sluiten.

Tabel 22: INTERPHONE-studie: Relatief risico volgens cumulatief gebruik van een mobiele telefoon

cumulatief gebruik van een telefoon	relatief risico
< 5 uur	0,7 (0,5-0,9)
5-13 uur	0,7 (0,5-0,9)
13-31 uur	1,1 (0,8-1,4)
31-61 uur	0,7 (0,6-1,0)
61-115 uur	0,8 (0,6-1,1)
115-200 uur	0,7 (0,6-1,0)
200-360 uur	0,8 (0,6-1,0)
360-735 uur	0,8 (0,6-1,1)
735-1 640 uur	0,7 (0,5-1,0)
> 1 640 uur	1,4 (1,0-1,9)

Bron: IARC (2011)

De studies van *Hardell* hebben zoals eerder al aangegeven wel op overtuigende manier een verband tussen mobiel telefoongebruik en een verhoogd risico op glioma's aangetoond (Tabel 23). De tumoren kwamen ook meer frequent voor aan de kant van het hoofd waar de mobiele telefoon werd gebruikt. Er bestaat echter een vrij groot 'gevoel' bij vele epidemiologen dat er iets fout is met deze studies, die in het verleden vaak sterk bekritiseerd werden omwille van grote onvolmaaktheden. Het feit dat er al een verhoogde

kankerincidentie na 2 jaar mobiel telefoongebruik werd gevonden is bv. niet erg realistisch gezien de latentietijd van kanker en er zijn ook hier grote vermoedens van bias. Zoals eerder aangegeven zijn de studies van Hardell tegenstrijdig aan de meeste andere gepuliceerde studies. Omdat de realiteit van de bezwaren bij de Hardell-studies niet kan bewezen worden kan ook de aangetoonde relatie tussen mobiel telefoongebruik en een verhoogd risico op glioma's niet geheel uitgesloten worden.

Tabel 23: Relatief risico volgens cumulatief gebruik van een mobiele telefoon voor glioma in de Hardell-studies

cumulatief gebruik van een mobiele telefoon	relatief risico
1 - 1 000 uur	1,2 (1,0 - 1,5)
1 000 - 2 000 uur	1,8 (1,2 - 2,8)
> 2 000 uur	3,2 (2,0 - 5,1)

Bron IARC (2011)

Behalve glioma's zijn er, zij het nog minder duidelijk, twijfels met betrekking tot akoestische neuroma's. Voor meningioma's waar in één studie een hoog relatief risico werd gevonden zijn de overige gegevens van die aard dat het toch niet mogelijk is over meningioma's een afdoend besluit te trekken. Hetzelfde geldt voor andere vormen van kanker waarvoor de gegevens ontoereikend zijn.

Het feit dat diverse studies ook geen toename van verschillende vormen van hersentumoren hebben gevonden over de jaren (met toenemend mobiel telefoongebruik) werd gezien als een argument ten gunste van de afwezigheid van een causaal verband tussen blootstelling aan RF-velden van draadloze communicatiesystemen en het optreden van hersentumoren.

Omdat niemand kan bewijzen dat de resultaten van Hardell et al. niet reëel zijn en omwille van de resterende twijfels bij Interphone-studie vond de IARC-delegatie toch dat er 'beperkte' aanwijzingen zijn voor een kankerverwekkend vermogen van mobiele telefoofrequenties bij de mens (i.h.b. glioma en in mindere mate akoestische neuroma's).

Dierenexperimenteel onderzoek gaf weinig aanleiding om tot kankerverwekking van RF-straling te besluiten. In de meeste gevallen werd beslist dat de evidentie hiervoor ontoereikend was al werd in sommige gevallen toch ook geoordeeld dat er 'beperkte evidentie' bestaat.

Op basis van de al bij al niet echt overtuigende gegevens maar de hierboven geciteerde twijfels en overeenkomstig de door IARC gehanteerde procedure (Tabel 24) werden RF-stralen (in hoofdzaak op basis van de gegevens over mobiele telefoonfrequenties) ingedeeld in klasse 2B (= mogelijk kankerverwekkende agentia). Gegevens van 'overige relevante en mechanistisch onderzoek' kunnen een evaluatie eventueel wijzigen (indeling in een hogere of lager klasse op basis van de evidentie) maar ook hier waren de gegevens weinig overtuigend zodat ze niet tot wijziging van de evaluatie op basis van Tabel 24 hebben geleid. Een minderheid van de deelnemers was niettemin van mening dat de RF-straling eerder in klasse 3 had moeten ingedeeld worden. Door de indeling in klasse 2B bevindt RF-straling zich in dezelfde klasse als de velden van extreem lage frequenties).

Tabel 24: Beslissingstabel die door IARC wordt gehanteerd voor de indeling van agentia in klassen m.b.t. hun kankerverwekkend vermogen bij de mens

EVIDENTIE BIJ DE MENS	EVIDENTIE IN DIEREN				
	voldoende	beperkt	ontoereikend	EVAK	
	voldoende	groep 1			
	beperkt	groep 2A	groep 2B		
	ontoereikend	groep 2B	groep 3		
EVAK	groep 3			groep 4	

EVAK = Evidentie Voor Afwezigheid van Kankerrisico

Bron: IARC

Het IARC-klassificatiesysteem waarin agentia worden ingedeeld in één van de 4 aangegeven klassen is al vele jaren in gebruik. Dit neemt niet weg dat het voor kritiek vatbaar is. Zo kan men aanmerken dat het weinig keuze laat en daardoor onvoldoende discriminerend is. De keuze tussen groep 2B en 3 lag bij vele deelnemers aan de IARC evaluatie inderdaad als gevolg van het systeem al zo goed als vast en men kan zich afvragen of de evidentie voor RF-velden even groot is als deze die voor ELF-velden is aangetoond. De Duitse commissie voor stralingsbescherming (SSK) hanteert bv. een in 2001 ontwikkeld systeem dat meer ruimte voor variatie laat. Gebruik makend van dit systeem werd recent besloten dat microgolven en RF-straling niet kankerverwekkend is of tenminste dat de er onvoldoende gegevens zijn om zich hierover te kunnen uitspreken (Leitgeb, 2011a,b).

Hier wordt ter illustratie een overzicht gegeven van enkele van de belangrijke studies en studieonderwerpen.

3.6.1 *Epidemiologische en experimenteel literatuuroverzicht*

Interactie van GSM-straling met het lichaam

Het oscillerend elektrisch veld van GSM-straling zal mobiele ionen in het lichaam doen bewegen. Dit resulteert in elektrische stroompjes die door de elektrische weerstand van het weefsel worden omgezet in warmte. De warmte-input zal lokaal de temperatuur doen stijgen tot een niveau waarbij er evenwicht is tussen de input en de afvoer van warmte vooral via doorbloeding en geleiding van en naar andere delen van het lichaam. Het duurt enkele minuten vooraleer dit evenwicht in het bestraalde deel bereikt wordt. Van Leeuwen *et al.* (1999) berekende dat een 915 MHz-antenne, met een gemiddeld zendvermogen van 0,25 W (equivalent van een typisch GSM-telefoontoestel opererend op maximaal vermogen), die naast het hoofd gehouden wordt een energieabsorptie van ongeveer 1,6 W/kg veroorzaakt in de hersenen met een maximale temperatuurstijging van 0,11°C voor gevolg.

Andere niet-thermische interactiemechanismen met het weefsel zoals celpolarisatie, elektrische stromen in celmembranen, denaturatie van proteïnes en resonante absorptie zijn bestudeerd. Hun bestaan kon niet worden aangetoond maar kan ook niet met zekerheid worden uitgesloten (Independent Expert Group on Mobile Phones, 2000).

De fotonenergiequota van de GSM-straling zijn 4 en 7 µeV voor respectievelijk 900 en 1 800 MHz. Deze waarden zijn te laag om zelfs de zwakste chemische bindingen in moleculen te verbreken. Daarom wordt bv. aangenomen dat rechtstreekse schade aan het genetisch materiaal (DNA) onmogelijk is.

Effecten op het menselijk lichaam worden ingedeeld in thermische en niet-thermische effecten. *Thermische effecten* zijn het gevolg van de opwarming. Deze zijn goed gekend en kunnen zowat alle mogelijke gezondheidsproblemen verklaren. De opwarming op zich leidt tot een reeks pathologische effecten in cellen en weefsels waardoor zowel erfelijke aandoeningen, abortus, kanker of andere verstoringen mogelijk zijn. *Niet-thermische effecten* zijn effecten die optreden zonder opwarming. Men heeft lange tijd getwijfeld aan het bestaan van deze effecten maar neemt tegenwoordig wel aan dat niet thermische effecten inderdaad kunnen bestaan. Wat echter minder zeker is is of deze effecten een biologisch effect zonder gevolg voor de menselijke gezondheid zijn, of dat ze wel degelijk de gezondheid kunnen schaden.

Epidemiologisch onderzoek

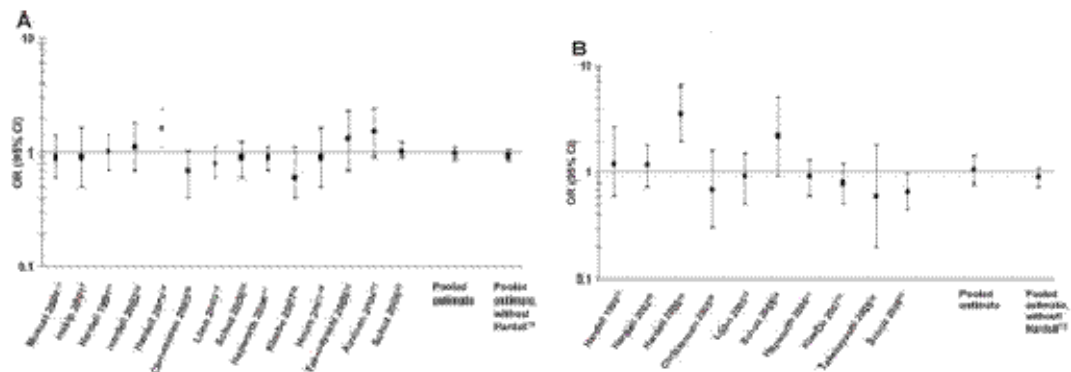
Voor de komst van de mobiele communicatie werden al verschillende epidemiologische studies verricht die betrekking hadden op andere vormen van radiofrequentiestraling zoals radar en tv-zendmasten. Deze onderzoeken zijn op zich belangwekkend maar geven ook een indirecte indicatie over mogelijke risico's van mobiele telefonie. Helaas vertonen vele van deze vroegere studies mankementen waardoor ze weinig overtuigingskracht hebben. Sinds de introductie van draadloze communicatiesystemen zijn ook deze specifiek het onderwerp van epidemiologisch onderzoek. Dit onderzoek heeft vooral betrekking op diverse vormen van hersentumoren. Omdat er een lange latentieperiode bestaat vooraleer dergelijke tumoren worden gediagnosticeerd spreekt het vanzelf dat de epidemiologische studies die in de jaren 90 en begin jaren 2000 werden afgerond ook niet toelaten van een duidelijke conclusie te trekken. Daarvoor zijn studies over langere perioden (zeker >10 jaar) nodig. Dit is ook de reden waarom men tegenwoordig nog geen zekerheid heeft over het al of niet kankerverwekkend vermogen van GSM- en aanverwante straling bij de mens. Hierna volgt ter illustratie een kort overzicht van enkele belangrijke studies.

Rotham *et al.* (1996) volgde in 1994 de sterfte in een groep van 250 000 mobiele telefoon-gebruikers. Hij vond geen significant verschil in *totale sterfte* tussen gebruikers van mobiele telefoons met antenne en gebruikers van telefoons die geen antenne op het toestel. In een andere studie vonden Dreyer *et al.* (1999) geen verband tussen sterfte *door hersentumoren en leukemie* en mobiel telefoongebruik. Zoals gezegd zijn deze studies slechts van beperkte waarde omdat de periode tussen het begin van blootstelling en het registreren van de kankersterfte kort is.

Hardell *et al.* (1999) voerden in Zweden een gevallencontrolestudie uit over *hersentumoren* en het gebruik van mobiele telefoons met 209 gevallen en 425 controles. Het gebruik van GSM-toestellen resulteerde in een relatief risico van 0,97 en het gebruik van NMT-toestellen (oude, niet meer gebruikte analoge mobilofonietechnologie) in een relatief risico van 0,94. Dosis-respons analyse en het aanwenden van verschillende tumorinductieperiodes gaven gelijkaardige resultaten. De relatieve risico's van 0,97 en 0,94 betekenen een ongeveer gelijk voorkomen van tumoren in de groep van mobiele telefoongebruikers en de controlegroep. Er werd wel een stijging gevonden van tumoren aan de zijde waar de telefoon gebruikt werd bij gebruikers van het NMT-systeem. De NMT-technologie gebruikt gelijkaardige stralings-intensiteiten als de huidige GSM-systemen, maar een lagere frequentie.

Deze eerste epidemiologische studies en andere over het effect van blootstelling aan andere vormen van radiofrequentiestraling en morbiditeit door *kanker* werden ook al vrij snel gereviewd (Independent Expert Group on Mobile Phones, 2000; Repacholi, 1997; Elwood, 1999; Royal Society of Canada, 1999). Hoewel in enkele studies een verhoogd risico wordt vastgesteld, besloot men dat er geen bewijs is dat radiofrequentiestraling het risico van kanker beïnvloedt. Maar omdat deze studies veel methodologische zwakheden vertonen en de bestudeerde straling in vele gevallen verschilt van de GSM-straling kon hieruit niet besloten worden dat GSM-straling vrij zou zijn van kankerrisico. Inmiddels zijn er al meer gegevens beschikbaar. Figuur 25 t.e.m. Figuur 27 geven daar enkele belangrijke voorbeelden van (Schuz, 2010)

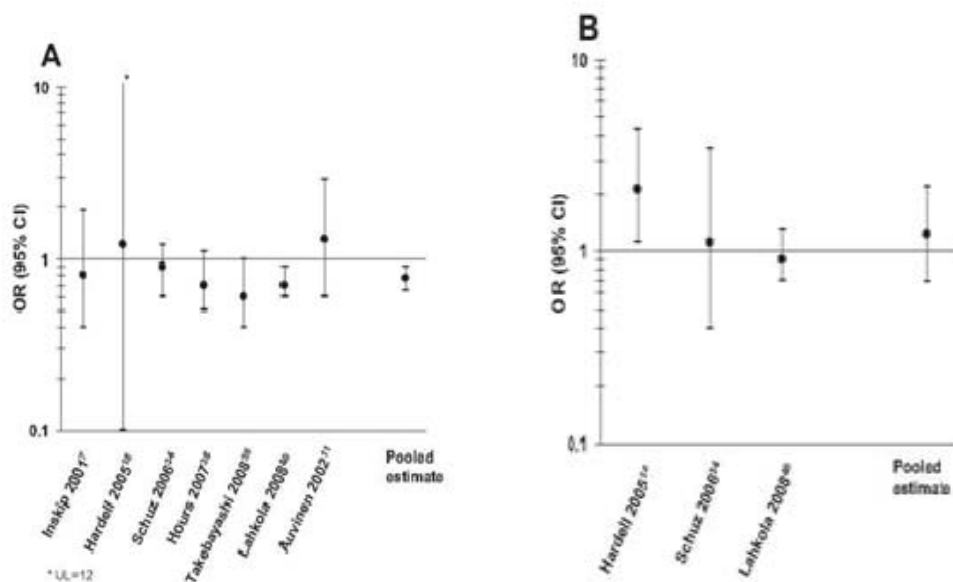
Figuur 25: Overzicht odds ratio's uit de wetenschappelijke literatuur voor het voorkomen van glioma bij blootstelling aan GSM-straling



A. Kortdurende blootstelling; B. Langdurige blootstelling

Bron: Schüz (2010)

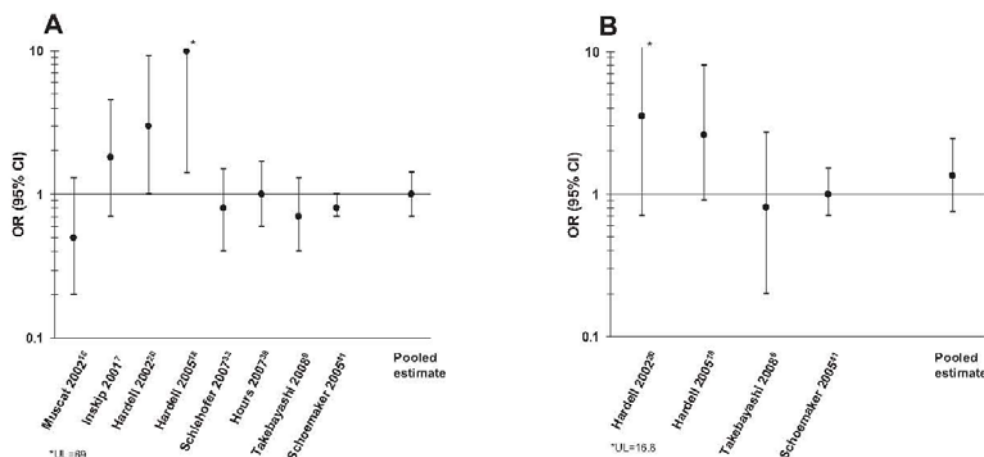
Figuur 26: Overzicht odds ratio's uit de wetenschappelijke literatuur voor het voorkomen van meningioma bij blootstelling aan GSM-straling



A: Kortdurende blootstelling; B. Langdurige blootstelling

Bron: Schüz (2010)

Figuur 27: Overzicht odds-ratio's uit de wetenschappelijke literatuur over voorkomen van akoestisch neuroma bij blootstelling aan GSM-straling



A: Kortdurende blootstelling; B: Langdurige blootstelling

Bron: Schüz (2010)

Dit overzicht geeft de zogenaamde 'Odds ratio' die we hier voor de eenvoudigheid het best kunnen voorstellen als een maat voor het relatieve risico (al zijn OD's en RR niet helemaal hetzelfde). Is de Odds ratio bijvoorbeeld gelijk aan "2" dan is er 2x zoveel kans dat de ziekte voorkomt t.o.v. een niet blootgestelde populatie. Statistische significante afwijkingen komen alleen voor wanneer de intervallen de referentielijn "1" niet raken. We zien hier dus dat het relatieve risico in geen van de drie voorbeelden gevoelig afwijkt van "1" (geen invloed van de blootstelling) al zijn er enkele geïsoleerde studies (zo goed als uitsluitend van eenzelfde onderzoeksgroep = Hardell) waar dit wel zo is. Globaal genomen (zelfs met inclusie van de resultaten van de groep van Hardell) is het echter duidelijk dat de resultaten van het epidemiologisch onderzoek op dit ogenblik de overtuiging dat GSM-straling hersentumoren induceert niet ondersteunen.

De Interphone-studie werd in 2000 gestart om na te gaan of het gebruik van mobiele telefoons verantwoordelijk kan gesteld worden voor een verhoogd risico op kanker, in het bijzonder hersen-, nek- en hoofd kankers (Cardis et al., 2010). De studie werd gecoördineerd door het IARC (International Agency for Research on Cancer) dat deel uitmaakt van de wereldgezondheidsorganisatie (WHO). In deze studie waren 13 landen betrokken (Australië, Canada, Denemarken, Finland, Frankrijk, Duitsland, Israël, Italië, Japan, Nieuw Zeeland, Noorwegen, Zweden en het Verenigd Koninkrijk). In elk land werd een gemeenschappelijke procedure gevolgd voor de opvolging van hersentumoren, speekselkliertumoren, akoestische neuromas en andere hoofd- en nektumoren, zowel als leukemie en lymfomas. De interphone studie kan ongetwijfeld gezien worden als het grootste onderzoek tot op heden over het mogelijk verband tussen mobiel telefoongebruik en kanker. De studie had betrekking op meer dan 6000 kankerpatiënten en 7000 controlepersonen. Zelfs voor het einde van de studie was de publieke belangstelling groot en werden de meest uiteenlopende verhalen en mythes de wereld ingestuurd. Al waren de meeste Odds ratios (OR) minder dan 1 (dus zeer geruststellend) toch waren er enkele merkwaardige resultaten. Zo werd een OR van 1,40 gevonden voor glioma's wanneer het cumulatief mobiele telefoongebruik meer dan 1 640 uren bedroeg maar werd geen 'dosis-respons' gezien terwijl het grootste effect (OR = 3,77 voor meningioma's) gevonden werd bij personen die het minst lang een mobiele telefoon gebruikten. Concreet komt het er op neer dat de interphone studie de verwachtingen van het publiek niet heeft kunnen inlossen want ze is niet in staat gebleken een definitief antwoord te geven op de vraag of mobiele telefoons veilig zijn of niet. De conclusie is doorgaans geruststellend maar toch weer net niet voldoende om het publiek gerust te stellen. Mogelijke bias en gemaakte fouten zijn daar in hoofdzaak voor verantwoordelijk. Zoals met andere epidemiologische studies, in het bijzonder zogenaamde 'case-control' studies die deels steunen op de herinnering van vroegere blootstelling, zijn er onzekerheden die de interpretaties hinderen. De herinnering van een mobiel telefoongebruik van meer dan 12u per dag is bv. hoogst twijfelachtig. Ook in ander onderzoek is al aangegeven dat vele

proefpersonen hun mobiel telefoongebruik overdreven voorstellen. Omdat ook de interphone-studie maximaal op een blootstelling aan mobiele telefoonfrequenties van 20 jaar betrekking heeft blijft ook de vraag naar het lange termijnrisico grotendeels onbeantwoord. Hoewel activisten de Interphone studie sterk hebben bekritiseerd (deels op basis van foute veronderstellingen) zijn de meeste epidemiologen het er wel over eens het een belangrijke studie was. Toch hebben we met deze studie slechts het aperitief geproefd en moet de hoofdschotel nog komen. Omdat de technologie over de jaren is veranderd wordt aangenomen dat verder onderzoek onontbeerlijk is.

Nieuw onderzoek is inmiddels ook al gestart. Vele van deze studies hebben betrekking op hersenkanker bij kinderen. De bezorgdheid voor kinderen is wellicht deels naar analogie met de gegevens voor extreem lage frequenties (50 Hz) waar in het bijzonder kinderen risico blijken te lopen. Over het algemeen wordt aangenomen dat kinderen ook hier een mogelijk belangrijke risicogroep vormen al zijn er tot dusver geen overtuigende aanwijzingen voor gevonden. Volgens een recente publicatie zou er geen associatie zijn tussen een risico op vroegtijdige hersenkanker bij kinderen en blootstelling van de moeder aan straling van basisstations voor mobiele telefonie (Elliot P., 2010).

Na leukemie zijn hersentumoren de 2^o meest voorkomende vormen van kanker bij jongeren. De incidentie van deze tumoren in jongeren onder 20 jaar is recent toegenomen en wetigt op zich de interesse in onderzoek bij kinderen. Onderstaande tabel geeft een overzicht van cijfers betreffende hersentumoren bij kinderen in verschillende landen. Hierbij valt op dat België in vergelijking met andere landen een hoge incidentie kent. Sommige factoren zoals blootstelling aan ioniserende stralen en een familiegeschiedenis van hersenkanker zijn gekende risicofactoren maar het is niet duidelijk in hoeverre deze hier een rol spelen.

Tabel 25: Overzicht leeftijdsspecifieke incidentie hersentumoren bij kinderen (Diverse Europese landen, 1990-2007)

land (jaartal)	leeftijd	incidentie per 100 000
Duitsland (2007)	< 15 jaar	3,4
USA (2004)	< 15 jaar	3,2
Canada (2000-2004)	5-9 jaar	2,9
Canada (2000-2004)	10-14 jaar	2,2
Frankrijk (1990-1999)	10-14 jaar	2,91
Frankrijk (2000-2004)	10-14 jaar	3,6
België (2004-2006)	< 15 jaar	4,34

Bron: WHO (2011)

De CEFALO-studie is een case-control studie over hersenkanker bij kinderen en adolescenten in relatie met het mobiele telefoongebruik. Het betreft een internationale studie die werd uitgevoerd bij kinderen van 7 tot 19 jaar en die van start is gegaan in in Denemarken, Zweden, Noorwegen en Zwitserland (2006-2009). Cases werden geïdentificeerd via meewerkende hospitalen in combinatie met regelmatig onderzoek van kankerregisters. De studie had betrekking op 352 gevallen van hersentumoren en 646 controles die willekeurig geselecteerd werden uit de algemene bevolking maar eenzelfde geboortedatum, geslacht en geografische verspreiding kennen. De onderzoekers hadden de hoop om een aanzienlijk grote studiepopulatie in het onderzoek te kunnen betrekken, maar dit bleek niet mogelijk te zijn. Informatie over vroeger mobiel telefoongebruik en gekende of veronderstelde risicofactoren voor hersenkanker bij kinderen werd verzameld via persoonlijke interviews door speciaal opgeleide personen. Waar mogelijk werd ook informatie verzameld over de reële duur van de blootstelling via gegevens van mobiele telefoonoperatoren. De studie is midden 2011 nog niet gepubliceerd. Er werd wel al aangegeven dat zelfgerapporteerd mobiel telefoongebruik niet strookt met de gegevens die door de operatoren werden verstrekt. Er was duidelijk 'recall bias' wat betekent dat de proefpersonen hun mobiel telefoongebruik ernstig overschatten. De overschatting was groter bij personen die minder gebruik maken van een mobiele telefoon (Aydin et al., 2010).

Een andere belangrijke studie is de MOBI-KIDS studie die wordt uitgevoerd in het Europese 7^e kaderonderzoeksprogramma. Het betreft een internationale case-control studie in jonge mensen uit 13 Europese en niet Europese landen. Het doel is de evaluatie van de mogelijke associatie tussen de communicatie technologie en andere milieublootstellingen en het risico op hersentumoren bij jonge mensen. In een periode van 5 jaar worden zo'n 2000 jonge mensen tussen 10 en 24 jaar met hersentumoren, en een gelijk aantal jonge mensen zonder hersentumoren uitgenodigd voor deelname aan de studie.

De 'Cosmos'-studie is een grote prospectieve cohort studie bij mobiele telefoongebruikers waarbij men streeft naar een studiepopulatie van 250 000 mannen en vrouwen ouder dan 18 jaar in 5 Europese landen (Denemarken, Finland, Zweden, Nederland, UK) die gedurende meer dan 25 jaar zullen worden opgevolgd. Informatie over het mobiele telefoongebruik wordt verzameld via vragenlijsten en objectieve gegevens die door de netwerkoperatoren zouden moeten worden aangeleverd. Associaties met ziektebeelden zullen bestudeerd worden via bestaande ziekteregistratiesystemen en veranderingen in symptomen zoals hoofdpijn, slaapstoornissen en de welzijnsperceptie zullen ook via opeenvolgende vragenlijsten onderzocht worden. Er wordt van uitgegaan dat een dergelijke prospectieve cohortstudie de vele tekortkomingen van andere epidemiologisch onderzoek zal kunnen opvangen. Een van de grote voordelen is dat er objectieve informatie over de blootstelling beschikbaar zal zijn, nog voor ziekte optreedt en een lange termijnsopvolging mogelijk is van vele verschillende gezondheidsindicatoren. Bovendien zal de studie veranderingen in de technologie gaandeweg mee opvangen en kunnen inspelen op onderzoeksresultaten die inmiddels zouden beschikbaar komen. De eerste resultaten worden eind 2015 verwacht.

De interesse van onderzoekers gaat verder dan kanker alleen. Er werd inderdaad ook al onderzoek verricht naar andere eindpunten.

Oftedal *et al.* (2000) bevroeg via een postenquête bij 11 000 gebruikers van mobiele telefoons de aanwezigheid van subjectieve *symptomen zoals hoofdpijn, moeheid, warmtegevoel* ter hoogte van het oor. Dertien procent van de Zweedse en 31 % van de Noorse deelnemers aan de studie rapporteerde minimaal één symptoom dat ze toeschreven aan het gebruik van het toestel. Het voorkomen van de symptomen steeg met de tijd van bellen per dag. Slechts weinigen hadden voor deze klachten een arts geraadpleegd of ziekteverlof genomen, maar 45 % van degenen die symptomen vertoonden, hadden stappen ondernomen om de symptomen te vermijden. De studie laat niet toe uitspraken te doen over de causaliteit van het verband. In een studie in Singapore stelde men een toename van hoofdpijn vast bij GSM gebruikers. Het optreden van hoofdpijn nam toe met de duur van gebruik van het toestel per dag. Gebruikers van hand-free toestellen hadden 20 % minder last van hoofdpijn.

Andere gezondheidseffecten dan kanker werden bestudeerd in relatie tot andere vormen van radiofrequentiestraling. Djordjevic *et al.* (1979) vonden een toename van hoofdpijn, vermoeidheid, prikkelbaarheid en slaapstoornissen bij radaroperatoren. Robinette *et al.* (1980) vonden in een groep van 40 000 personeelsleden van de Amerikaanse zeemacht die aan de Koreaanse oorlog deelgenomen hadden in de periode 1950 – 1954, geen verschil in ziekte (gemeten via het aantal hospitalisaties en invalideverklaringen) tussen degenen met potentieel hoge blootstelling (werken met radarapparatuur) en de rest. Ook de sterfte in beide groepen in de periode 1950 – 1974 verschilde niet wezenlijk.

In enkele andere studies werd geen toename van het optreden van *cataract* gevonden bij blootstelling aan radarstraling. Eén studie vond wel een significant verschil in discrete veranderingen van de lens en een andere studie vond meer oogirritatie. Smigielski *et al.* (1998) vonden een daling van de amplitude van het dagritme van de *bloeddruk en het hartritme* bij 61 radio-operatoren. Borkiewicz *et al.* (1995) vonden een gelijkaardige ontregeling van de hartfunctie bij 93 werknemers van AM-zendstations. Andere studies vonden niet meer abnormale electrocardiogrammen bij aan radargolven blootgestelden. Hamburger *et al.* (1983) vonden bij mannelijke Amerikaanse fysiotherapeuten een significant verband tussen de frequentie van het gebruik van kortegolfapparatuur en het voorkomen van hartziekten (in de meeste gevallen i.v.m. ziekten van de kransslagaders of coronair lijden). Goldini (1990) vond een daling van het *aantal witte bloedcellen en bloedplaatjes* bij

radartechnici. Andere studies vonden dit effect niet. Verschillende studies hebben de effecten op de *voortplanting* bestudeerd bij vrouwelijke fysiotherapeuten die radiofrequentiestraling gebruikten bij de behandeling van hun patiënten. Globaal gezien tonen deze studies geen verband aan met spontane abortus of andere intra-uteriene effecten (The Royal Society of Canada, 1999).

Experimentele studies bij mensen (klinisch/laboratoriumonderzoek)

In de wetenschappelijke literatuur vermelden verschillende studies ook biologische effecten die in experimenten in het laboratorium werden waargenomen. Het is echter ook steeds noodzakelijk om bij het interpreteren van dergelijke studies rekening te houden met de gebruikte methode om de bruikbaarheid in reële situaties in te schatten.

Hoewel er redelijk wat bezorgdheid is omtrent mogelijke effecten van mobiele telefoons op de *hersenfuncties van mensen* is er nog maar weinig experimenteel onderzoek uitgevoerd. Slechts enkele studies (Preece *et al.*, 1999; Koivisto *et al.*, 2000) die zich beperken tot mogelijke kortetermijneffecten op cognitieve prestatie, werden uitgevoerd. Ze komen tot gelijkaardige resultaten: straling van een GSM-toestel (900 MHz en 0,25 W) verkort de reactietijd. Dit positief effect neemt toe met de cognitieve eisen van de test. GSM-straling zou derhalve bij lage intensiteiten biologische effecten veroorzaken die voldoende groot zijn om het gedrag te beïnvloeden. Preece *et al.* (1999) veronderstelt dat kleine temperatuurstijgingen in de hersencortex, ter hoogte van het GSM-toestel, de zenuwgeleiding doen toenemen. Langetermijneffecten zijn niet onderzocht.

In 2003 werd in Nederland, in opdracht van de overheid, de subjectieve klachten die aan GSM-basistations worden toegeschreven nader onderzocht (Zwamborn *et al.*, 2003). Het onderzoek werd uitgevoerd met twee groepen met elk 36 proefpersonen, waarvan een groep van zichzelf zei dat ze 'hypergevoelig' was aan elektromagnetische straling die van GSM afkomstig was. Er werd gepoogd een relatie te vinden tussen blootstelling aan elektromagnetische velden afkomstig van een GSM-basisstationantenne en meetbare effecten bij mensen. Het ervaren welzijn en de cognitieve prestaties werden gemeten aan de hand van verschillende vragenlijsten en cognitieve testen. Er werd een statistisch significante relatie gevonden tussen de aanwezigheid van radiofrequente velden die lijken op een UMTS-basisstationsignaal en het ervaren welzijn van de proefpersonen. Verder werd er eveneens een statistisch significante relatie gevonden tussen de uitgevoerde taak en het al dan niet aanwezig zijn van het elektromagnetisch veld. Deze bevindingen gelden zowel voor UMTS, GSM900 als GSM1800. De onderzoekers vonden geen biologisch mechanisme dat hieraan ten grondslag zou liggen. De onderzoekers stellen dat tijdens het onderzoek lage veldsterkten werden gebruikt, vergelijkbaar met die afkomstig van een basisstation in normaal regime, en dat het dus onwaarschijnlijk is dat de gevonden effecten van thermische oorsprong zouden zijn (Zwamborn *et al.*, 2003). De Nederlandse gezondheidsraad heeft vervolgens een analyse van de opzet en resultaten uitgevoerd. De raad concludeerde dat de aanwijzingen voor een effect op het welbevinden niet overtuigend waren en adviseerde het onderzoek in een verbeterde opzet te herhalen. Zo werden er studies geïnitieerd in verschillende landen waaronder Zwitserland, Denemarken, Japan en het Verenigd Koninkrijk. De Zwitserse studie heeft het meest de aandacht getrokken (Regel *et al.*, 2006). In het Zwitserse onderzoek werd geen effect op het welbevinden gevonden. De Gezondheidsraad hecht aan deze studie meer waarde dan aan de oorspronkelijke TNO-studie vanwege de verbeterde experimentele opzet. Ook ander onderzoek laat geen effecten zien. Het beschikbare onderzoek betreft weer alleen kortdurende blootstelling zodat er over een mogelijke invloed van langdurige blootstelling niets kan gezegd worden.

Over de toepassing van DECT zijn op dit moment geen onderzoeksgegevens bekend die duiden op nadelige gezondheidseffecten.

Meerdere studies behandelden wijzigingen in het electro-encephalogram (EEG) ten gevolge van GSM-straling. De resultaten zijn tegenstrijdig. Sommige elektrofysiologische studies suggereren dat blootstelling aan straling van mobiele telefoons de hersenfuncties beïnvloedt. De evidentie lijkt voldoende groot om verder onderzoek te rechtvaardigen, vooral voor wat betreft het effect op het EEG tijdens cognitieve taken en tijdens de slaap. Hierbij moet wel

vermeld worden dat noch de biologische, noch de klinische relevantie van deze bevindingen duidelijk is.

In oude Russische studies werden *bloeddrukdaling en hartritme*wijzigingen bij de mens beschreven als gevolg van radiofrequentiestraling. Deze studies zijn echter van bedenkelijke kwaliteit. Braune *et al.* (1998) stelden in een experiment met vrijwilligers een stijging van de bloeddruk, van het hartritme en een gedaalde doorbloeding vast tijdens het gebruik van een klassiek GSM900 toestel. Deze studie heeft kritiek gekregen omwille van het studieontwerp en de statistische analyse en is nog niet herhaald.

Effect op pacemakers en andere elektronische implantaten

In toenemende mate wordt bij de behandeling van bepaalde categorieën patiënten gebruik gemaakt van implanteerbare medische hulpmiddelen zoals pacemakers en insulinepompjes. Elektromagnetische straling kan in bepaalde omstandigheden de goede werking van deze toestellen verstoren (*elektromagnetische compatibiliteit of EMC*). Zo kunnen mobilfoons storingen veroorzaken op geïmplanteerde elektronische apparaten (bv. pacemakers, hoorapparaten) (Kuster *et al.*, 1997). Omdat de gebruikte toestellen voldoende ongevoelig zouden zijn, stelt de Europese richtlijn 90/385/EEG essentiële eisen aan de elektromagnetische immuniteit van deze apparaten. Deze eisen zijn nader uitgewerkt in technische normen die vaststellen tegen welke minimale veldsterkte deze apparaten bestand moeten zijn. Voor medische apparatuur in ziekenhuizen geldt een norm van 3 V/m voor het frequentiegebied van 26 tot 1000 MHz. Nieuwere types van deze geïmplanteerde apparaten zijn dan ook beter bestand tegen de elektromagnetische straling.

Uit onderzoek blijkt dat interferentie effectief mogelijk is al is het risico hierop bijzonder klein. Het grootste onderzoek naar interferentie met *hartpacemakers* werd uitgevoerd door Hayes *et al.* (1997) met 5 verschillende telefoontoestellen bij 980 patiënten. De patiënten werden electrocardiografisch gemonitord terwijl het telefoontoestel ter hoogte van het oor aan dezelfde zijde en ter hoogte van de pacemaker werkte met maximaal vermogen. Een of andere vorm van interferentie van de gsm op de pacemaker werd in 20 % van de 5 533 tests waargenomen en de incidentie van symptomen (onder meer hartritme stoornissen of arytmieën) bij de patiënt was 7,2 % waarvan 6,6 % klinisch significant waren. Klinisch significante interferentie werd enkel waargenomen wanneer het toestel ter hoogte van de pacemaker werd gehouden. Andere studies vonden gelijkaardige resultaten. Een recentere Amerikaanse studie (Tri *et al.*, 2005) testte 16 verschillende *medische toestellen* op interferentie van 6 verschillende nieuwere types gsm-toestellen. De toestellen werden getest wanneer ze (bijna) hun maximum vermogen uitzonden. Van de 510 uitgevoerde tests bedroeg de incidentie van klinisch relevante interferentie 1,2 %. Elektromagnetische interferentie werd in 21,2 % van de tests vastgesteld. Bij 7 (44 %) van de 16 medische toestellen werd er interferentie vastgesteld. Wanneer de afstand tot de apparatuur in kwestie meer dan een meter bedroeg, werd er geen interferentie vastgesteld. Uit vergelijking met vroegere studies blijkt dus dat de huidige generatie gsm-toestellen dichter bij toestellen voor medisch gebruik kan gehouden worden alvorens enige interferentie waar te nemen. Implanteerbare cardiovertor-defibrillators blijken minder gevoelig te zijn voor GSM-straling. De Nederlandse Gezondheidsraad (2000) adviseert om een minimale afstand van 15 cm te behouden tussen de ingeschakelde draagbare telefoon en de geïmplanteerde pacemaker. De UMTS-technologie zou minder storing veroorzaken omdat zij in tegenstelling tot de GSM-technologie geen sterk pulserende signalen gebruikt.

Experimenteel onderzoek (proefdieren)

In de wetenschappelijke literatuur vermelden verschillende studies ook effecten die in experimenten met proefdieren werden waargenomen. Het is echter ook steeds noodzakelijk om bij het interpreteren van dergelijke studies rekening te houden met de gebruikte methode om de bruikbaarheid in reële situaties in te schatten.

Door het gebruik van de GSM-telefoons ter hoogte van het hoofd is er veel aandacht voor mogelijke effecten op *het centraal zenuwstelsel*. De mogelijkheid dat GSM-straling het zenuwstelsel beïnvloedt, is in verschillende experimentele systemen (proefdieren)

onderzocht. Er is consistent bewijs dat wijzigingen in *zenuwactiviteit en gedrag* optreden bij proefdieren wanneer de straling aanleiding geeft tot een opwarming van 1°C of meer (Hermann & Hossman, 1997). Bewijzen dat deze effecten optreden bij lagere intensiteiten zijn meestal niet consistent en niet overtuigend. Sommige studies bij proefdieren suggereren echter dat lagere stralingsintensiteiten bij specifieke energieniveaus en frequenties van amplitudemodulatie membraanproteïnes, de calciumionflux door de membranen van de neuronen en EEG-ritmes kunnen wijzigen (Repacholi, 1997). De relevantie van deze onderzoeksresultaten voor de mobiele telefonie en menselijke gezondheid is nog onduidelijk.

De ooglens is een potentieel gevoelig orgaan, aangezien het een beperkte doorbloeding heeft en daardoor ingestraalde warmte minder goed kan afvoeren dan andere weefsels. In experimenteel onderzoek met konijnen veroorzaakten hoge stralingsintensiteiten cataract. Uit studies met acute blootstelling blijkt hiervoor een veilige drempel te bestaan die rond de 1 500 W/m² gedurende 1 uur ligt. Dergelijke vermogensdichtheid is meer dan honderd maal groter dan de gebruikelijke normen voor GSM-straling.

Sommige experimentele studies bij proefdieren suggereren dat radiofrequentiestraling *tumoren* kunnen initiëren, effecten van gekende *carcinogenen* versterken of de groei van getransplanteerde tumoren doen toenemen. De stralingsintensiteit in deze studies is echter vaak voldoende om thermische effecten te veroorzaken. De langetermijnstudies van *kankerinductie* bij proefdieren die epigenetische effecten (verstoring van cellulaire processen die een rol spelen in het ontstaan van kanker) bestuderen, zijn dubbelzinnig. Sommige studies vinden een effect, andere niet (Independent Expert Group On Mobile Phones, 2000).

Thermische niveaus van radiofrequentiestraling veroorzaken tijdelijke en omkeerbare wijzigingen in het *immuunsysteem* bij proefdieren. Lagere blootstellingsniveaus geven tegenstrijdige resultaten waarbij het moeilijk is de effecten toe te schrijven aan de blootstelling. Er werden geen effecten op het bloedvormend systeem gevonden bij proefdieren. In studies bij knaagdieren werden bij veldsterktes vergelijkbaar bij deze gebruikt in de mobiele telefonie, geen effecten gevonden op *voortplanting* en mannelijke fertiliteit. Bij intra-uteriene blootstelling aan vrij hoge veldsterktes werden geen morfologische en orgaanafwijkingen vastgesteld bij proefdieren. Hoge stralingsintensiteiten die een stijging van de lichaamstemperatuur veroorzaken, hebben bij proefdieren een invloed op het *cardiovasculair systeem*, vergelijkbaar met temperatuurverhogingen ten gevolge van andere oorzaken. Normale GSM-stralingsniveaus veroorzaken geen wijzigingen in hartritme en bloeddruk. Studies naar het effect van radiofrequentiestraling op de levensduur van knaagdieren tonen meestal geen effect (Independent Expert Group on Mobile Phones, 2000).

In een Belgische studie uit 2008 waarin langetermijnonderzoek op ratten gebeurde werden diverse effecten gevonden, o.a. met betrekking tot de bloedformule, immuniteitsparameters en leefbaarheid. Er werden ook beperkte aanwijzingen gevonden voor een verhoogd kankerrisico en een invloed op de mortaliteit (Adang, 2008; Adang, 2009). In de publicatie Adang (2009) worden deze resultaten genuanceerd omdat de effecten meestal klein zijn en doorgaans geen biologische impact hebben. Ook de gevonden effecten op mortaliteit worden gerelativeerd door te verwijzen naar bestaande literatuur waar effecten soms wel en soms niet worden teruggevonden. Ook hier is er discussie tussen verschillende onderzoekers over de interpretatie van deze resultaten.

Enkele recente overzichten van in peer reviewed wetenschappelijke literatuur gepubliceerde *in vivo* studies die met kanker, body mass index en mortaliteit te maken hebben, vinden die effecten niet terug bij niet-thermische blootstelling van radiofrequenties (o.a. van mobiele telefoonfrequenties) (Elder, 2010; Juutilainen et al., 2011; IARC, 2011).

Een aantal studies die effecten vonden betreffende andere voor kanker relevante eindpunten (zoals DNA-schade in buccale epitheelcellen of witte bloedcellen na blootstelling aan RF-straling door GSM of radar), vertonen meestal ook methodologische gebreken (bv. te kleine steekproeven) (Verschaeve, 2009; IARC 2011).

De globaliteit van de studies, zowel *in vitro* als *in vivo*, leidt tot de conclusie dat zowel acute als chronische blootstelling aan radiofrequentiestraling geen toename van *mutaties of*

chromosoom-wijzigingen veroorzaken als de temperatuurstijging binnen fysiologische grenzen gehouden wordt (Verschaeve et al., 2011).

Een foute methodologie vormt ook in veel ander onderzoek een probleem. Dit is vaak het geval voor wat de 'biologische dosimetrie' betreft waardoor thermische effecten worden aanzien als niet-thermische effecten. Studies naar reproductiestoornissen bij *Drosophila* (fruitvlieg) geven daar een voorbeeld van (o.a. Panagopoulos et al., 2004). Bij de proefopzet werden de vliegjes in glazen buisjes blootgesteld aan GSM-straling. Het ontbreken van een temperatuursverhoging in de buisjes betekent echter niet automatisch dat er ook geen temperatuursverhoging in de vliegjes is. De situatie kan de vergelijking doorstaan met de microgolfoven waar een kom water kookt terwijl de omgevende temperatuur in de microgolfoven zelf veel minder hoog is. Er waren ook nog andere methodologische bezwaren. Dit geeft aan dat hier, zowel als bij *in vitro* onderzoek, een multidisciplinaire aanpak nodig is, waarbij biologen/artsen zich laten bijstaan door stralingsdeskundige ingenieurs.

In vitro onderzoek op cellen

De eerder geciteerde Reflex-studie (in vitro onderzoek) (REFLEX, 2004) heeft ook in het radiofrequent deel van het elektromagnetisch spectrum biologische effecten vastgesteld. Menselijke fibroblasten en granulosa-cellen van ratten werden gedurende 4, 16 en 24 uren blootgesteld aan 1 800 MHz straling (GSM-frequentie), en dit intermitterend (5 minuten aan, 10 minuten uit) en ononderbroken. De SAR werd berekend als zijnde 1,2 of 2 W/kg wat de onderzoekers als 'athermisch' karakteriseren. Na 16 uren blootstelling werden bij beide celtypes enkelvoudige en dubbele breuken in het DNA vastgesteld. De effecten bleken meer uitgesproken te zijn bij een intermitterende dan bij een ononderbroken blootstelling. Bij bijkomend onderzoek bleken de resultaten van deze studie echter weinig betrouwbaar (Lerchl, 2010; zie ook 1.4.5). Ander *in vitro* onderzoek naar genetische effecten laat niet toe van te besluiten dat RF-straling het genetisch materiaal van cellen kan verstoren al zijn niet alle studies negatief (Verschaeve et al., 2010). Het is ook zeker niet aangetoond dat RF-straling het effect van andere omgevingsfactoren (chemische of fysische mutagenen) kan verhogen en er zijn geen duidelijke aanwijzingen voor andere types van effecten *in vitro* (Juutilainen et al., 2009; IARC 2011).

Besluit

Wanneer de veldsterkte van de RF-straling voldoende groot is treedt er opwarming op van het bestraalde weefsel. Deze opwarming initieert op haar beurt andere processen die schadelijk zijn. Over het bestaan van deze thermische effecten en de gezondheidsschade die ze teweegbrengen is geen discussie. In principe vormen deze effecten geen grote bedreiging voor de mens, precies omdat ze goed gekend zijn en er de nodige maatregelen worden genomen zodat de blootstelling nooit thermisch kan worden (het afbakenen van zones waar mensen niet mogen komen in sommige industrieën of het inbouwen van veiligheidszones zodat blootstelling aan straling van hoge vermogens in microgolfovens niet mogelijk is en alleen een geringe lekstraling voor enige blootstelling kan zorgen). Voor wat betreft de biologische, niet-thermische effecten zijn er aanduidingen dat blootstelling aan straling van mobiele telefoons de elektrische activiteit en de cognitieve functie van de hersenen kunnen beïnvloeden maar het is nog niet geweten wat dit betekent in termen van menselijke gezondheid. Het is wel nodig dat deze effecten verder worden bestudeerd, zowel voor wat betreft het biologisch mechanisme dat aan de grondslag van dit effect ligt, als voor de consequenties ervan voor de menselijke gezondheid.

Uit epidemiologische studies blijkt niet dat radiofrequentiestraling kanker met zekerheid veroorzaakt. Deze conclusie sluit aan bij het experimenteel onderzoek waaruit blijkt dat veldsterkten zoals ze door de mobiele telefonie geproduceerd worden, geen mutaties, kankerinitiatie en kankerpromotie veroorzaken. Anderzijds moet hier opgemerkt worden dat GSM-telefoons nog niet lang genoeg in gebruik zijn zodat enig voorbehoud en voorzorg aangewezen blijft. De mogelijkheid dat GSM-straling kanker veroorzaakt kan daarom nog niet met zekerheid worden uitgesloten. Op basis van een aantal onzekerheden en twijfels heeft het Internationaal Agentschap voor Onderzoek naar Kanker (IARC) radiofrequente straling voorlopig toch ingedeeld in de groep van 'mogelijke kankerverwekkende agentia' (= 2B). Uit

onderzoek blijkt dat het onwaarschijnlijk is dat normaal voorkomende GSM-straling nadelige effecten heeft op het hart, het bloed, het immuunsysteem en de voortplanting. Interferentie met pacemakers is wel mogelijk maar tegenwoordig weinig waarschijnlijk.

Wanneer men de blootstelling aan elektromagnetische velden t.g.v. GSM-basisstations meet, maakt men enkele veronderstellingen. Wanneer gemeten elektromagnetische velden vergeleken worden met referentieniveaus, bieden de referentieniveaus een zekere bescherming aangezien door deze te bepalen rekening werd gehouden met maximale koppeling tussen elektromagnetisch veld en menselijk lichaam. Bovendien worden de metingen meestal uitgevoerd op posities waar men een groot elektromagnetisch veld verwacht, maar niet noodzakelijk waar de mensen zich hoofdzakelijk bevinden. Tenslotte wordt aangenomen wanneer de gemeten elektromagnetische velden met de normen worden vergeleken, dat het GSM-basisstation continu, met alle zenders, op maximaal vermogen uitzendt. De werkelijke SAR, uitgemiddeld over het volledige lichaam, zal normaal gezien veel lager liggen dan de SAR bepaald d.m.v. elektromagnetische metingen.

4 Ultraviolette en infrarood straling

4.1 Bronnen van UV-straling en infrarood

De doelgroepen voor de blootstelling aan ultraviolette straling (UV) en lasers kunnen als volgt opgesplitst worden:

Industrie:

- kunststof-, lak-, drukwerkindustrie (UV-verharders), gebruikers van UV-C voor oppervlaktereiniging, ontsmetting, sterilisatie of waterzuivering, gebruikers van UV-fluorescentie detectoren voor afwijkingen van metalen en voor identificatiedoeleinden.

Handel & diensten:

- tandartsen (UV-verharders),
- zonnebankcentra,
- laboratoria (desinfectie van ruimten).

Niet-specifieke doelgroepen:

- andere gebruikers van UV-lampen, halogeenlampen, gloeilampen, gasontladingslampen, boogglasapparatuur.

4.2 Aanwezigheid van UV-licht in de omgeving

Voor *UV-straling* zijn richtlijnen (Tabel 26) alleen van toepassing op golflengten hoger dan 180 nm. UV-stralen met golflengten beneden 180 nm zijn immers biologisch van weinig of geen betekenis, omdat zij onmiddellijk door de lucht worden geabsorbeerd. Speciale aandacht gaat daarbij naar de zogenaamde *actinische straling*, die een chemische werking heeft op sommige lichamen. De richtlijnen geven de maximum blootstellingslimiet waarvan wordt verwacht dat praktisch alle individuen er herhaaldelijk aan mogen worden blootgesteld zonder er nadeel van te ondervinden. Gezien de verschillende huidtypes en interindividuele verschillen in gevoeligheid wordt het meest gevoelige huidtype als referentietype genomen. De richtlijnen gelden zowel voor gepulseerde als voor continue UV-bronnen. In het geval van continue blootstelling wordt deze gekwantificeerd in termen van bestralingssterkte (W/m^2); in het geval van in de tijd gelimiteerde of gepulseerde blootstelling spreekt men van bestralingsdosis (J/m^2). Wegens een hogere gevoeligheid van de ogen voor UV-A straling in vergelijking met de huid (o.m. mogelijkheid tot cataract), hebben zij een lagere toelaatbare dosis.

Tabel 26: UV-bestralingslimieten voor zowel beroepsbevolking als de algemene bevolking, uitgedrukt als een bestralingsdosis voor een periode van 8 uur

UV-stralingstype		golflengte (nm)	bestralingsdosis (J/m ²)
UV- A	Ogen	315 – 400	1,0 x 10 ⁴
	Huid	315 – 400	1,0 x 10 ⁴ – 1,0 x 10 ⁶
UV-B	Ogen	280 – 315	34 – 1,0 x 10 ⁴
	Huid	280 – 315	34 – 1,0 x 10 ⁴
UV-C	Ogen	180 – 280	34 – 2 500
	Huid	180 – 280	34 – 2 500

Blootstellingslimieten voor actinische straling uitgedrukt in tijdslimieten voor een specifieke bestralingssterkte variëren van 8 uur voor een bestralingssterkte van 0,001 W/m² tot 1 seconde voor 30 000 W/m² (IRPA, 1985).

Het plaatsen van tijdschakelaars en het dragen van oogbeschermers en eventuele andere beschermende kledij is onontbeerlijk voor een minimale blootstelling.

4.3 Gevolgen van UV-straling en lasers op de mens

4.3.1 UV straling

UV-stralen bevinden zich op de grens tussen ioniserende en niet-ioniserende stralen. Hun gevolg kan naar gelang de golflengte (UV-A, UV-B of UV-C) of naargelang de intensiteit verschillen en kan voor een deel aan ionisaties te wijten zijn. (zie Achtergronddocument Ioniserende straling).

Overmatige blootstelling aan UV van de zon en van kunstmatige bronnen is momenteel een belangrijk gegeven dat met een zekere bezorgdheid door de Wereldgezondheidsorganisatie (WGO) gevolgd wordt. Reizen naar zonovergoten streken enerzijds en het gebruik van de zonnebank anderzijds hebben de laatste jaren een enorme vlucht gekend. Gebruinde lichamen worden al te vaak en zeker onterecht geassocieerd met een gezond lichaam. Dertig procent van de vrouwen tussen 15 en 35 jaar maken gebruik van de zonnebank. Vooral sinds de jaren '90 kan men van een rage hieromtrent spreken. De Wereldgezondheidsorganisatie benadrukt dat het gebruik van deze artificiële bruiningstoestellen voor de algemene bevolking geen gezondheidsvoordeel oplevert en is dus tegen het gebruik ervan voor niet-medische doeleinden. Sinds 2008 is in België de strengere EU-regelgeving voor zonnebanken van kracht. Hierbij dienen de eigenaars van zonnebanken de klanten te informeren over hun huidtype en de behandeling hieraan aan te passen. Daarnaast zijn ook de stralingsnormen voor de lampen aangepast (KB 20-06-2002).

Van de drie soorten UV-straling, is UV-C het meest schadelijk, maar wordt gelukkig volledig door de ozonlaag geabsorbeerd. Daarna is UV-B het meest schadelijk voor de gezondheid, maar ook UV-A is niet onschuldig. UV-A straling is wel veel zwakker dan UV-B: om eenzelfde graad van roodheid van de huid op te wekken is duizendmaal meer UV-A nodig. Tegelijkertijd stelt een dag zonlicht ons wel duizend maal meer bloot aan UV-A dan UV-B, want dit laatste wordt voor 90 % door de dampkring tegengehouden. Vandaar o.a. het belang dat een zonnecrème zowel bescherming biedt tegen UV-A als tegen UV-B straling.

UV-A dringt dieper in de onderliggende huidlagen door dan UV-B, waardoor bindweefsel (collageen en elastine) en bloedvaten aangetast kunnen worden. Collageen is zeer trekvast en bezorgt de huid haar stevigheid, terwijl de elastinevezels de huid haar soepelheid en elasticiteit verlenen. UV-A speelt dus onder meer een rol bij de vroegtijdige veroudering van de huid. Nieuwe onderzoeksgegevens wijzen ook op het feit dat zelfs UV-A de ontwikkeling van huidkanker kan bespoedigen en uit recente gegevens blijkt verder dat UV-A straling een nefaste invloed op de immuniteit kan hebben. Het is algemeen bekend dat overmatige blootstelling aan zon koortsblaasjes kan veroorzaken. Dit wordt in verband gebracht met een verzwakking van het immuniteitssysteem onder invloed van UV (voorheen enkel toegeschreven aan UV-B) waardoor het herpes simplex virus zich dus zienderogen manifesteert. UV-A dringt door tot de ooglenzen en bij volwassenen dringt 1 % ervan door tot

het netvlies, terwijl UV-B volledig door het hoornvlies geabsorbeerd wordt. Overmatige blootstelling kan fotokeratitis, fotoconjunctivitis en cataract veroorzaken. Keratitis is een ontsteking van de cornea of hoornvlies. Conjunctivitis is een ontsteking van het bindvlies dat de oogbol en de binnenzijde van de oogkas bedekt. Beide ontstekingsprocessen zijn zeer pijnlijk, maar reversibel. Extreme vormen van keratitis kunnen wel complicaties en chronische irritaties met zich meebrengen. Keratitis die veroorzaakt wordt door UV-weerkaatsing op sneeuw, is beter bekend als sneeuwblindheid. In tegenstelling tot gras of grond, die minder dan 10 % van de invallende UV-straling weerkaatsen, reflecteert verse sneeuw tot 80 % van het invallende UV. Bovendien stijgt het UV-niveau 10 % bij elke hoogtetoename van 1 000 m.

Cataract of een vertroebeling van de ooglens behoort tot de voornaamste oorzaken van blindheid op wereldschaal. De prevalentie van cataract of grauwe staar verhoogt bij een toegenomen blootstelling aan UV-B straling. De WGO schat dat 20 % van de gevallen van cataract door een overmatige UV-blootstelling veroorzaakt worden.

Ook aan zee moet men uitkijken voor extra UV-blootstelling, aangezien het schuim op het water om en bij 25 % van de UV-straling weerkaatst die dus aan de blootstelling dient toegevoegd te worden.

Zowel in het gebergte als aan zee is men in hogere maten aan UV-straling blootgesteld en moeten dus zeker beschermingsmiddelen zoals zonnecrème, zonnebril, hoed, kledij aangewend worden.

UV-B, hoewel biologisch erg actief, dringt slechts tot de oppervlaktelagen van de huid door. UV-A zorgt voor een onmiddellijke bruining van zeer korte duur door het feit dat deze straling het pigment melanine dat reeds aanwezig is in de opperste cellagen onmiddellijk activeert. Het bruiningseffect van UV-B straling daarentegen wordt pas na twee à drie dagen zichtbaar, aangezien het de productie van nieuwe melanine stimuleert. UV-B zorgt tevens voor een verdikking van de epidermis of opperhuid. De bruinkleuring en verdikking van de huid zijn beschermingsmechanismen tegen de UV-straling. Een bruine getinte blanke huid levert een beschermingsfactor tegen zonnebrand tussen 2 à 4 op. Het is hoe dan ook geen bescherming tegen huidkanker. UV-B is de belangrijkste veroorzaker van zonnebrand en huidkanker. Wanneer de opperhuidcellen beschadigd raken, komen er stoffen vrij die de bloedvaten in de dermis of lederhuid doen verwijden wat aanleiding geeft tot erytheem of roodheid van de huid. Bij hoge doses UV zullen de huidcellen gedood of ten minste zeer ernstig beschadigd worden. Zonnebrand als dusdanig treedt snel op na de overmatige UV-blootstelling en bereikt een maximum intensiteit tussen 8 en 24 uren na de blootstelling.

Er kunnen acute of chronische gevolgen optreden. Die beperken zich echter steeds tot de huid of de ogen aangezien de stralen volledig door de huid worden geabsorbeerd. *Acute gevolgen* op niveau van de huid zijn huidverdikking, pigmentatie, vitamine-D-vorming en overgevoeligheidsreacties. Pigmentatie en huidverdikking zijn zoals eerder al aangegeven verdedigingsmechanismen die door het lichaam worden genomen om het te beschermen tegen de nefaste invloeden van UV-straling. Vitamine-D-vorming is overigens onontbeerlijk voor de normale ontwikkeling van het individu, maar dit rechtvaardigt geenszins het zonnebaden aangezien doorgaans wordt aangenomen dat twee- tot driemaal per week een kwartuurtje handen, gezicht en nek aan het buitenlicht blootstellen voldoende is om de nodige hoeveelheid vitamine D te synthetiseren in het lichaam. Is de 'stralingsdosis' echter te groot dan treedt huidverbranding op, wellicht het bekendste acute gevolg van UV-straling. Van de drie soorten UV-stralen worden UV-A stralen (315-400 nm) als de minst gevaarlijke beschouwd. Recent wetenschappelijk onderzoek maant hier toch aan tot enige voorzichtigheid. UV-A stralen zijn wel degelijk gevaarlijk voor de gezondheid, dit in tegenstelling tot wat een paar jaar geleden beweerd werd. Bovendien kunnen zij bij jarenlange blootstelling fotochemische staar (cataract) veroorzaken en samen met bepaalde chemische stoffen tot fotoallergie en fototoxiciteit leiden. Op niveau van de ogen kunnen UV-B (280-315 nm) en UV-C (100-280 nm) reeds bij vrij korte blootstelling voor oogbindvlies- en hoornvliesontsteking verantwoordelijk zijn (bv. 'sneeuwblindheid', 'lasogen'). *Chronische gevolgen* van UV-B en UV-C zijn huidveroudering, huidkanker en staarvorming (cataract). Hier moet bijzondere aandacht gevestigd worden op het gebruik van allerlei types van

zonnelampen en -hemels waarvan de meeste schadelijke UV-B en UV-C stralen produceren. UV-C stralen zijn het schadelijkst.

Aangezien de ozonlaag een zeer effectieve filter is voor UV-straling, heeft de afbraak van deze beschermende laag onmiskenbaar een effect op onze gezondheid. Mens en omgeving worden aan hogere UV-waarden blootgesteld en zeker het aandeel van de UV-B straling zal toenemen bij verdere afname van de dikte van de ozonlaag. Deze laag wordt afgebroken door kunstmatig vervaardigde chemicaliën als chlorides en bromides. Het is dan ook van het grootste belang dat het Montreal Protocol, dat voorziet in een geleidelijke vervanging van deze ozonvernietigende substanties, minutieus uitgevoerd en opgevolgd wordt. (zie Achtergronddocument Aantasting ozonlaag)

Andere werkingsmechanismen zijn de initiatie van 'fotobiologische' of 'fotochemische' effecten en de vorming van ozon door bestraling van O₂ met korte-golf UV-stralen (zie Achtergronddocument 'Fotochemische luchtverontreiniging').

4.3.2 Lasers

De oppervlakken, bereikt door een laserstraal, staan bloot aan een sterk geconcentreerde energie met een thermisch effect voor gevolg. Dit effect is groter wanneer het medium (bv. biologisch weefsel) minder doorlatend is voor de straling en wanneer dit medium heterogeen is. Naast een grotere energieconcentratie op kleine weefselstukken, is de thermische verdeling onregelmatig met verdamping van water en celschade tot gevolg.

Thermische effecten kunnen optreden op de huid en de ogen. Het hoornvlies kan straling met een golflengte van 200-315 nm (UV-lasers) absorberen, wat bindvliesontsteking kan veroorzaken. De ooglenzen en in beperkte mate het netvlies absorberen de straling van 315-400 nm UV-lasers. Bij langdurige blootstelling zal lensvertroebeling optreden. Door zichtbaar licht met golflengten (400-780 nm) op het netvlies te concentreren kan een beperkte verbranding van het netvlies optreden. Maar zelfs zonder dat er verbranding optreedt, kan laserstraling gevaarlijk zijn voor het menselijk oog, aangezien de vermogensdichtheid van een laser met uitgangsvermogen van 1 mW groter is dan de vermogensdichtheid door de zonnestralen op het netvlies gegenereerd wanneer deze in het zenit staat. Dit kan tot een blijvend letsel leiden. Het verre infrarood kan een verwarming van het netvlies veroorzaken wat ook het hoornvlies van het oog aantast. Het gedeelte van de laserstraal dat het oog kan binnendringen hangt in belangrijke mate af van de opening van de pupil (gemiddeld 2 mm bij daglicht tot 8 mm bij duisternis). Gebruik van laserapparatuur in een heldere omgeving vermindert dat risico. Gepulseerde lasers bij gelijk vermogen zijn veel gevaarlijker dan lasers met continue golven. De samentrekking van de pupil door een plotse lichtflits is veel te traag om een afdoende bescherming te bieden.

Behalve thermische effecten kan laserapparatuur nog andere effecten meebrengen. Sommige types van laserapparaten gebruiken hoogspanning met de klassieke risico's van elektrische installaties. Andere laserapparaten benutten vloeibare stikstof met risico van blootstelling aan extreem lage temperaturen en van brandwonden door de intense koude. Naast halfgeleiderlasers is de gaslaser één van de belangrijke types van lasers. Helium-, CO₂-, stikstoflasers kunnen het zuurstofgehalte in de lucht aanzienlijk verminderen tot kritische waarden zonder dat men dit opmerkt. UV-lasers kunnen ozon of andere giftige gassen vrijzetten, bv. bij het snijden van plexiglas met laserstralen. Aangezien laserstralen zeer energierijk zijn, is het gebruik van lasers doorgaans af te raden in een explosief milieu (waar spuitbussen of ontvlambare producten opgeslagen worden). Een laserstraal doorheen een vaste stof kan hypersonisch zijn, waardoor glas, kristal en andere materialen kunnen breken en snijwonden veroorzaken.

Laserveiligheid

De actuele normen inzake laserveiligheid (in het werkmilieu) zijn gebaseerd op proefnemingen van het Amerikaans leger en hebben geleid tot de Navo-veiligheidsnorm STANAG 3606 LAS, waaruit dan de Belgische normen ontstaan zijn, gebaseerd op ondermeer de Amerikaanse standaard ANSI (American National Standards Institute)

Z136.1/Z136.3 en de Europese EN 60825-1-norm. De toepassing van de principes van laserveiligheid is wettelijk vastgelegd in het Koninklijk Besluit van 12 juli 1985 en wordt beschreven in Art 103 (§7) van het ARAB. Op grond van bovenstaande normen, worden lasers ingedeeld in verschillende veiligheidsklassen in functie van de mogelijke letsels en schade die ze kunnen veroorzaken. In januari 2001 werd de Europese norm 60825 echter herzien, wat resulteerde in een deels nieuwe indeling. De herziene klassificatie is opgenomen in de Europese EN 60825-1-norm die identiek is aan de internationale (International Electrotechnical Commission) IEC 60825-1-norm.

In de praktijk stellen we vast dat heel wat lasers nog volgens de oude laserveiligheidsklassen zijn ingedeeld (te merken aan de verplichte etikettering op de toestellen zelf). Vandaar dat we het opportuun achten om zowel de oude als de nieuwe indeling hier te vermelden.

Indeling van de lasers in functie van het gevaar volgens de vorige standaard EN 60825-1

Lasers worden ingedeeld in 5 klassen in functie van de stijgende graad van gevaar. Deze indeling gebeurt in functie van de golflengte en het uitgestraalde vermogen. Straling in het verre ultraviolet (UV), gekenmerkt door golflengten die kleiner zijn dan 315 nanometer (nm), evenals straling in het verre infrarood (IR), gekenmerkt door golflengten groter dan 1400 nm, worden beide geabsorbeerd door het hoornvlies (cornea), waar er dus op die manier weefselschade kan veroorzaakt worden. Nabije UV-straling (315-380 nm) wordt echter geabsorbeerd ter hoogte van ooglens, wat een vertroebeling ervan kan teweegbrengen. Lasers die stralen in het domein van het zichtbaar licht (380-780 nm) en het nabije IR (780-1400 nm), zijn veruit het gevaarlijkst, vermits hun straling door de ooglens gefocuseerd wordt op het netvlies (retina) in een enkel punt. Daarbij komt nog dat het menselijk oog geen enkele afweerreactie (oogleden gaan niet naar beneden) vertoont voor de nabije IR straling, omdat deze juist gekenmerkt wordt door het feit dat ze niet waarneembaar is voor ons oog. De neodmium-yag laser en de neodmium-glas laser zijn toestellen die tot deze klasse behoren. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de lasers van de klassen 3b en 4 wettelijk voorzien moeten zijn van een afneembare sleutel (om de laser te activeren). Ongeacht de klasse waartoe een laser behoort, dient de klasse erop vermeld te worden met behulp van een zelfklever. De klasse 2 bevat enkel lasers die in het zichtbaar deel van het elektromagnetisch spectrum stralen. Enkel de klasse 1 lasers zijn ongevaarlijk voor het menselijk oog. Terloops kan opgemerkt worden dat de vermogensdichtheid van een laser met uitgangsvermogen van 1 mW groter is dan de vermogensdichtheid van de stralen van de zon wanneer deze in het zenith staat. Dit voorbeeld illustreert duidelijk hoe gevaarlijk een laser met een vermogen van 'slechts' 1 mW kan zijn. Tabel 27 geeft een overzicht.

Tabel 27: Laserveiligheidsklassen volgens de vorige standaard EN 60825-1

laserklasse	gevaar
klasse 1: Laagste vermogen	Geen gevaar.
klasse 2: Laag vermogen (maximaal 1 mW)	Oogbeschadiging wanneer men in de bundel staart; enkel geldig voor lasers die zichtbaar licht uitstralen; de ooglidreflex beschermt hier immers het oog.
klasse 3: Middelmatic vermogen	
a	Oogbeschadiging wanneer de bundel in het oog gefocuseerd wordt (optische vergrotingsinstrumenten).
b	Oogbeschadiging wanneer men kijkt naar de directe of indirecte (weerkaatste) laserbundel; de ooglidreflex is hier niet meer afdoende. Toegelaten maximaal uitgezonden vermogen: 500 mW. Beperkt gevaar voor de huid.
klasse 4: Hoogste vermogen	Oogbeschadiging wanneer men kijkt naar de directe, weerkaatste of diffuus gereflecteerde laserbundel. Deze groep kan zelfs ontvlambare producten doen ontvlammen en kan aanzienlijke huidbeschadiging teweegbrengen.

Bron: EN 60825-1

De nieuwe laserveiligheidsklassen volgens EN/IEC 60825-1

Drie nieuwe laserveiligheidsklassen werden ingevoerd en de vroegere klasse 3A werd afgeschaft, die grotendeels door de nieuwe klassen 1M en 2M vervangen wordt. De nieuwe standaard geldt zowel voor lasers als voor LEDs (Light Emitting Diode). Tabel 28 geeft een overzicht van deze standaard.

Tabel 28: Nieuwe laserveiligheidsklassen volgens EN/IEC 60825-1

laserklasse	gevaar
klasse 1	Ongewijzigd. Levert geen enkel gevaar op.
klasse 1M	Nieuw toegevoegde klasse. Dergelijke lasers produceren een uittredende bundel met een grote diameter; divergente bundel. Leveren geen enkel gevaar op voor het onbeschermd oog, tenzij de bundelbreedte gewijzigd wordt door het gebruik van optische instrumenten. In dit laatste geval dient het geheel ingedeeld te worden bij een hogere klasse.
klasse 2	Deze lasers zenden enkel voor de mens zichtbaar licht uit; er wordt vanuit gegaan dat de natuurlijke menselijke reflex (ooglidreflex of wegstaren) voldoende is om schadelijke blootstelling te vermijden. Opzettelijk in de bundel staren (langer dan 2.5 ms) kan gevaarlijk zijn. Ongevaarlijk voor de huid.
klasse 2M	Zenden enkel in het zichtbare deel van het spectrum uit en de uittredende bundel heeft een grote diameter; divergente lichtbundel. De menselijke ooglidreflex volstaat hier om schadelijke blootstelling te voorkomen, tenzij optische instrumenten gebruikt worden die de bundel focussen. Ongevaarlijk voor de huid.
klasse 3R	Laag risico lasers, maar potentieel gevaarlijk. Uittredende bundel heeft een vermogen dat de maximaal toelaatbare blootstelling overschrijdt bij blootstelling van een kwartseconde en 100 seconden bij respectievelijk een laser die zichtbaar licht uitstraalt en een laser die in het niet-zichtbare deel van het spectrum uitstraalt. Het totaal uittredende vermogen van de bundel mag het toegelaten niveau van de klasse 2 (zichtbaar licht) of de klasse 1 (in het geval van onzichtbaar licht) niet met een factor 5 overschrijden. Ongevaarlijk voor de huid; gevaarlijk voor de ogen.
klasse 3B	Ongewijzigd; gevaarlijk. Diffuse reflectie is ongevaarlijk. Door de gewijzigde klasse-indeling kunnen sommige voorheen geklasseerde 3B-lasers nu ondergebracht zijn in de klassen 1M, 2M of 3R.
klasse 4	Ongewijzigd; gevaarlijk, ook de diffuse reflectie. Zeer gevaarlijke lasers zonder bovengrens. Kunnen brand en explosie veroorzaken.

Bron: EN/IEC60825-1

Algemene laserveiligheidsmaatregelen

- Laserbrillen (laser safety glasses) beschermen de ogen tegen schadelijke laserstraling, omdat ze net zó geconcentreerd zijn dat de waarde van hun transmittantie juist 'nul' bedraagt voor die golflengte waarvoor ze bescherming moeten bieden. Het is dus belangrijk hier te benadrukken dat er geen universele laserveiligheidsbrillen bestaan (de golflengte staat gewoonlijk vermeld op het montuur van de bril). Verifieer daarom steeds voor welke golflengte de laserveiligheidsbril in kwestie bescherming biedt. Niets is immers zo gevaarlijk als in de waan te verkeren dat men beschermd is en verder geen voorzorgsmaatregelen meer neemt. Laserveiligheidsbrillen kunnen momenteel ook vervaardigd worden door middel van holografische technieken.
- Aangezien de energiedichtheid van de uitgezonden laserstraling afneemt met het kwadraat van de afstand, verhoogt het vergroten van de afstand tot de laserbron meteen ook de veiligheid.
- Aan de ingang van lokalen waar er een laser opgesteld staat, dienen waarschuwingsborden aangebracht te worden. Verder moet vermeden worden om de laser op te stellen op ooghoogte.

- Tijdens het gebruik van de laser moet vermeden worden om reflecterende voorwerpen (metaal, glas ...) in de laserbundel te houden.
- Aangezien de meeste laserstralen doorheen vensterglas gaan, is het aangeraden hierop ondoorschijnende bekleding aan te brengen wanneer de laser in werking is.
- De afneembare sleutel (lasers van de klasse 3b en klasse 4) worden best op een afsluitbare plaats afzonderlijk opgeborgen.
- Aangezien een donkere omgeving de pupilopening van het menselijk oog vergroot en dus ook het risico op oogschade, dient er steeds in voldoende verlichte lokalen met lasers gewerkt te worden.

Een regelmatig oogheelkundig onderzoek wordt sterk aangeraden.

Referenties

- Adang D. (2008) An epidemiological study on low-level 21-month microwave exposure of rats. Thesis. Louvain-la-Neuve: Catholic University of Louvain, 2008.
- Adang D., Remacle C., & Vander Vorst A. (2009) Results of a long-term low-level microwave exposure of rats. *IEEE Trans Microwave Theory Tech*, 2009; 57(10): 2488-2497
- Ahlbom A., Day N., Feychting M., Roman E., Skinner J., Dockerty J., Linet M., McBride M., Michaelis J., Olsen J.H., Tynes T. & Verkasalo P.K. (2000) A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukemia., *Br. J. Cancer*, **83**, 692-698.
- Aydin D., Feychting M., Shüz J., Klæboe L., Roösl M. (2010) Predictors of mobile phone use and overestimation of recalled mobile phone use among children and adolescents in a case-control study (CEPHALO-study). Abst. 10th. International Conference of the European Bioelectromagnetics Association, Rome, 21-24 februari 2010, p. 15.
- Belgisch Staatsblad (2001) Koninklijk besluit houdende de normering van zendmasten voor elektromagnetische golven tussen 10 MHz en 10 GHz. Ministerie van Sociale Zaken, Volksgezondheid en Leefmilieu, 22 mei 2001, 16987-16990.
- Bergqvist U., Brix J., de Gruijl F., de Seze R., Hietanen M., Jeffereys J.G.R., Lagroye I., Lotz G.W., Owen R.D., Repacholi M.H., Saunders R., Tenforde T.S., Verschaeve L., Veyret B. (2003) Review of experimental investigations of EMF biological effects (0-100 kHz) – ICNIRP Standing committee II. In: Matthes R., McKinley A., Bernhardt J., Vecchia P., Veyret B., eds., *Exposure to static and low frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences*. ICNIRP13/2003, ISBN 3-934994-03-2, pp. 121-398.
- Blaustein AR, Wake D B. 1990. Declining amphibian populations: a global phenomenon? *Trends in Ecology and Evolution* **5** 203-204.
- Bortkiewicz A., Zmyslong M., Palczynski C., Gadzicka, E. & Szmigielski, S., (1995) Dysregulation of autonomic control of cardiac function in workers at AM broadcasting stations (0,738-1,503 MHz)., *Electro Magneto Biology* , **14(3)**, 177-191.
- Bracken M.B., Belanger K., Hellenbrand K., Dlugosz L., Holford T.R., McSharry J.E., Adesso K. & Leaderer B. (1995) Exposure to electromagnetic fields during pregnancy with emphasis on electrically heated beds: Association with birthweight and intra-uterine growth retardation., *Epidemiology*, **6**, 263-270.
- Braune S., Wrocklage C., Raczek J., Gailus T. & Lucking C.H. (1998) Resting blood pressure increase during exposure to a radiofrequency electromagnetic field., *Lancet*, **352**, 576.
- Brown SF. 2008. Body Scanners: Weapons Revealed. *Scientific American*, april 2008 <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=weapons-revealed>
- Burda H, Begall S, Cervený J, Neef J, Nemeč P. (2009) Extremely low-frequency electromagnetic fields disrupt magnetic alignment of ruminants., *Proc Natl Acad Sci U S A.*, **106**, 5708-5713.
- Cardis E. (2010) Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study. INTERPHONE Study Group. *Int J Epidemiol.* 2010 Jun;39(3):675-94.
- CENELEC (1995a) Human Exposure to Electromagnetic fields: low frequency (0 to 10 kHz), European pre-standard ENV 5166-1.
- Cruells M J. (2007) La lipoatrofia semicircular, una nueva en fermedad profesional emergente? *Dyna*, **82**, 450-454.

- Daszak P, Berger L, Cunningham A A, Hyatt A D, Eearl Green D, Speare R. (1999) Emerging Infectious Diseases and Amphibian Population Declines., *Emerging Infectious Diseases*, **5** 735-748.
- Davanipour Z, Sobel E. (2009). Long-term exposure to magnetic fields and the risks of Alzheimer's disease and breast cancer: Further biological research., *Pathophysiology*, **16**., 149-156.
- Decat G. (2002) Representativeness of 24 h and 48 h measurements of the magnetic field exposure for epidemiological purposes and the ratio between the dynamic and static exposure for people living below high voltage transmission lines. Piers 2002 Proceedings, Progress in Electromagnetic Research Symposium, July 1-5, 2002, Cambridge, Massachusetts, USA, Published by the Electromagnetic Academy, Cambridge USA, p. 691.
- Decat G. , Meyen G., Peeters E., Van Esch L., Deckx L., Maris U. (2007) Modelling en GIS-toepassing voor het bepalen van de blootstelling en het epidemiologisch risico van het 50 Hz magnetisch veld gegenereerd door de ondergrondse hoogspanningskabels in Vlaanderen. Studie uitgevoerd in opdracht van MIRA, Milieurapport Vlaanderen. Onderzoeksrapport 2007/07
- Decat G.& Van Tongerloo J. (1998) Monitoring of the Magnetic Fields in Houses under High-Voltage Overhead Transmission Lines of 150, 220 and 380 kV., *International Journal of Environment and Pollution. Scienc . Engineering . Ecological Economics . Policy* .**9 (4)**, 341 – 351.
- Decat G.(2001) Relative exposure index for the relation between the personal and the stationary home magnetic field exposure close to and far away from power lines. EBFA-proceedings, 5th Int. Congress of the European Bioelectromagnetic Association, 6-8 September 2001, Helsinki, Finland, 2001, pp. 136-139, September 2001.
- Decat G., Peeters E., Smolders R.& Bossuyt M. (2003) Tijdsreeks en GIS-model om de blootstelling van de bevolking aan het 50 Hz magnetisch veld gegenereerd door bovengrondse hoogspanningslijnen in Vlaanderen in kaart te brengen (2003/IMS/R/117)
- Decat Gilbert, Deckx Leo, Meynen Guy en Polders Caroline (2006) blootstelling van de algemene bevolking aan 0Hz tot 3 GHz elektromagnetische velden in bibliotheken , elektrozaken , grootwarenhuizen, luchthavens, openbaar vervoer, stations, wandel en winkelstraten uitgevoerd door VITO in opdracht van de Vlaamse Overheid, Departement Leefmilieu, Natuur, Energie 2006/IMS/R/210 VITO
- Djordjevic Z., Kolak A., Stogkovic M., Rankovic N. & Ristic P. (1979) A study of the health status of radar workers., *Aerospace Med* , **50**, 316-398.
- Dreyer N.A., Loughlin J.E.& Rothman K.J. (1999) Cause-specific mortality in cellular telephone users. *JAMA*, **282**,1814.
- Eicher B., Siegenthaler J., Urech M. & Kuster N. (1992) Effects of microwave and RF exposure on lichens, Abs. XIVth Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society, Copenhagen, 4.
- Elder J. (2010) Radiofrequency studies on tumorigenesis and the blood-brain barrier in lab animals support the conclusion of no adverse effects without significant tissue temperature increase, in: Proceedings of 2010 Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Beijing, China, (2010), pp. 13–15.
- Elia (2002-2009) Activiteitenverslag – Jaarverslag 2002 -2009
- Elliot P. (2010). Mobile phone base stations and early childhood cancers: case-control study British Medical Journal, Jun 22;340:c3077. doi: 10.1136/bmj.c3077
- Elwood J.M (1999) A critical review of epidemiologic studies of radiofrequency exposure and human cancers., *Env Health Perspect* , **107**, 155-168.
- Foster K., Vecchia P., Repacholi M.H. (2000) Science and the precautionary principle. ,*Science*, **288**,:979-981.
- Garcia AM, Sisternas A, Hoyos S P. (2008). Occupational exposure to extremely low frequency electric and magnetic fields and Alzheimer disease: a meta-analysis. *Int. J. Epidemiol.* **37**: 329-340.
- Gecoli (1992), 'Het transport van elektrische energie op H.S. en Z.H.S., Intern Rapport B.9005b.
- Gezondheidsraad Commissie ELF Elektromagnetische Velden (2000). Blootstelling aan elektromagnetische velden (0 Hz-10 MHz), Gezondheidsraad 2000/6, Den Haag.
- Goldini J. (1990) Hematological changes in peripheral blood of workers occupationally exposed to microwave radiation. ,*Health Phys*, **58**, 205-207.
- Greenland S., Sheppard A.R., Kaune W.T., Poole C., & Kelsh M.A. (2000) A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia., *Epidemiology*, **11**, 624-634.

- Hamburger S., Logue J.N. & Silverman P.M. (1983) Occupational exposure to non-ionizing radiation and an association with heart disease: an exploratory study., *J Chron Dis*, **36**,791-802.
- Hardell L., Nasman A., Pahlson A., Hallquist R. & Hansson-Mild K. (1999) Use of cellular telephones and the risk for brain tumours: a case-control study., *Int J Oncol*, **15**, 113-116.
- Hayes D.L., Wang P.J., Reynolds D.W., Estes N.A.M., Griffith J.L., Steffens R.A.,Carlo G.L., Findlay G.K. & Johnson C.M. (1997) Interference with cardiac pacemakers by cellular telephones., *N Engl. J Med*, **336 (21)**, 1473-1479.
- Hermann D.M. & Hossman K.A. (1997) Neurological effects of microwave exposure related to mobile communication., *J Neurol Sciences*, **152**, 1-14.
- Hoge Gezondheidsraad België, Brochure 'de GSM, veilig mobiel telefoneren ?', herziene versie 2000.
- Huss A, Spoerri A, Egger M, Roosli M. 2009. Residence near power lines and mortality from neurodegenerative diseases: longitudinal study of the Swiss population. *Am. J. Epidemiol.* **169**: 167-175.
- IARC (2002) IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Vol. 80, Non Ionizing radiation, part 1: Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields. IARC Press, Lyon, ISBN 92 832 1280 0.
- IEC-standard (1988), Safety of household and similar electrical appliances. Part 2: Particular requirements for microwave ovens. IEC-publication 335-2-25 (2nd ed). Commission Electrotechnique International Genève, 4-357.ICNIRP (1998) Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz), *Health Physics*, **4**, 494-594.
- Independent Expert Group on Mobile Phones (2000) Mobile phones and health, NRPB, Chilton.
- International Commission of Non-Ionizing Radiation Protection ICNIRP (2000) *Effects of Electromagnetic Fields on the Living Environment*. Proceedings of the International Seminar on Effects of Electromagnetic Fields on the Living Environment - Ismaning, Germany, 4-5 October 1999; R. Matthes, J.H. Bernhardt, M.H. Repacholi (eds.) International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection 2000, ISBN 3-9804789-9-8.
- International Commission of Non-Ionizing Radiation Protection ICNIRP (1998) Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). *Health Physics* **74 (4)**: 494-522.
- International Commission of Non-Ionizing Radiation Protection ICNIRP (2009) "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)". The International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). *Health Physics* **97(3)**,257-259
- International Radiation Protection Association (IRPA) (1985), Guidelines on limits of exposure to Ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation), *Health Phys.*, **49**, 331-340.
- Joseph W. & Martens L. (2003), "Safety Factor for the Determination of Occupational Exposure by SAR in Phantom Model," *IEE Electronics Letters*, **vol 39, no. 23**, pp. 1663 – 1664.
- Joseph W. & Martens L. (2005), General Correction factor to be applied to the SAR for occupational electromagnetic exposure in phantom models, *Bioelectromagnetics 2005*, Dublin, Ireland, pp. 358 - 360.
- Juutilainen J., Lagroye I., Miyakoshi J., van Rongen E., Saunders R., de Seze R., Tenforde T., Verschaeve L., Veyret B. & Xu Z. (2009) Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 kHz – 300 GHz). In: Vecchia P., Matthes R., Ziegelberger G., Lin J., Saunders R., Swerdlow A., eds., Review of Experimental Studies of RF Biological Effects (100 kHz – 300 GHz), ICNIRP **16/2009**, ISBN 978-3-934994-10-2 pp. 94-319.
- Juutilainen J., Lagroye I., Miyakoshi J., van Rongen E., Saunders R., de Seze R., Tenforde T., Verschaeve L., Veyret B., Xu Z. (2011) Experimental studies on carcinogenicity of radiofrequency radiation. *Crit. Rev. Environm. Sci. Technol.*, **41**, in press (DOI:10.1080/10643389.2010.481584..
- Kavet R. (1999) Magnetic field exposure and cardiovascular disease mortality among electric utility workers., *Am J Epidemiol*, **149**, 135-142.
- Kelfkens G., Pennders R.M.J. & Pruppers M.J.M. (2003), Plannen voor nieuwbouwwoningen bij bovengrondse hoogspanningslijnen. RIVM rapport 610150004/2003.
- Kelfkens G & Pruppers MJM (2005) Handreiking voor het berekenen van de specifieke 0,4 microtesla zone in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen RIVM, september 2005, versie 1.0
- Kheifets L, Bowman J D, Checkoway H, Feychting M, Harrington J M, Kavet R, Marsh G, Mezei G, Renew D C, van W E. (2009). Future needs of occupational epidemiology of extremely low frequency electric and magnetic fields: review and recommendations. *Occup. Environ. Med.* **66**: 72-80.

- Kheifets L.I., Afifi A.A., Buffler P.A. & Zhang Z.W. (1995) Occupational electric and magnetic field exposure and brain cancer. A meta-analysis., *J Occup Environ Med*, **37**,1237-1241.
- Kheifets L.I., Afifi A.A., Buffler P.A., Zhang Z.W. & Matkin C.C. (1997) Occupational and magnetic field exposure and leukemia. A meta-analysis., *J Occup Environ Med*, **39**,1074-1091.
- Koivisto M., Revonsuo A., Krause C., Haarala C., Sillanmäki L., Laine M., & Hämäläinen H. (2000) Effects of 902 MHz electromagnetic field emitted by cellular telephones on response times in humans, *Neuro-Report 2000*, **11**, 413 - 415.
- Kuster N., Bolzano Q. & Lin J.C. (1997) *Mobile Communications Safety*, Chapman & Hall, London.
- Lerchl A, Wilhelm AF.(2010) Critical comments on DNA breakage by mobile-phone electromagnetic fields [Diem et al., *Mutat. Res.* **583** (2005) 178-183].*Mutat Res.* **697**,60-65.
- Leitgeb N. (2011a) Editorial. *Wiener Med. Wochenschr.* 161, 225.
- Leitgeb N. (2011b) Comparative health risk assessment of electromagnetic fields. *Winer Med. Wochenschr.* 161, 251-262.
- Maes A. & Verschaeve L. (2003) Lipoatrophia semicircularis: an electromagnetic hypothesis. *Electromagnetic Biol. Med.*, **22**, 183-193.
- Markkanen A. (2009) Effects of electromagnetic fields on cellular responses to agents causing oxidative stress and DNA damage., *Kuopio Univ. Publ. C. Nat. And Environ. Sci.* **253**, 1-59.
- Martens L. (1994) Determine the EM fields induced by wireless telephone, *Microwaves & RF*, **12**, 161-166
- MC Cann J., Kavet R. & Rafferty C.N.(2000) Assessing the potential carcinogenic activity of magnetic fields using animal models., *Environ Health Perspect*, **108(1)**, 79-100.
- Microwave Engineering (2001) Focus on Test and Measurement, October 2001, 15–25.
- Microwave News (1997) Swiss tests show wide variation in radiation exposure from cell phones, *Microwave News*, **17 (6)**, 1-11.
- Nationaal Instituut voor de Statistiek (NIS), (http://statbel.fgov.be/home_nl.htm).
- National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS) (1999) Health effects from exposure of power-line frequency electric and magnetic fields, National Institutes of Health (NIH **99-4493**), Research Triangle Park, NC National Institute of Environmental Health Sciences.
- National Research Council (NRC) (1997) Committee on the Possible Effects of Electromagnetic Fields on Biological Systems. Possible health effects of exposure to residential electric and magnetic fields, National Academy Press, Washington DC.
- Nicholls B, Racey PA (2009) The Aversive Effect of Electromagnetic Radiation on Foraging Bats—A Possible Means of Discouraging Bats from Approaching Wind Turbines. *PLoS ONE* **4(7)**: e6246.
- Oftedal G., Wclen J., Sandström M. & Mild K.H. (2000) Symptoms experiences in connection with mobile phone use., *Occup Med*, **50**, 237-245.
- Oldroyd BP. 2007. What's Killing American Honey Bees? *PLoS Biology* **5(6)** e168.
- Pérez A, Nebot M, Maciá M, Panadés R; Collaborative Group for Evaluation of LS Outbreak Control Measures. (2010) An outbreak of 400 cases of lipoatrophia semicircularis in Barcelona: effectiveness of control measures., *J Occup Environ Med.*, **52** :751-757.
- Perry S. & Pearl L. (1988) Power frequency magnetic field and illness in multistorey blocks., *Public Health*, **102**,11-18.
- Poole C., Kavet R., Funch D.P., Donelan K., Charry J.M. & Dreyer N. (1993) Depressive symptoms and headaches in relation to proximity of residence to an alternating current transmission line right of way, *Am J Epidemiol*, **137**, 318-330.
- Preece A. W., Iwi G., Davies-Smith A., Wesnes K., Butler S., Lim E.& Varey A. (1999) Effect of a 915-MHz simulated mobile phone signal on cognitive function in men., *Int J Radiat Biol*, **75**, 447.
- Raad van de Europese Unie (1999) Aanbeveling van de Raad van 12 juli 1999 betreffende de beperking van blootstelling van de bevolking aan elektromagnetische velden van 0 Hz – 300 GHz, Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen, 1999/519/EG, 59-70.
- REFLEX (2004) final report funded by the European Union - Risk Evaluation of potential environmental hazards form low frequency electromagnetic filed exposure using sensitive in vitro methods.

- Regel, S.J., Negovetic, S., Roosli, M., *et al.* (2006) UMTS base station-like exposure, well-being, and cognitive performance. *Environ Health Perspect*, 2006; **114**(8): 1270-1275.
- Repacholi M.H. (1997) Radiofrequency field exposure and cancer: what do the laboratory studies suggest?, *Env Health Perspect*, **105** (6), 1565-1568.
- Repacholi M.H. (1998) Low level exposure to radiofrequency electromagnetic fields: health effects and research needs., *Bioelectromagnetics*, **19**, 1-19.
- Repacholi M.H., Basten A., Gebiski V., Noonan D., Finnie J., Harris A.W. (1997) Lymphomas in Eμ-Pim1 transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields, *Radiation Res.*, **147**, 631-640.
- Robinette C.D., Silverman C., Jablon C. (1980) Effects upon health of occupational exposure to microwave radiation., *Am J Epidemiol*, **112**, 39-53.
- Roosli M. 2008. Commentary: Epidemiological research on extremely low frequency magnetic fields and Alzheimer's disease--biased or informative? *Int. J. Epidemiol.* **37**: 341-343.
- Rothman K.J., Loughlin J.E., Finch D.P., Dreyer N.A.(1996) Overall mortality of cellular telephone customers., *Epidemiology*, **7**, 303-305.
- Scarfi MR, Sannino A, Perrotta A, Sarti M, Mesirca P, Bersani F. (2005) Evaluation of genotoxic effects in human fibroblasts after intermittent exposure to 50 Hz electromagnetic fields: a confirmatory study., *Radiat Res.* 2005 Sep;**164**(3):270-6.
- Schüz J.(2010) Use of mobile phones and the risk of brain tumours: an overview of epidemiologic studies. Lezing tijdens het International Conference of Radiocommunications on Health & Environmental Prospective, Muscat, 30-31 Januari, 2010).
- Smigielski S., Bortkiewicz A., Galzicka E., Zmyslong M., Kubacki R. (1998) Alternation of diurnal rhythms of blood pressure and heart rate to workers exposed to radiofrequency electromagnetic fields., *Blood Press Monit*, **3**(6), 323-330.
- Strumza M.V. (1970) Influence sur la santé humaine de la proximité des conducteurs d'électricité à haute tension. *Arch Mal Prof*, **31**, 269-276.
- The Royal Society of Canada (1999) A review of the potential health risks of radiofrequency fields from wireless telecommunication devices., RSC (RSC.EPR 99-1), Ottawa.
- Thuery J. (1992) Microwaves: Industrial, Scientific, and Medical applications, Artech House, Norwood.
- Tri J., Severson R., Firl A., Hayes D. & Abenstein J. (2005) Cellular telephone interference with medical equipment, *Mayo Clin. Proc.*, **80** (10), 1286-1290.
- Urech M, Eicher B, Siegenthaler J. 1996. Effects of microwave and radio frequency electromagnetic fields on lichens. *Bioelectromagnetics* 17 327-334.
- van Dijk HFG, van Rongen E, Eggermont G, Lebrecht E, Bijker WE, Timmermans DRM. (2011) The role of scientific advisory bodies in precaution-based risk governance illustrated with the issue of uncertain health effects of electromagnetic fields. *J Risk Res.* 14:451-466.
- Van Eycken E. (2002), Kankerincidentie in Vlaanderen. Vlaams Kankerregistratienetwerk (http://www.tegenkanker.net/KiVdoc1_v7.pdf). D/2002/9738/1. Vlaamse Liga tegen kanker. Koningsstraat 217, 1210 Brussel. Pdf's van tabellen met incidentiecijfers 1997-1999: (<http://www.tegenkanker.net/Media/Sterk.604/Tabel%205.1%20M-abs-99.pdf>).
- Van Leeuwen G.M.J., Lagendijk J.J.W., Van Leersum B.J.A.M., Zwamborn A.P.M., Hornsliht S.N., Kotte A.N.T.J.(1999) Calculation of brain temperatures due to exposure to a mobile phone., *Phys Med Biol*, **44**, 2367.
- Vecchia P. (2004) Electromagnetic fields: sources and exposure. Proceedings International NIR Workshop and symposium, Sevilla, 20-22 Mei, Spanje.
- Verschaeve L. (1995) Can non ionising radiation induce cancer? *Cancer J.*, **8**, 237-249.
- Verschaeve L. (2009) Genetic damage in subjects exposed to radiofrequency radiation. *Mutat. Res.*, **681**, 259-270.
- Verschaeve L., Decat G., Maes A. (2004) Inventarisatie van blootstellingsniveaus van niet-ioniserende elektromagnetische straling voor de bevolking in Vlaanderen, literatuurstudie in opdracht van AMINAL cel Milieu en gezondheid, DTG/OL200100709/3097/M&G, (http://www.mina.be/uploads/MG_inventarisatie_van_blootstellingsniveaus_van_nis_2004_290605.pdf).

Verschaeve L., Juutilainen J., Lagroye I., Miyakoshi J., van Rongen E., Saunders R., de Seze R., Tenforde T., Veyret B., Xu Z. (2010) In vitro and in vivo genotoxicity of radiofrequency fields. *Mutat. Res.*, **705**: 252–268.

Verschaeve L., Maes A. (2009) Support for the hypothesis that electro-stimulation is responsible for *Lipoatrophia semicircularis*. *Med. Hypotheses* **73**, 802-806.

Vindevogel G. (2001). Standpunt t.a.v. het voorstel van resolutie van het Vlaams Parlement betreffende de inplanting van GSM-masten. Verslag, BVO/gv/2001/GSM-masten/518.

Warnke U. (1993) Electromagnetic bioinformation: the sensibility to non ionizing radiations of humans and animals, International Symposium on 'Harmful effects of non-ionizing radiation', Brussels, 5-6 juli, lecture summary.

Wertheimer N., Leeper E. (1979) Electric wiring configuration and childhood cancer. *Am. J. Epidemiol.*, **109**, 273-284.

WHO (2005a) Electromagnetic fields and public health: Intermediate Frequencies (IF), international EMF Project information sheet, Februari 2005. (<http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/intmedfrequencies/en/index.html>).

WHO (2005c) Electromagnetic fields and public health: microwave ovens, Information sheet, February 2005. (http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/info_microwaves/en/).

Zwamborn A.P.M., Vossen S. H.A., Van Leersum B.J.A.M., Ouwens M.A. & Makel W.N. (2003) TNO-report, Effects of Global Communication system radio-frequency fields on Well Being and Cognitive functions of human subjects with and without subjective complaints. Fel-03-C148, Den Haag.

Lijst met relevante websites

Algemene informatie over niet-ioniserende electromagnetische straling:

<http://www.intec.rug.ac.be> (info wetenschappelijk onderzoek)

<http://www.esat.kuleuven.be/telemic/research.php> (info wetenschappelijk onderzoek)

<http://www.bbemg.ulg.ac.be> (Belgian BioElectromagnetic Group)

<http://www.who.int/peh-emf/en/> (WHO-webstek over electromagnetische straling)

www.rivm.nl/hoogspanningslijnen (Nederlandse website over blootstelling in de buurt van hoogspanningslijnen)

Instellingen voor telecommunicatie / netwerkbeheerders:

<http://www.lne.be/themas/milieu-en-gezondheid/regelgeving-zendantennes> (Vlaanderen)

<http://www.bipt.be> (België)

<http://www.anfr.fr> (Frankrijk)

<http://www.ofcom.org.uk> (Verenigd Koninkrijk)

<http://www.bundesnetzagentur.de> (Duitsland)

<http://emf.bundesnetzagentur.de> (Duitsland- databank EMF)

<http://www.norkring.be> (antennes openbare omroep)

<http://www.vlaamseeregulatormedia.be> (antennes particuliere radio)

<http://www.elia.be> (hoogspanningsnet)

Databank met sites voor mobiele communicatie in België

<http://www.sites.bipt.be>

Begrippen

Blootstelling: mate waarin de mens of het ecosysteem in contact komt met verontreinigende of verontreinigende stoffen opneemt.

Elektrisch veld: elektrisch veld op een bepaald punt veroorzaakt een kracht op een lading die zich in dat punt bevindt. Deze kracht is evenredig met de grootte van het elektrisch veld en de grootte van de lading.

Elektrische contactstroom: totale elektrische stroom die door een lichaamsdeel vloeit bij contact met een elektrisch geleidend voorwerp. Eenheid: A

Elektrische stroomdichtheid: elektrische stroom die door een oppervlakte-eenheid vloeit en bijvoorbeeld geïnduceerd wordt in biologische weefsels bij een invallend elektromagnetisch veld. Eenheid: A/m²

Elektromagnetisch frequentiespectrum: rangschikking van elektromagnetische velden/straling die zowel het gebied van de ioniserende als het gebied van de niet-ioniserende straling.

Elektromagnetische golf: bestaat uit een elektrische (E) en een magnetische component (H) die beiden een grootte (sterkte) en een richting hebben.

Emissie: uitstoot of lozing van stoffen, golven of andere verschijnselen door bronnen, meestal uitgedrukt als een hoeveelheid per tijdseenheid.

Epidemiologie: wetenschap die de verdeling van ziekte en ziektedeterminanten binnen een populatie in tijd en ruimte bestudeert.

Frequentie: het aantal golfcycli die in één seconde een bepaald punt doorkruisen in de richting van hun voortplanting. De eenheid van frequentie is de Hertz (Hz) of één cyclus per seconde.

Gemiddelde jaarlijkse maximale belasting: gemiddelde van de piekstromen die onder normale uitbatingomstandigheden over het gehele kabelnet van een specifieke type hoogspanningslijn (bv. 150 kV) in een jaar voorkomen.

Incidentie: aantal nieuwe gevallen van een ziekte in verhouding tot een populatie binnen een bepaalde tijd, of de frequentie waarmee een bepaalde ziekte zich voordoet in een populatie gedurende een bepaalde tijd.

Jaargemiddelde belasting: gemiddelde van stromen die in een jaar over het gehele kabelnet van een specifiek type hoogspanningslijn (bv. 150 kV) waargenomen werden.

Magnetisch veld: Het magnetisch veld op een bepaald punt veroorzaakt een kracht op een lading in beweging (stroom) op dat punt. Deze kracht is evenredig met de grootte van het magnetisch veld, de grootte en snelheid van de bewegende lading.

Magnetische fluxdichtheid: grootte gerelateerd met het magnetisch veld volgens $B = \mu_0 H$, met $\mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7}$ H/m zijnde de magnetische permeabiliteit van de vrije ruimte. Eenheid: T (Tesla).

maximale stroombelasting of piekstroom: de hoogste waarde die in een jaar éénmaal voor een specifiek kabelnetwerk (bv. 150 kV) werd geregistreerd. De piekstroom is bij benadering gelijk aan 100 % belasting of de zogenaamde "worst case" situatie.

Niet-ioniserende straling: straling waarvan de energie te zwak is ionisatie te veroorzaken. Dit zijn alle golven met een frequentie kleiner dan 3 PHz of een energie kleiner dan 12,4 eV.

Relatief risico (RR): incidentie van de ziekte in de blootgestelde groep gedeeld door de incidentie van de ziekte in de niet-blootgestelde groep.

rms-waarde: berekende gemiddelde of effectieve waarde van een periodiek wisselende functie. De rms-waarde wordt berekend door het kwadraat van de functie gedeeld door de periode te integreren over een periode en dit resultaat tot de macht 0,5 te verheffen (wortel trekken).

Specifiek absorptie tempo (SAT): hoeveelheid elektromagnetische energie die per seconde en per eenheid massa wordt geabsorbeerd en (doorgaans volledig) omgezet wordt in warmte.

Stralingsfluxdichtheid: hoeveelheid elektromagnetische energie die per tijdseenheid passeert door een oppervlakte-eenheid.

Veldbelasting: hoeveelheid elektrisch en/of magnetisch veld die in de omgevingslucht terechtkomt.

Werkingscapaciteit: verhouding tussen de gemiddelde stroom in een hoogspanningslijn en de maximale stroom die gedurende een periode (bv. een jaar) geregistreerd werd.

Afkortingen

AC: alternating current

BG: background

BIPT: Belgisch Instituut voor Post en telecommunicatie

BN: Belgische norm

CPTE: coördinatie van productie en transport van elektrische energie (Coöperatieve vennootschap)

DCS: Digital Cordless System /Digital Cellular System
DECT: Digital European Cordless Telecommunication/ Digital enhanced cordless telecommunication
DC: direct current
ELF: extreem laag-frequent
EM: elektromagnetisch
EMBV: elektromagnetische veldbelasting
EMC: elektromagnetische compatibiliteit
ERSS: European remote sensing satellite
GSM: Global System for Mobile Communications
HGR: Hoge Gezondheidsraad België
HSPA: high speed packet access
IARC: International Agency for Research on Cancer
ICNIRP: International Commission on non-ionising radiation protection
ICT: informatie en communicatietechnologie
IRPA: International Radiation Protection Association
LTE: long term evolution
NIS: Nationaal Instituut voor de Statistiek
RF: radiofrequentie
RFID: radio frequency identification devices
SAR: Specific Absorption Rate
SAT: Specifiek Absorptie Tempo
TETRA: Terrestrial Trunked Radio
UV: ultraviolet
UMTS: Universal Mobile Telecommunications System
VITO: Vlaamse Instelling voor technologisch onderzoek
VRM: Vlaamse regulator voor de media
WIV: Wetenschappelijk Instituut Volksgezondheid
WLAN: wireless local area network

Eenheden

A: ampère
eV: elektronvolt
g: gram
Hz: Hertz
J: Joule
m: meter
 Ω : Ohm
T: tesla
V: Volt
W: watt