

Achtergrond en keuzemogelijkheden voor een gezondheidkundige advieswaarde voor blootstelling van de bevolking aan 50 Hz magneetvelden

Notitie voor het Vlaams Planbureau voor Omgeving, departement omgeving

Gert Kelfkens, Rianne Stam, Mathieu Pruppers,
Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
Januari 2021

Inhoudsopgave

1.	Inleiding en afbakening	2
2.	Om welke effecten gaat het?	3
3.	Internationale blootstellingslimieten	3
	Hoe worden blootstellingslimieten afgeleid?	3
	Welke organisatie leiden blootstellingslimieten af?	4
	Verschillen ICNIRP / IEEE	5
	Welke organisaties zijn nog meer betrokken bij risicobeoordeling?	6
4.	Welke afwegingen bepalen een GAW?	7
	Referenties	9

1. Inleiding en afbakening

In deze notitie beschrijft het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), in opdracht van het Vlaams Planbureau voor Omgeving, de inventarisatie naar de manieren waarop een limiet aan de blootstelling van de bevolking aan magneetvelden kan worden afgeleid. Deze blootstellingslimiet wordt door het Planbureau aangeduid als 'gezondheidskundige advieswaarde' (GAW). Bij de RIVM-inventarisatie gelden de volgende inperkingen.

Magneetvelden

De inventarisatie betreft uitsluitend magneetvelden. Elektrische velden zoals die bijvoorbeeld in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen voorkomen, kunnen ook effecten op de gezondheid hebben, zoals tintelingen en schokken. Deze effecten blijven in deze inventarisatie buiten beschouwing.

50 Hz

De inventarisatie focust op de magneetvelden met een frequentie van 50 Hz, zoals die in Europa bij de elektriciteitsvoorziening en bij het gebruik van elektrische apparaten kunnen optreden. Gelijkspanning, lagere frequenties, en hogere frequenties, zoals die bij mobiele telecommunicatie worden gebruikt, blijven buiten beschouwing.

Acute effecten

De inventarisatie beperkt zich tot acute effecten die tijdens of direct na blootstelling aan de magneetvelden kunnen optreden. Verder beperkt de inventarisatie zich tot effecten waarvoor een oorzakelijk verband met de magneetvelden is aangetoond, waarvoor duidelijk is bij welke blootstelling effecten wel en niet optreden, en die schadelijk voor de gezondheid of veiligheid van mensen kunnen zijn.

Bevolking

De inventarisatie beperkt zich tot blootstelling van de bevolking, binnenshuis of op publiek toegankelijke plaatsen. Voor blootstelling op de werkplek gelden binnen de Europese Unie wettelijk vastgestelde limieten die volgen uit EU-richtlijn 2013/35/EU [1]

Voorzorg

Langdurige blootstelling aan magneetvelden met een sterkte die onder de drempel voor acute effecten ligt, blijft in deze inventarisatie buiten beschouwing. Epidemiologisch onderzoek geeft aanwijzingen dat een dergelijke blootstelling, die bijvoorbeeld op kan treden bij het wonen in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen, mogelijk tot een verhoogd risico op kinderleukemie leidt. Omdat een oorzakelijk verband met de magneetvelden niet bewezen is, kunnen uit dit onderzoek geen gezondheidskundige advieswaarden worden afgeleid. Voor een aantal landen vormt dit epidemiologisch onderzoek wel aanleiding voor het instellen van voorzorgsbeleid.

2. Om welke effecten gaat het?

Een laagfrequent (extern) magneetveld dringt het menselijk lichaam binnen. Omdat de magnetische eigenschappen van menselijke weefsel en lucht hetzelfde zijn, is het interne magneetveld in het lichaam ongeveer even sterk als het externe veld. Dit magneetveld veroorzaakt een elektrisch veld in het lichaam wat op zijn beurt weer tot elektrische stroom door het weefsel kan leiden. Door deze elektrische velden en stroom kunnen zenuwen, zintuigen en spieren worden geprikkeld. Deze 'elektrostimulatie' van zenuwen, zintuigen en spieren is experimenteel aangetoond. Uit deze experimenten is ook duidelijk bij welke sterkte van het magneetveld deze effecten optreden en onder welke drempel de effecten niet meer worden waargenomen. De gevolgen van elektrostimulatie kunnen, afhankelijk van de sterkte van het veld, zijn: tintelingen, pijn, het ongecontroleerd samentrekken van spieren en verstoring van het hartritme. Naast prikkeling van zenuwen en spieren kan blootstelling aan laagfrequente magneetveld ook leiden tot directe prikkeling van de zintuigen. Door prikkeling van het netvlies in het oog ervaart een persoon dan een flikkerend lichtverschijnsel (fosfenen) terwijl dat lichtverschijnsel buiten het oog niet aanwezig is. Door prikkeling van het evenwichtsorgaan kan duizeligheid of misselijkheid ontstaan. Ook andere cellen in het centrale zenuwstelsel zouden op deze manier direct geprikkeld kunnen worden. De effecten op de zintuigen treden alleen op tijdens de blootstelling en verdwijnen weer zodra de blootstelling stopt. Op zichzelf zijn deze effecten niet direct schadelijk, maar ze kunnen tot schrikreacties leiden waardoor indirect ongevallen (val) of verwondingen kunnen optreden.

3. Internationale blootstellingslimieten

Hoe worden blootstellingslimieten afgeleid?

Er zijn internationale organisaties die op basis van het wetenschappelijk onderzoek richtlijnen voor blootstelling van de bevolking (en werknemers) afleiden. De gekozen aanpak is daarbij op hoofdlijnen hetzelfde. Uit een systematische analyse van de beschikbare wetenschappelijke onderzoekspublicaties worden, voor de bewezen geachte effecten, limieten afgeleid waaronder die effecten niet optreden. Omdat het bepalende proces (induceren van een elektrisch veld met een elektrische stroom als gevolg) zich in het lichaam afspeelt, gaat het primair om een limiet aan de sterkte van het elektrische veld in het lichaam. Bij het bepalen van de getalswaarde van de limiet wordt nog een veiligheidsfactor ingebouwd om rekening te houden met variatie in omgevingsfactoren en mensen die mogelijk extra gevoelig voor magneetvelden zijn zoals kinderen, zwangeren, ouderen, volwassenen met een andere lichaamsomvang of ander lichaamsgewicht en mensen met ziektes of aandoeningen.

Omdat meten in het lichaam ingewikkeld is, wordt de limiet in het lichaam via rekenmodellen, waarin het menselijk lichaam zo goed mogelijk wordt

gemodelleerd, omgerekend naar een (indicatieve) limiet¹ voor de magneetveldsterkte buiten het lichaam die eenvoudig te meten is. Ook in deze rekenmodellen worden veiligheidsfactoren ingebouwd om ervoor te zorgen dat bij blootstelling beneden de limiet buiten het lichaam de limiet in het lichaam niet wordt overschreden en er dus geen acute effecten optreden.

Welke organisatie leiden blootstellingslimieten af?

Er zijn twee internationale organisaties die een rol spelen bij het afleiden van blootstellingslimieten, namelijk de International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) en het Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Europa gebruikt vooral de ICNIRP limieten. De Verenigde Staten, China en delen van Azië vooral de limieten van het IEEE. De volgende publicaties van ICNIRP en IEEE kunnen een rol spelen bij het afleiden van gezondheidkundige advieswaarden.

ICNIRP

ICNIRP is een onafhankelijke organisatie waarin een groep van wetenschappers op non-profit basis samenwerkt. ICNIRP heeft expliciet als doelstelling mens en milieu te beschermen tegen nadelige effecten van niet-ioniserende straling. ICNIRP heeft in 1998 en 2010 blootstellingslimieten voor de bevolking van 50 Hz magneetvelden gepubliceerd. Omdat beide publicaties van belang zijn voor de Europese uitvoeringspraktijk, en er verschillen in methodiek en uitkomsten zijn, worden beiden hier kort besproken.

ICNIRP-1998

In 1998 heeft ICNIRP de eerste blootstellinglimieten voor het frequentiegebied van 0 tot 300 GHz gepubliceerd [2]. Deze publicatie bevat ook blootstellinglimieten voor laagfrequente magneetvelden. Voor laagfrequente magneetvelden wordt de limiet in het lichaam (aangeduid als basisrestrictie) vastgelegd door de stroomdichtheid. Voor 50 Hz hanteerde ICNIRP een basisrestrictie van 2 mA/m^2 (hoofd en romp) voor de bevolking. Deze waarde is gebaseerd op het effect met de laagste drempelwaarde bij 50 Hz, prikkeling van het netvlies, maar beschermt dus ook tegen gezondheidseffecten met een hogere drempelwaarde (zenuwstimulatie, spiercontracties). Hieruit leidt ICNIRP een (extern) referentieniveau voor blootstelling van de bevolking aan 50 Hz magneetvelden van $100 \text{ } \mu\text{T}$ (microtesla) af. De redenering daarbij is dat als het referentieniveau niet wordt overschreden, dat er dan van uit kan worden gegaan dat de basisrestrictie niet wordt overschreden. Wanneer het referentieniveau wel wordt overschreden, dan hoeft het niet altijd zo te zijn dat de basisrestrictie ook wordt overschreden. Het is dan wel nodig om dat laatste met behulp van een berekening aan te tonen.

ICNIRP-2010

In 2010 heeft ICNIRP nieuwe richtlijnen voor blootstelling aan elektrische velden en magneetvelden met een frequentie tussen 1 Hz en 100 kHz gepubliceerd [3]. De methode is in deze publicatie gewijzigd. De basisrestrictie voor laagfrequente

¹ ICNIRP en IEEE gebruiken de term 'referentieniveau' voor de (indicatieve) limiet buiten het lichaam en 'basisrestrictie' voor de limiet in het lichaam

magneetvelden wordt vastgelegd voor de sterkte van het (in het lichaam) geïnduceerde elektrische veld en is niet meer afgeleid uit een limiet voor de stroomdichtheid. Ook wordt onderscheid gemaakt tussen gevoeligheid van perifere zenuwcellen en cellen van het centrale zenuwstelsel en het hoofd (hersenen en netvlies). Bij magneetvelden van 50 Hz is de blootstelling van de cellen van het centrale zenuwstelsel in het hoofd bepalend, omdat die het gevoeligst zijn. Het effect met de laagste drempelwaarde is nog steeds prikkeling van het netvlies, maar de drempelwaarde is ten opzichte van ICNIRP 1998 aangepast op basis van recenter wetenschappelijk onderzoek. Voor de bevolking volgt hieruit een basisrestrictie van 20 mV/m bij 50 Hz. Hieruit leidt ICNIRP een referentieniveau voor blootstelling van de bevolking aan 50 Hz magneetvelden van 200 μT af. Een waarde die twee keer zo groot is als het referentieniveau uit 1998.

IEEE-2019

De IEEE heeft als doelstelling het bevorderen van technologische ontwikkeling tot profijt van de mensheid. Als een van de ondersteunende activiteiten ontwikkelt IEEE de zogenoemde '*standards*'. De eerste IEEE-standaard met blootstellingslimieten voor laagfrequente magneetvelden dateert uit 2002 [4]. Deze standaard is in 2019 geactualiseerd [5], waarna de oude is ingetrokken. Omdat de methode die in beide publicaties wordt gebruikt en de blootstellingslimieten voor 50 Hz magneetvelden hetzelfde zijn, wordt hier alleen de geactualiseerde standaard uit 2019 besproken. Ook IEEE hanteert twee typen limieten. De eerste is de zogenaamde *dosimetric reference limit* (DRL) die voor laagfrequente magneetvelden de sterkte van het geïnduceerde elektrische veld in het lichaam beperkt, het equivalent van de basisrestrictie van ICNIRP in 2010. Daarnaast hanteert IEEE de *exposure reference level* (ERL), een limiet aan de sterkte van het magneetveld buiten het lichaam, vergelijkbaar met het referentieniveau van ICNIRP. Bij IEEE vormen, in tegenstelling tot ICNIRP, voor blootstelling aan laagfrequente magneetvelden de zenuwcellen in de hersenen het bepalende effect (met de laagste drempelwaarde) de 'modulatie van synapsen' in het centraal zenuwstelsel, dat wil zeggen verandering in de elektrische activiteit van zenuwcellen door beïnvloeding van de afgifte van neurotransmitters. Voor de blootstelling van de bevolking wordt een DRL van 14,7 mV/m bij 50 Hz afgeleid. Hieruit leidt IEEE een ERL voor 50 Hz magneetvelden van 904 μT af² (bevolking, hoofd en romp).

Verschillen ICNIRP / IEEE

ICNIRP en IEEE komen tot andere getalswaarden van de blootstellingslimieten voor de bevolking aan laagfrequente magneetvelden. Die verschillen ontstaan doordat de analyse van de wetenschappelijke literatuur, die beiden hebben uitgevoerd, tot een keuze voor andere drempels voor nadelige effecten op de cellen van het centrale zenuwstelsel in het hoofd heeft geleid, door het gebruik van andere veiligheidsfactoren bij het vertalen van deze drempels naar basisrestricties (ICNIRP) en DRL's (IEEE), door andere aannames in de modellen die de basisrestricties en DRL's in het lichaam naar referentieniveaus (ICNIRP)

² IEEE geeft een ERL die over het hele frequentiegebied tussen 20 en 750 Hz constant is.

en ERL's (IEEE) voor het magneetveld buiten het lichaam omrekenen. Ook zijn de frequentieafhankelijkheid van de referentieniveaus en ERL's verschillend. Een gedetailleerde analyse van deze mogelijke verschillen en hun achtergronden kan van belang zijn voor het afleiden van een gezondheidkundige advieswaarde, maar valt door de daarvoor benodigde tijd buiten het kader van deze inventarisatie.

Welke organisaties zijn nog meer betrokken bij risicobeoordeling?

Naast organisaties als ICNIRP en IEEE die blootstellingslimieten afleiden, zijn er andere organisaties betrokken bij het beoordelen en beheersen van de risico's van blootstelling aan elektromagnetische velden. Voor Europa is de Europese Unie van belang, mondiaal de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO).

EU

De Raad van de Europese Unie heeft in 1999 een aanbeveling uitgebracht voor de beperking van blootstelling van de bevolking aan elektromagnetische velden van 0 Hz — 300 GHz [6]. De Raad beveelt aan ter bescherming van de bevolking de blootstellingslimieten te hanteren die ICNIRP in 1998 heeft gepubliceerd. Dat betekent dat voor blootstelling van de bevolking aan 50 Hz magneetvelden een blootstellingslimiet van 100 μ T wordt aanbevolen. In tegenstelling tot EU-richtlijnen heeft de aanbeveling geen verplichtend karakter en hoeft niet door de lidstaten in nationale wetgeving te worden opgenomen.

De landen in de Europese unie gaan verschillend met deze aanbeveling om. Sommige landen hebben de aanbeveling in nationale wetgeving opgenomen. Andere landen zien de blootstellingslimiet als een serieuze advieswaarde die op voor de bevolking toegankelijke plaatsen niet overschreden mag worden. Er zijn ook landen die strengere limieten hanteren en, tot slot, zijn er landen die niets met de Europese aanbeveling hebben gedaan. Voor een overzicht uit 2018 van het beleid binnen de Europese landen en daarbuiten zie [7].

De publicatie van de nieuwe ICNIRP-guidelines in 2010 voor het frequentiegebied tussen 1 Hz en 100 kHz heeft de afgelopen 10 jaar binnen de EU niet tot een (partiële) herziening van of aanvulling op de aanbeveling uit 1999 geleid. De EU overweegt de aanbeveling te actualiseren nu er ook nieuwe ICNIRP-guidelines zijn voor het frequentiegebied tussen 100 kHz en 300 GHz.

WHO

De Wereldgezondheidsorganisatie geeft publicaties uit die bedoeld zijn om (inter)nationale organisaties te ondersteunen bij beoordeling en beheersing van risico's. Voor laagfrequentie magneetvelden is dat de Environmental Health Criteria (EHC) [8] uit 2007. De WHO geeft daarbij aan dat deze EHC niet zijn bedoeld als aanbevelingen voor regelgeving of het vaststellen van blootstellingslimieten. De EHC kunnen wel dienen als wetenschappelijke basis voor het afleiden van blootstellingslimieten door organisaties zoals ICNIRP en IEEE.

4. Welke afwegingen bepalen een GAW?

De keuzes die internationale organisaties zoals ICNIRP en IEEE bij het afleiden van blootstellingslimieten maken, leiden tot verschillen in blootstellingslimieten. Voor magneetvelden van 50 Hz gaat het om referentieniveau/ERL van 100, 200 of 904 μT of een basisrestrictie/DRL van 20 of 14,7 mV/m en een. Een overheid die een keuze voor een blootstellingslimiet (gezondheidskundige advieswaarde) wil maken, zal op basis van aanvullende argumenten een beleidsmatige afweging willen maken. De volgende punten kunnen daarbij een rol spelen.

- *Beleidsmatige inbedding*
Bij het formuleren van (nationaal of gewestelijk) beleid kan het van belang zijn om aan te sluiten bij omringende landen of gewesten. Met deze randvoorwaarde ligt, voor een Europees land, een keuze voor de Europese aanbeveling uit 1999 voor de hand. De blootstellingslimieten van IEEE spelen in Europa geen rol.
De Europese aanbeveling leidt tot een GAW van 100 μT , een waarde die in de meeste Europese landen wordt gehanteerd. In dat kader is van belang of er op korte termijn vanuit de EU een actualisatie van deze aanbeveling te verwachten is.
- *Actualiteit*
Uitgaande van voortschrijdend wetenschappelijk inzicht zou de keuze gemaakt kunnen worden voor de meest recent gepubliceerde publicatie. Met die randvoorwaarde zou de voorkeur uitgaan naar de ICNIRP richtlijn uit 2010 (GAW van 200 μT) of de IEEE standaard uit 2019 (GAW van 904 μT), afhankelijk van welk van de achterliggende wetenschappelijke modellen de voorkeur heeft.
- *Maximale bescherming*
De overheid kan, op basis van algemene afwegingen of uit voorzorg, er voor kiezen de bevolking maximaal te beschermen. Onder die voorwaarde zou een keuze voor de 100 μT uit de ICNIRP-guidelines van 1998 voor de hand liggen.
- *Institutionele aspecten*
De doelstelling van de organisatie die de blootstellingslimieten opstelt, kan medebepalend zijn. ICNIRP heeft expliciet als doel de bescherming van de bevolking te waarborgen. Het primaire doel van IEEE is het bevorderen van technologische ontwikkeling, waarbij de standaarden dienen om deze ontwikkeling in goede banen te leiden.
- *Gebruik referentieniveaus*
Het ligt op praktische gronden voor de hand om een GAW vast te leggen op basis van de eenvoudig meetbare referentieniveaus/ERL's en niet op basis van de basisrestricties/DRL's in het lichaam. Deze keuze omvat een conservatief element. Er zijn namelijk situaties waarin blootstelling boven het referentieniveau plaatsvindt, maar de velden in het lichaam onder de basisrestrictie blijven.
- *Regelgeving*
Als de keuze voor een GAW is gemaakt, is het vervolgens van belang hoe die keuze in regelgeving wordt vastgelegd. Er kan voor worden gekozen de advieswaarde als een harde limiet in wetgeving vast te leggen. Een

andere mogelijkheid is te adviseren blootstelling boven de advieswaarde op voor de bevolking toegankelijke plaatsen zoveel mogelijk te voorkomen.

- *Verschillen-analyse*

De verschillen in aannames, afwegingen en keuzes tussen ICNIRP en IEEE kunnen van belang zijn bij het vastleggen van een gezondheidskundige advieswaarde. Een nauwkeurige analyse van die verschillen valt buiten het kader van deze inventarisatie, maar zou aanvullend hieraan uitgevoerd kunnen worden.

Deze aspecten kunnen bijdragen om een gestructureerde afweging voor een gezondheidskundige advieswaarde te maken. Uiteindelijk gaat het niet om een afweging op basis van alleen wetenschappelijke argumenten, maar om een politiek/beleidsmatige keuze waarin ook maatschappelijke argumenten een rol kunnen spelen.

Referenties

- 1 RICHTLIJN 2013/35/EU VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD van 26 juni 2013 betreffende de minimumvoorschriften inzake gezondheid en veiligheid met betrekking tot de blootstelling van werknemers aan de risico's van fysieke agentia (elektromagnetische velden) (twintigste bijzondere richtlijn in de zin van artikel 16, lid 1, van Richtlijn 89/391/EEG) en tot intrekking van Richtlijn 2004/40/EG. Publicatieblad van de Europese Unie, L 179/1-21, 29 juni 2013:
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:179:0001:0021:NL:PDF>
- 2 ICNIRP International Commission on Non-ionizing Radiation Protection (1998). Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Phys, 74(4):494-522.
- 3 ICNIRP International Commission on non-ionizing radiation protection (2010). Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz). Health Phys 99: 818-836.
- 4 IEEE Std C95.6-2002 IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to electromagnetic fields, 0-3 kHz. IEEE - The Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, NY, 2002.
- 5 IEEE Std C95.1TM-2019 IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields, 0 Hz to 300 GHz. IEEE - The Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, NY, October 4, 2019.
- 6 AANBEVELING VAN DE RAAD VAN DE EUROPESE UNIE, van 12 juli 1999, betreffende de beperking van blootstelling van de bevolking aan elektromagnetische velden van 0 Hz — 300 GHz, (1999/519/EG)
<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/9509b04f-1df0-4221-bfa2-c7af77975556/language-nl>
- 7 Comparison of international policies on electromagnetic fields (power frequency and radiofrequency fields), Rianne Stam, National Institute for Public Health and the Environment, RIVM, Bilthoven, The Netherlands, January 2018
<https://rivm.openrepository.com/bitstream/handle/10029/623629/2018998.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- 8 World Health Organization (2007). Extremely low frequency fields. Environmental health criteria 238. World Health Organization, Geneva, Switzerland.

Bepalen van een gezondheidkundige advieswaarde voor de preventie van acute gezondheidseffecten ten gevolge van blootstelling aan 50 Hz magnetische velden zowel binnen als buiten.

Dr. Maurits De Ridder

Vakgroep volksgezondheid en eerstelijnszorg

Universiteit Gent

12/01/2021

Inleiding

Gezondheidseffecten ten gevolge van blootstelling aan een omgevingsfactor kunnen optreden op korte termijn (acute effecten, binnen de 24 uur) en lange termijn (chronische effecten, na weken, maanden, jaren).

Effecten kunnen deterministisch zijn (bij een bepaalde blootstelling treedt steeds een gelijkaardig effect op) of stochastisch zijn (de blootstelling verhoogd enkel de kans op het optreden van een effect, bijvoorbeeld bij blootstelling aan kankerverwekkende agentia).

Gezondheidseffecten kunnen een veilige drempel hebben (de effecten treden pas op vanaf een bepaald blootstellingsintensiteit, onder de drempel is er geen schade) of drempelloos zijn (elke verhoging van blootstelling betekent een verhoging van het risico). Drempelloos is typisch voor de meeste kankerverwekkers.

Voor het bepalen van blootstellingsnormen kan men uitgaan van twee principes: risk assessment en precaution. Risk assessment geldt enkel voor wetenschappelijk bewezen gezondheidseffecten waar men een veilige drempel (op basis van nulrisico NOAEL of aanvaard risico) kan bepalen, en eventueel over een dosis-effect relatie beschikt. Precaution geldt voor niet-bewezen gezondheidseffecten waar een aangetoonde kans bestaat dat er toch effecten zijn die van groot maatschappelijk belang zijn. Hier kunnen diverse maatregelen genomen worden, en een tijdelijke blootstellingsnorm kan (maar moet niet) hier deel van uitmaken. Deze blootstellingsnorm is van een andere orde als die op basis van risk assessment.

Bepalen van blootstellingslimieten voor deterministische effecten gebeurt in stappen. Eerst gaat men op zoek naar een NOAEL (no observed adverse effect level) die eventueel wordt afgeleid van een LOAEL (lowest observed adverse effect level). Op de NOAEL worden vervolgens veiligheidsfactoren of reductiefactoren toegepast die onzekerheden veroorzaakt door interindividuele verschillen, verschillen tussen labo en realiteit, aanwezigheid van andere omgevingsfactoren, dosimetrische onzekerheid, meetonzekerheid e.a. moeten opvangen. De veiligheidsfactoren zorgen er voor dat ook kinderen

ouderen, zieken en zwangeren beschermd zijn. Hoe groter de wetenschappelijke zekerheid, hoe kleiner de veiligheidsfactoren. Het bepalen van de grootte van de veiligheidsfactoren is vooral gebaseerd op expert judgement. Het is de belangrijkste oorzaak van de verschillen in limietwaarden tussen de verschillende instituten die limietwaarden opmaken.

Blootstelling aan 50 Hz magnetisch velden.

Elektriciteitstransport van wisselstroom benut de lage frequentie van 50 Hz (60 Hz in de Verenigde Staten). 50 Hz maakt deel uit van het ELF gebied (extreem lage frequenties). De spanningen op de lijnen veroorzaken elektrische velden en de stromen magnetische velden. De sterkte van het magnetisch veld hangt samen met het wisselende elektriciteitsgebruik. De veldsterkte op een bepaalde plaats in de omgeving van een hoogspanningslijn is afhankelijk van de stroomsterkte enerzijds, en de afstand tot de bron (omgekeerde kwadraatregel) anderzijds. Tegen en dicht bij de kabel, zal men gemakkelijk hoge veldsterkten kunnen meten. Op afstand wordt dat al veel minder. In het algemeen produceren hoogspanningslijnen relatief sterke elektrische en magnetische velden terwijl de normale elektriciteitsbedrading in een gebouw en de meeste elektrische apparaten en toestellen of machines voor huishoudelijk gebruik, zwakke elektrische magnetische velden genereren. Bij sommige industriële toepassingen zoals smelten van metalen en elektrisch lassen kunnen ook hoge veldsterkten aanwezig zijn. Voor deze beroepsmatige blootstelling is er een aparte wetgeving.

Gezondheidseffecten van 50 Hz elektrische velden.

Laagfrequente elektrische velden buiten het lichaam kunnen elektrische velden in de weefsels van het lichaam induceren. Het lichaamsoppervlak biedt evenwel een hoge mate van afscherming zodat het in het lichaam geïnduceerde veld veel zwakker is dan het externe veld. Het gevolg van het afschermende effect is dat het geïnduceerde elektrische veld meestal te zwak is om schadelijke gezondheidseffecten effecten in het lichaam op te wekken.

Er kan wel een prikkelende of tintelende gewaarwording op de huid gevoeld worden wanneer men in een elektrisch veld met voldoende intensiteit staat. Dit komt doordat het laagfrequente elektrische veld ervoor zorgt dat het oppervlak van het lichaam wordt opgeladen, en deze elektrische lading zorgt ervoor dat de haartjes in de huid bewegen en trillen (tegen twee keer de frequentie van het laagfrequente veld). Metalen of geleidende voorwerpen, zoals voertuigen of omheiningen die niet elektrisch geaard zijn, kunnen worden geladen door het elektrisch veld. Iemand die deze voorwerpen aanraakt, krijgt een kleine elektrische schok. Iemand die niet zelf geaard is en een geaard voorwerp aanraakt, kan ook een schok krijgen. Om deze fenomenen te voorkomen geeft ICNIRP voor het 50 Hz elektrisch veld een blootstellingslimiet van 5 kV/m voor de algemene bevolking en 10 kV/m voor werknemers. De Belgische reglementering voor het elektrische stroomnet (Algemeen Reglement op de Elektrische Installaties, of AREI) beperkt de sterkte van het elektrisch veld dat wordt opgewekt door het elektrische stroomnet (Ministerieel Besluit van 20 april 1988) tot 5 kV/m in woon- of woonuitbreidingsgebieden, 7 kV/m bij wegen en 10 kV/m op andere plaatsen.

Gezondheidseffecten van 50 Hz magnetische velden.

Laagfrequente magnetische velden induceren elektrische velden (wervelstromen) in het menselijk lichaam. Op de meeste weefsel in het lichaam heeft dit geen effect, maar zintuigen en zenuwweefsel, die werken op basis van elektrische stromen, zijn hier wel gevoelig voor. Indien de veroorzaakte stroom in het lichaam voldoende groot is (m.a.w. als een bepaalde drempel overschreden is) kan er een stimulatie optreden.

Het netvlies van de ogen is voor de geïnduceerde elektrische velden met frequenties rond de 20 Hz (1 – 400 Hz) het meest gevoelige orgaan in het lichaam. Bij stimulatie ontstaan er magnetofosfenen: witte, flikkerende visuele gewaarwordingen in het perifere zicht. Deze effecten op de ogen zijn niet schadelijk maar kunnen eventueel hinderlijk zijn.

Alexandre Legros voerde in Canada experimenteel provocatieonderzoek uit met vrijwilligers. Hieruit blijkt dat de NOAEL voor 50 Hz magnetische velden rond de 5 mT ligt. Het vermijden van retinale magnetofosfenen beschermt tegen elk ander mogelijke effect op de hersenfunctie.

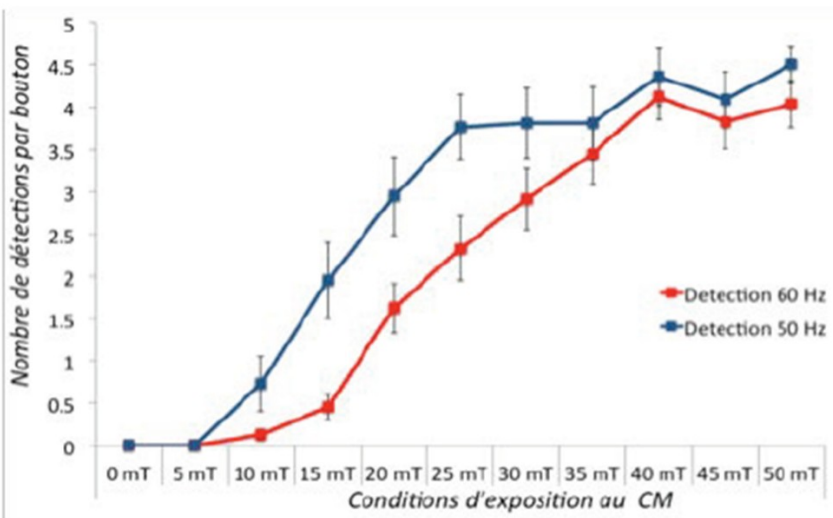


Figure 5: Averaged perception of magnetophosphenes as a function of MF exposure levels for groups of volunteers tested at 50 Hz (blue) and 60 Hz (red)

Magnetophosphenes perception threshold and EEG response in humans exposed to 20, 50, 60 and 100 Hz MF up to 50,000 μ T. Conference: Annual Joint Meeting of the Bioelectromagnetics Society and the European Bioelectromagnetics Association - BioEM2015 June 2015.

De wervelstromen die door het laagfrequente magnetische veld in het lichaam opgewekt worden kunnen, indien de veldsterkte voldoende hoog is, zenuwweefsel stimuleren. Dikke perifere sensorische

zenuwen zijn hiervoor het gevoeligst. Stimulatie van de sensorische zenuwen kan tot prikkeling en pijn leiden. Stimulatie van de motorische zenuwen (waarvoor hogere veldsterkten nodig zijn) kan onwillekeurige spiersamentrekkingen veroorzaken. Bij nog hogere veldsterkten kan ook de hartspier verstoord worden waardoor ritmestoornissen optreden. Voor al deze effecten zijn hogere veldsterkten nodig dan voor het opwekken van magnetofosfenen.

Blootstellingslimieten op basis van Risk assessment.

Voor 50 Hz magnetische velden is er wetenschappelijk bewijs enkel voor de acute effecten, zijnde stimulatie van zenuwweefsel en zintuigen. Voor deze effecten zijn, vertrekkende van NOAEL waarden, blootstellingsnormen opgemaakt door twee wetenschappelijke instanties: IEEE en ICNIRP.

IEEE Standard C95.1-2019 for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields, 0 Hz to 300 GHz.

Deze norm van de Institute of Electrical and Electronics Engineers Standard Association is enkel van toepassing in de USA.

https://standards.ieee.org/standard/C95_1-2019.html

De exposure reference level voor het algemeen publiek is 904 μT . Het is een rms-waarde en de middelingstijd voor de meting is 0,2 seconde.

Deze waarde is afgeleid van een dosimetric reference level, een maximaal toegelaten elektrisch veld in het lichaam die er voor zorgt dat bij blootstelling van het ganse lichaam, ook in de meest gevoelige organen geen elektrostimulatie optreedt.

ICNIRP 2010 guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1Hz – 100 kHz)

De richtlijnen van de International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection zijn wereldwijd en vooral in Europa van toepassing.

<https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPLFgdl.pdf>

De reference level voor het algemeen publiek is 200 μT . Het is een rms-waarde en momentane waarde die niet over de tijd moeten worden gemiddeld (een plafondwaarde die op geen enkel moment mag overschreden worden).

Deze waarde is afgeleid van de basisrestrictie die een limiet geeft voor het toegelaten elektrisch veld in het lichaam. De basisrestrictie is 0,01 V/m voor het zenuwweefsel in het hoofd (ter preventie van retinale fosfenen en dus ook van andere fenomenen in het hoofd), en 0,4 V/m voor de rest van het lichaam. Deze basisrestrictie is afgeleid van een stimulatierempel waarop een reductiefactor is toegepast voor interindividuele verschillen en onzekerheden.

Blootstellingslimieten op basis van Precaution

Voor niet bewezen effecten zijn volgende rapporten cruciaal.

IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Non-ionizing radiation, Part 1: Static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields. Lyon, IARC, 2002 (Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, 80).

Environmental Health Criteria 238 ELF fields 2007 van de WHO.

<https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/EHC238ELF.pdf>

European Commission Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR). Opinion on potential health effects of exposure to electromagnetic fields 20-1-2015.

http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_o_041.pdf

Alle drie rapporten komen tot het besluit dat er geen wetenschappelijk bewijs is voor lange termijn effecten ten gevolge van blootstelling aan 50 Hz magnetische velden. Het enige mogelijke effect (waarvoor er aanwijzingen zijn, maar geen bewijs) en waarvoor precaution toegepast kan worden is leukemie bij kinderen tot 14 jaar met een langdurige blootstelling aan 50 Hz magnetische velden (langer dan 1 jaar wonen en verblijven in een magnetische veldsterkte boven de 0,4 μ T). Omwille van deze correlatie is 50 Hz magnetisch veld door IARC ingedeeld in groep 2B. 2B wil zeggen dat er geen bewijs van is van carcinogeniciteit (in dat geval zou het groep 1 of 2A zijn), maar dat er wel enkele studies zijn die in die richting wijzen.

De kinderleukemie is gerelateerd aan een chronische langdurige blootstelling binnenshuis, en dus in deze niet relevant. Er mag dus geen limietwaarde op basis van precaution voor acute blootstelling aan 50 Hz magnetische velden opgemaakt worden. De richtwaarde en interventiewaarde van het Vlaamse binnenmilieudecreet zijn hier wel op gebaseerd omdat het in dit decreet effectief over langdurig verblijf in een woning gaat.

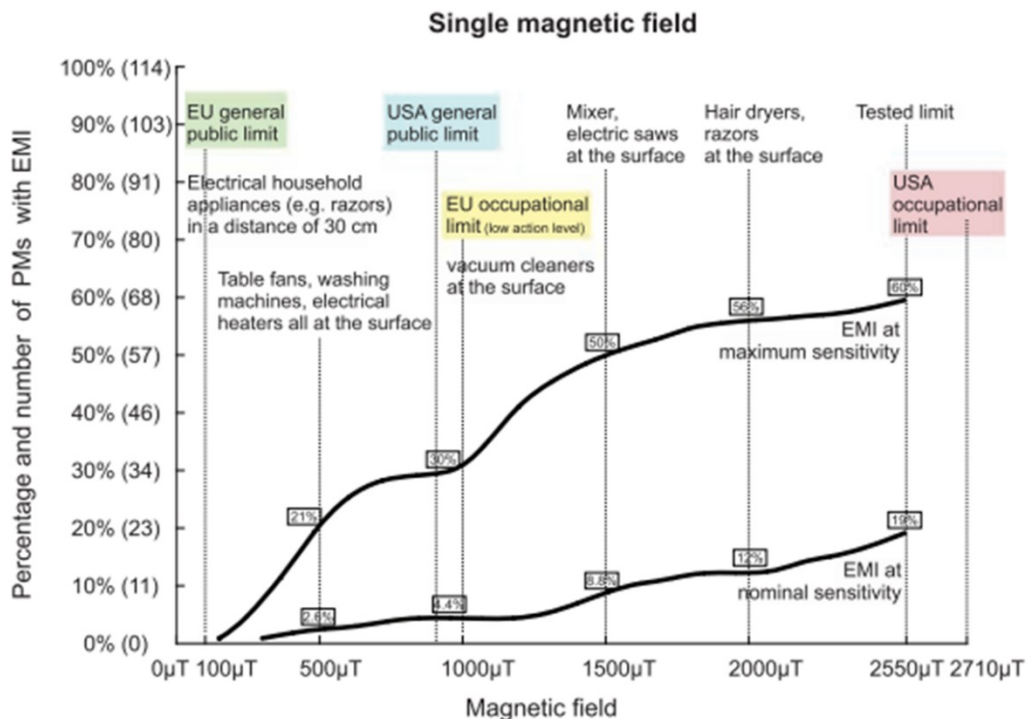
Verstoring van actieve geïmplanteerde medische toestellen zoals pacemakers.

De referentiewaarden hebben de bedoeling te beschermen tegen gezondheidseffecten in het menselijk lichaam. Bij de bepaling hiervan is er geen rekening gehouden met pacemakers en andere elektronische medische toestellen in of op het lichaam die in hun normale werking zouden kunnen verstoord worden door elektromagnetische interferentie. Wanneer men de volledige bevolking wil beschermen moet er ook aandacht zijn aan dit probleem. Er moet dus nagegaan worden of er bovenop de blootstellingslimiet (referentieniveau) nog extra maatregelen nodig zijn voor deze groep.

Voor alle medische hulpmiddelen gelden vanaf 26 mei 2020 de eisen die opgenomen zijn in de Verordening 2017/745 betreffende medische hulpmiddelen van de Europese Unie. De regelgeving vereist onder andere dat de risico's van redelijkerwijs te voorzien omgevingsomstandigheden zoals EMV zo veel mogelijk worden weggenomen of beperkt. Producenten van medische hulpmiddelen kunnen overeenstemming met de essentiële wettelijke eisen aantonen door het toepassen van relevante geharmoniseerde Europese productnormen. Deze productnormen beschrijven testprocedures die kunnen aantonen dat het 'onwaarschijnlijk is' dat door gangbare EMV in het dagelijks leven risico's optreden. De Europese productnormen definiëren gangbare EMV als EMV met een sterkte die lager is dan de limieten voor blootstelling van de algemene bevolking die worden geadviseerd in Aanbeveling 1999/519/EG van de Europese Unie. De productnormen dekken echter niet alle mogelijke situaties af.

Soms worden niet-standaardinstellingen toegepast waardoor er een hogere gevoeligheid voor EMV ontstaat.

Stunder heeft in Aken het risico op interferentie onderzocht door bepaling van de laagste interferentiedrempel via provocatietesten met 119 pacemakerpatiënten in het labo.



In Vivo Study of Electromagnetic Interference With Pacemakers Caused by Everyday Electric and Magnetic Fields.

Stunder et al. Circulation 2017;135:907-909

Zelfs bij hoge blootstellingen, boven de normen voor volksgezondheid treedt er meestal geen interferentie op. Bij nominale sensitiviteit van de pacemaker is er geen enkele pacemaker die verstoord wordt bij een blootstelling gelijk of lager dan 100 μT , zijnde de limiet van de Europese aanbeveling. Bij maximale sensitiviteit treden er bij 8 % van de pacemakers tekenen op van verstoring bij deze blootstelling. De laagst vastgestelde laagste interferentiedrempel ligt bij 40 μT voor de weinig gebruikte unipolaire pacemakers, en bij 60 μT voor de frequent gebruikte bipolaire. Men gaat er van uit dat personen met een meer gevoelige instelling hiervan ingelicht zijn door hun cardioloog, en de nodige richtlijnen gekregen hebben om interferentie te voorkomen. Nieuwe pacemakers hebben een grotere immuniteit tegen elektromagnetische interferentie dan oudere types; het globale risico vermindert dus met de jaren.

Wettelijke bepalingen

Europese Unie

EU recommendation 1999/519/EC on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz).

<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/9509b04f-1df0-4221-bfa2-c7af77975556/language-en>

Deze Aanbeveling is gebaseerd op de oude ICNIRP guidelines van 1998. Het referentieniveau voor het algemeen publiek is 100 μ T. Het is een rms-waarde zonder middelingstijd.

Dit is een aanbeveling, geen directieve. Het gevolg is dat sommige Europese landen deze aanbeveling hebben overgenomen, andere landen zoals België niet. Het belang van deze aanbeveling is dat ze gekoppeld is aan productnormen. Producten die op de markt gebracht worden moeten van die aard zijn dat ze geen verstoring ondergaan bij waarden lager dan de blootstellingslimiet.

Andere landen.

Comparison of international policies on electromagnetic fields van RIVM, Nederland van 2018.

<https://www.rivm.nl/documenten/comparison-of-international-policies-on-electromagnetic-fields-2018>

De meeste landen (o.a. Frankrijk, Duitsland, Nederland, Zweden) hebben 100 μ T als blootstellingslimiet voor de algemene bevolking. Tsjechië en Japan hebben 200 μ T. Het Verenigd Koninkrijk heeft 360 μ T.

Basisrestricties en referentiewaarden of enkel referentiewaarden?

ICNIRP, IEEE en de Europese aanbeveling werken met basisrestricties en referentieniveaus. De blootstellingslimiet is in feite de basisrestrictie. De basisrestricties zijn blootstellingswaarden (het interne elektrisch veld) in het menselijk lichaam en kunnen daardoor niet direct gemeten worden. Ze kunnen enkel door ingewikkelde dosimetrische berekeningen geëvalueerd worden. Referentieniveaus zijn er om in de praktijk vast te stellen of de basisrestricties niet zijn overschreden. Het zijn waarden buiten het lichaam die gemakkelijker meetbaar zijn en die afgeleid zijn van de basisrestricties in een worst case situatie. Als de gemeten waarden lager zijn de referentiewaarden is men zeker dat de basisrestricties niet overschreden worden. Als de gemeten waarden hoger zijn de referentiewaarden, hoeft dat nog niet te betekenen dat ook de basisrestricties zijn overschreden. In dat geval dient een dosimetrische evaluatie plaats te vinden om uit te maken of de blootstellingsniveau's boven of beneden de basisrestricties liggen. Vooral bij blootstellingen in het zeer nabije veld van de bron zijn basisrestricties nuttig omdat de metingen van de veldsterkten daar moeilijk zijn. In werkmilieu is dit vaak het geval als de werknemer de bron tegen het lichaam heeft (minder dan 1 meter afstand, bijvoorbeeld bij elektrisch lassen). Voor het algemene publiek is dit minder waarschijnlijk omdat hier steeds een grotere afstand tot de bron behouden blijft.

Basisrestricties zijn wetenschappelijk correcter dan referentieniveaus, maar enorm gecompliceerd en in de praktijk eigenlijk niet controleerbaar. Enkel gebruik maken van referentieniveaus is strenger dan gebruik maken van basisrestricties. Sommige landen zoals Frankrijk hebben de volledige Europese aanbeveling overgenomen en hebben dus basisrestricties en referentieniveaus. Andere landen zoals Duitsland hebben enkel de referentieniveaus in hun wetgeving opgenomen.

Een gezondheidskundige advieswaarde voor hoogspanningslijnen, of voor alle bronnen van 50 Hz magnetische velden?

Naast hoogspanningslijnen produceren ook transformatorcabines, middenspanning- en laagspanningslijnen en elektrische apparaten 50 Hz magnetische velden. Doordat de stroomsterkte in deze uitrustingen lager is, is de magnetische veldsterkte errond lager. Maar omdat men deze installaties dichter kan benaderen kunnen er ook relatief hoge blootstellingen optreden. Qua impact op het menselijk lichaam maakt het niet uit wat de bron van het magnetisch veld is. De bevolking moet eerder tegen een gevaar beschermd worden, dan tegen een specifieke bron van gevaar. Een gezondheidskundige advieswaarde moet dus voor alle mogelijke bronnen gelden en een immisiewaarde zijn.

Een gezondheidskundige advieswaarde voor enkel 50 Hz of voor het ganse spectrum van laagfrequente velden inclusief statische magnetische velden?

Gelijkstroominstallaties (0 Hz), treinen (16,6 Hz, 50Hz, 100 Hz), beveiligingsapparatuur, identificatiecontrole en nieuwe technologieën kunnen andere frequentie dan 50 Hz gebruiken en een blootstelling van omstaanders veroorzaken. Zowel ICNIRP, IEEE als de Europese aanbeveling geven referentiewaarden voor het ganse elektromagnetische spectrum. Het is beter direct gezondheidskundige advieswaarden voor het brede spectrum van de lage frequenties te bepalen in plaats van enkel voor de 50 Hz. Best voor het gebied 0 tot 10 MHz. De Vlaamse Regering heeft op 19 november 2010 een besluit goedgekeurd dat normen vastlegt voor elektromagnetische straling van vast opgestelde zendantennes die uitzenden met een frequentie tussen 10 MHz en 10 GHz. De normen werden opgenomen als milieuvorwaarden en milieukwaliteitsnormen in VLAREM II. Door ook normen voor 0 tot 10 MHz te maken is het gebied van elektromagnetische velden bijna volledig wettelijk afgedekt (met uitzondering van 10 GHz tot 300 GHz, waarin de toekomstige 5G frequenties liggen).

De Europese aanbeveling geeft volgende waarden (f zoals aangegeven in de kolom van het frequentiegebied).

Frequentiegebied	referentieniveau in μT
0-1 Hz	4×10^4
1-8 Hz	$4 \times 10^4/f^2$
8-25 Hz	$5\ 000/f$
0,025-0,8 kHz	$5/f$
0,8-150 kHz	6,25
0,15-10 MHz	$0,92/f$

ICNIRP 2010 geeft volgende waarden (f in Hz).

Frequentiegebied	referentieniveau in μT
1 Hz-8 Hz	$4 \times 10^4/f^2$

8 Hz–25 Hz	$5 \times 10^3/f$
25 Hz–400 Hz	200
400 Hz–3 kHz	$8 \times 10^4/f$
3 kHz–10 MHz	27

ICNIRP geeft in een aparte guideline van 2009 de blootstellingslimiet van 400 mT voor blootstelling van de algemene bevolking aan statische magnetische velden 0 Hz.

<https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPstatgdl.pdf>

Meetprocedure

Bij elke limietaarde hoort een meetprocedure om zeker te zijn dat de metingen correct worden uitgevoerd en het meetresultaat zeker kan vergeleken worden met de limietwaarde. In Vlaanderen heeft het Departement Omgeving op 08/03/2017 een meetprocedure gepubliceerd in het kader van de toepassing van het Binnenmilieudecreet (Meetprocedure voor 50 Hz velden en harmonischen afkomstig van het elektriciteitsnetwerk en -installaties).

<https://www.zorg-en-gezondheid.be/sites/default/files/atoms/files/Aanbevolen%20meetmethode%20ELF.pdf>

De bepalingen voor “Onmiddellijke blootstelling (acuut)” van deze procedure zijn ook bruikbaar voor metingen van 50 Hz magnetische veldsterkten buiten gebouwen met als doel te vergelijken met een limietwaarde (gezondheidskundige advieswaarde) voor acute blootstelling. Een vormelijke aanpassing van de procedure lijkt wel nodig.

Verschil tussen een richtwaarde en interventiewaarde van het binnenmilieudecreet en een gezondheidskundige advieswaarde voor acute blootstelling.

Het verschil tussen deze drie blootstellingslimieten zit hem in de middelingstijd.

- Voor de richtwaarde gaat het om een gemiddelde over > 365 dagen, geldig als levenslange blootstelling.
- Voor de interventiewaarde is het een gemiddelde over een kortere periode nl. 1 – 14 dagen.
- Voor de gezondheidskundige advieswaarde voor acute blootstelling gaat het om een momentane waarde, een plafondwaarde die op geen enkel moment mag overschreden worden.

De middelingstijd van 1 tot 14 dagen voor de interventiewaarde heeft geen enkele wetenschappelijke basis. De twee ander middelingstijden sluiten wel aan bij wat in de wetenschappelijke richtlijnen staat. Als er een gezondheidskundige advieswaarde voor acute blootstelling is zou die de interventiewaarde kunnen vervangen.

De richtwaarde en interventiewaarde zijn enkel van toepassing in een omgeving in woningen en publiek toegankelijke gebouwen. Een gezondheidskundige advieswaarde voor acute blootstelling is overal van toepassing, binnen en buiten, met uitzondering van de bedrijven waar de wetgeving voor de

bescherming van werknemers van toepassing is (Codex over het welzijn op het werk, Boek V, Titel 7 Elektromagnetische velden). Op de arbeidsplaatsen geldt voor 50 Hz een laag actieniveau (effecten op de zintuigen) van 1000 μT en een hoog actieniveau (elektrische stimulering van de perifere en autonome zenuwweefsels in hoofd en romp) van 3000 μT .

<https://werk.belgie.be/sites/default/files/content/documents/Welzijn%20op%20het%20werk/Regelgeving/Codex%20boek%20V%20titel%207%20Elektromagnetische%20velden.pdf>

Besluit.

Bij het bepalen van een gezondheidskundige advieswaarde voor de blootstelling aan magnetische velden zijn er meerdere opties.

Het is beter om zoals Europa direct waarden voor het ganse lage frequentiegebied op te maken. Aldus zijn bronnen met andere frequenties zoals gelijkstroom ook afgedekt.

Het volstaat om enkel de referentieniveaus over te nemen. Het systeem met de basisrestricties is te complex, maakt het oncontroleerbaar en is geen meerwaarde qua bescherming van de bevolking.

De beste keuze zijn de waarden van de EU aanbeveling van 1999. Aldus sluit Vlaanderen zich aan bij de meest Europese landen (gelijke limieten in de ons omringende landen). Als men de Europese aanbeveling aanpast aan ICNIRP 2010 kan nadien ook de Vlaamse gezondheidskundige advieswaarde aangepast worden.

Men kan ook de waarden van INIRP 2010 over nemen. Deze zijn recenter en wetenschappelijk meer correct. Ze zijn minder streng dan de Europese aanbeveling. Ze geven echter minder bescherming tegen elektromagnetische interferentie van pacemakers en andere medische actieve implantaten. Dit kan opgelost worden door alle zones met een blootstelling tussen de 100 en 200 μT aan te duiden met het verbodspictogram P007 (geen toegang voor personen met pacemaker). Of dit realistisch is, is een andere vraag



Het is mogelijk dat de ICNIRP 2010 waarden ooit in de Europese aanbeveling opgenomen zullen worden, maar niemand weet wanneer. Aangezien er niet direct situaties bekend zijn waar de 100 μT grens van de Europese aanbeveling overschreden wordt, is er ook geen maatschappelijke vraag voor een versoepeling. Een versoepeling zal trouwens als een rode lap op een stier werken voor de actiegroepen die tegen elke vorm van straling zijn en ijveren voor strengere normen. Politiek gesproken is het sop de kolen niet waard.

Voorstel

Gezondheidskundige advieswaarde voor laagfrequente magnetische velden (f zoals aangegeven in de kolom van het frequentiegebied.).

frequentiegebied	advieswaarde in μT
0-1 Hz	4×10^4
1-8 Hz	$4 \times 10^4/f^2$
8-25 Hz	$5\,000/f$
0,025-0,8 kHz	$5/f$
0,8-150 kHz	6,25
0,15-10 MHz	$0,92/f$

Bepalen van een gezondheidskundige advieswaarde voor de acute blootstelling aan magnetische velden van de hoogspanningslijnen in het kader van het Ventilusproject

Dr. Dirk Adang

Situering

Het project Ventilus realiseert een vermazing van het hoogspanningsnetwerk in West-Vlaanderen. Hiervoor is een nieuwe verbinding (50Hz, wisselstroom/AC) nodig van 6 GW tussen de Stevin-as en Avelgem. Het federaal ontwikkelingsplan 2020-2030 voor het transmissienet, dat is goedgekeurd door de federale Minister van Energie, stelt uitdrukkelijk de realisatie van het project Ventilus in het vooruitzicht.

Onderscheid tussen elektrische en magnetische velden van de hoogspanning

Directe effecten van elektromagnetische velden komen voort uit de interactie tussen velden en het lichaam en kunnen zowel thermisch zijn als laag-thermisch (*low-thermal*) – ook wel aangeduid als niet-thermisch en hier verder ook zo genoemd. In het geval van een blootstellingsscenario aan de elektrische en magnetische velden van de hoogspanning zoals bedoeld in het Ventilusproject van de Vlaamse overheid betreft het enkel niet-thermische effecten. Hoewel de sterkte van de elektrische velden in de omgeving van de hoogspanningslijnen hoge waarden bereikt, wordt die sterkte daarentegen merkkelijk verminderd door de minste ertussen geplaatste hindernis (gebouwen, vegetatie, ...). Laagfrequente elektrische velden buiten het lichaam kunnen elektrische velden in de lichaamsweefsels induceren. Het lichaamsoppervlak biedt evenwel een hoge mate van afscherming zodat het in het lichaam geïnduceerde veld veel zwakker is dan het externe veld. Aangezien de elektrische velden van de hoogspanning omzeggens niet in het menselijk lichaam penetreren beperken we ons tot de biologische effecten van de magnetische component ervan. Terwijl de sterkte van elektrische velden afhangt van de spanning is het magnetisch veld rechtevenreding met de belasting van de hoogspanningslijn en dus met de stroomsterkte. Wisselende magnetische velden worden door elke wisselstroombron opgewekt en de frequentie van het elektrische stroomnet in België en Europa bedraagt 50 Hz. Hoogspanningslijnen en -kabels vormen de meest typische bronnen van 50 Hz magnetische velden.

Mogelijke effecten na langdurige blootstelling aan magnetische velden versus acute effecten

Aangezien men in het wetenschappelijk onderzoek naar de samenhang tussen langdurige blootstelling (> 1 jaar) aan magnetische velden en het vóórkomen van kinderleukemie bij waarden hoger dan 0,3 à 0,4 microtesla (μT) een statistisch significante verhoging vindt, luidt de belangrijkste aanbeveling uit het advies van de Hoge Gezondheidsraad (Advies nr. 9431 van mei 2020 – Invloed op de gezondheid van de bevolking van magnetische velden van de elektriciteitsvoorziening) om in de woonomgeving de blootstelling aan magnetische velden van de elektriciteitsvoorziening te beperken tot 0,4 μT . De genoemde waarde van het magnetisch veld mag niet als grenswaarde worden beschouwd waarboven zeker wel en waaronder zeker niet sprake is van een mogelijke invloed op het vóórkomen van leukemie bij kinderen. Vermits het gaat om langdurige blootstelling (jaren) dient uitgegaan te worden van de over een jaar gemiddelde waarden van het magnetisch veld. Daarom kan deze richtwaarde niet gebruikt worden in het kader van een advieswaarde met betrekking tot de acute blootstelling aan de magnetische velden van de hoogspanning.

Bewezen oorzakelijk verband of niet

Door het Departement Omgeving – Vlaams Planbureau voor Omgeving – werd gevraagd om een gezondheidkundige advieswaarde voor acute blootstelling aan de magnetische velden van de hoogspanningslijnen af te leiden. Hiertoe werd gekeken naar richtlijnen, aanbevelingen en normen uitgevaardigd door internationale wetenschappelijke organisaties die gebaseerd zijn op een grondige studie en evaluatie van de bestaande literatuur.

Voor het bepalen van blootstellingsnormen kan met uitgaan van twee principes: *risk assessment* (risicobeoordeling) en voorzorg. *Risk assessment* geldt voor wetenschappelijk bewezen gezondheidseffecten waar men een veilige drempel kan bepalen (*No observed adverse effect level* - NOAEL enerzijds, dit is het hoogste niveau van blootstelling waarbij geen schadelijke effecten waargenomen worden, of aanvaard risico anderzijds) en eventueel over een dosis-effectrelatie beschikt.

Voorzorg geldt voor niet bewezen gezondheidseffecten waar een kans bestaat dat er toch effectief effecten zijn die een grote maatschappelijke impact hebben.

Omwille van het onvermogen tot op heden om een causaal bewezen effect aan te tonen - er bestaat enkel een statistisch significante relatie - tussen verblijven in een omgeving gekenmerkt door een magnetische veldsterkte boven om en bij de 0,3 – 0,4 μT en het optreden van kinderleukemie werd door de Hoge Gezondheidsraad de toepassing van het voorzorgsprincipe aanbevolen in zijn advies nr. 9431 over de gezondheidseffecten van magnetische velden van de elektriciteitsvoorziening. Voor 50 Hz magnetische velden is er enkel oorzakelijk wetenschappelijk bewijs voor de acute effecten van blootstelling aan deze velden. Voor deze causaal bewezen effecten werden blootstellingsnormen opgemaakt door onder meer de Europese Unie (EU), de *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP) en het *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE).

Gezondheidskundige advieswaarde

Bij het bepalen van grenswaarden voor blootstelling aan agentia in het algemeen spelen naast wetenschappelijke kennis over de gezondheidseffecten ook technische haalbaarheid en bedrijfseconomische factoren een rol. De wetenschappelijke component krijgt vorm in de zogeheten gezondheidskundige advieswaarde. Hiervoor zal men verder proberen te bepalen wanneer het schadelijke effect voor het eerst optreedt en wat vanuit gezondheidskundig perspectief de maximaal toelaatbare blootstelling zou mogen zijn na toepassing van een veiligheidsmarge.

Effecten van blootstelling

De aard van een reactie op blootstelling aan een elektromagnetisch veld hangt hoofdzakelijk af van de frequentie van het toegepaste veld. Dit komt omdat verschillende frequenties op een verschillende manier interageren met het lichaam. Laagfrequente velden (maximaal 100 kHz) veroorzaken stimulatie van zenuwen en spieren. Effecten die optreden als gevolg van inwerking op het centraal zenuwstelsel zijn niet-thermische effecten terwijl de opwarmingseffecten die optreden als gevolg van blootstelling aan velden boven 100 kHz thermische effecten zijn. De omvang van de reactie op een bepaalde frequentie is afhankelijk van de intensiteit van het veld: zwakkere velden veroorzaken hoofdzakelijk waarnemings- of zintuiglijke effecten terwijl sterkere velden meer ernstige reacties induceren. Opdat er reacties optreden moet een grenswaarde van blootstelling worden overschreden.

Laagfrequente magnetische velden induceren elektrische velden in het menselijk lichaam wat een stimulatie kan veroorzaken ter hoogte van de zintuigen of wat aanleiding kan geven tot een kleine wijziging in de hersenwerking zoals verandering in de visuele *processing* en de motorische coördinatie bij lagere veldwaarden of wat aanleiding kan geven tot een stimulatie van zenuwen en spieren (vooral in de armen en de benen) bij sterkere velden. Tintelende gewaarwording of pijn (zenuwstimulatie), spiercontracties en een verstoord hartritme zijn bewezen gezondheidseffecten bij laagfrequente velden (WHO, 2007). Het bepalen van een gezondheidskundige advieswaarde met betrekking tot de blootstelling aan de magnetische velden van de hoogspanningslijnen heeft als doel beschermend te zijn tegen de acute gezondheidseffecten van pijnlijke elektrostimulatie. Deze effecten zijn mechanistisch terug te voeren tot celplasmamembraandepolarisatie, dit wil zeggen de verandering van de natuurlijke rustpotentiaal over de celmembranen door het *in situ* elektrische veld. Alle levende cellen zijn gekenmerkt door gepolariseerde celplasmamembranen. In neuronen kan een verandering van de elektrische potentiaal van de celplasmamembraan tot een actiepotentiaal (zenuwimpuls) leiden. Alleen skeletspiervezels en de axonen van neuronen hebben exciteerbare membranen die actiepotentialen geleiden. Depolarisatie van de membranen van zenuw- en spierweefsel kan aanleiding geven tot hun excitatie (= elektrostimulatie).

Deze uitingen van bioelektrostimulatie manifesteren zich door excitatie van zenuw- en spierweefsel evenals door verandering van de neuronale synapsactiviteit.

Blootstellingsnormen

De EU, ICNIRP en IEEE stelden elk hun blootstellingsnormen op.

De Raad van de Europese Unie vaardigde de aanbeveling 1999/519/EG van 12 juli 1999 uit betreffende de beperking van de blootstelling van de bevolking aan elektromagnetische velden van 0 Hz tot 300 GHz (Council of the European Union, 1999). Aangezien dit geen verordening of richtlijn is en dus berust op vrijblijvendheid, hebben sommige EU-landen de inhoud ervan overgenomen in hun nationale wetgeving en andere niet; België behoort tot deze laatste groep. Deze blootstellingsnormen zijn gebaseerd op de ICNIRP-richtlijnen nog daterend van 1998 (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, 1998). Ondertussen werden deze laatste geactualiseerd in 2010 (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, 2010); tot op heden paste de Raad zijn aanbeveling hieromtrent niet aan.

Tabel 1 geeft een overzicht van referentieniveaus voor elektrische, magnetische en elektromagnetische velden (0 Hz-300 GHz). In het frequentiegebied 0,025-0,8 kHz kan men afleiden dat het referentieniveau - uitgedrukt in termen van de magnetische inductievector - met betrekking tot blootstelling aan het 50 Hz magnetisch veld '5/frequentie', zijnde 100 μ T bedraagt. Referentieniveaus voor blootstelling worden gegeven om vergelijking met de waarden van gemeten grootheden mogelijk te maken. Deze niveaus dienen bij de blootstellingsevaluaties in de praktijk om vast te stellen of de basisrestricties al dan niet worden overschreden. Worden de aanbevolen referentieniveaus in acht genomen, dan wordt ook aan de basisrestricties voldaan. Als de gemeten waarden hoger zijn, behoeft dat nog niet te impliceren dat ook de basisrestricties overschreden zijn. In dat geval dient een evaluatie plaats te vinden om uit te maken of de blootstellingsniveaus beneden de basisrestricties liggen. Basisrestricties zijn beperkingen op de blootstelling aan tijdsafhankelijke elektrische, magnetische of elektromagnetische velden die direct gebaseerd zijn op bewezen gezondheidseffecten en biologische overwegingen. Tussen de grenswaarden voor acute effecten die als bewezen beschouwd worden op basis van wetenschappelijk onderzoek en de basisrestricties ligt een veiligheidsfactor van 50.

**Reference levels for electric, magnetic and electromagnetic fields
(0 Hz to 300 GHz, unperturbed rms values)**

Frequency range	E-field strength (V/m)	H-field strength (A/m)	B-field (μT)	Equivalent plane wave power density S_{eq} (W/m ²)
0-1 Hz	—	$3,2 \times 10^4$	4×10^4	—
1-8 Hz	10 000	$3,2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$	—
8-25 Hz	10 000	$4\,000/f$	$5\,000/f$	—
0,025-0,8 kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$	—
0,8-3 kHz	$250/f$	5	6,25	—
3-150 kHz	87	5	6,25	—
0,15-1 MHz	87	$0,73/f$	$0,92/f$	—
1-10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0,73/f$	$0,92/f$	—
10-400 MHz	28	0,073	0,092	2
400-2 000 MHz	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	$0,0046 f^{1/2}$	$f/200$
2-300 GHz	61	0,16	0,20	10

Notes:

1. f as indicated in the frequency range column.
2. For frequencies between 100 kHz and 10 GHz, S_{eq} , E^2 , H^2 , and B^2 are to be averaged over any six-minute period.
3. For frequencies exceeding 10 GHz, S_{eq} , E^2 , H^2 , and B^2 are to be averaged over any $68/f^{1.05}$ -minute period (f in GHz).
4. No E-field value is provided for frequencies < 1 Hz, which are effectively static electric fields. For most people the annoying perception of surface electric charges will not occur at field strengths less than 25 kV/m. Spark discharges causing stress or annoyance should be avoided.

Tabel 1: Referentieniveaus voor elektrische, magnetische en elektromagnetische velden (0 Hz – 300 GHz)

ICNIRP publiceerde in Health Physics (ICNIRP, 2010) de geactualiseerde versie van de richtlijnen uit 1998. Tabel 2 geeft de referentieniveaus weer voor blootstelling van de algemene bevolking aan tijdsafhankelijke elektrische en magnetische velden. De blootstellingslimiet voor het 25 Hz – 50 Hz gebied bedraagt 200 μ T.

Frequency range	E-field strength E (kV m^{-1})	Magnetic field strength H (A m^{-1})	Magnetic flux density B (T)
1 Hz–8 Hz	5	$3.2 \times 10^3/f^2$	$4 \times 10^{-2}/f^2$
8 Hz–25 Hz	5	$4 \times 10^3/f$	$5 \times 10^{-3}/f$
25 Hz–50 Hz	5	1.6×10^2	2×10^{-4}
50 Hz–400 Hz	$2.5 \times 10^2/f$	1.6×10^2	2×10^{-4}
400 Hz–3 kHz	$2.5 \times 10^2/f$	$6.4 \times 10^4/f$	$8 \times 10^{-3}/f$
3 kHz–10 MHz	8.3×10^{-2}	21	2.7×10^{-5}

Notes:

- f in Hz.
- See separate sections below for advice on non sinusoidal and multiple frequency exposure.
- In the frequency range above 100 kHz, RF specific reference levels need to be considered additionally.

Tabel 2: Referentieniveaus voor blootstelling van de algemene bevolking aan tijdsafhankelijke elektrische en magnetische velden (ongestoorde rms-waarden)

In tegenstelling tot het Europees en internationaal kader van de eerder geciteerde Europese aanbeveling en de ICNIRP-richtlijn is de IEEE-standaard enkel lokaal, in de Verenigde Staten, van toepassing. De onlangs gepubliceerde IEEE Standaard C95.1-2019 definieert blootstellingscriteria en bijbehorende limieten voor de bescherming van personen tegen vastgestelde nadelige gezondheidseffecten van blootstelling aan elektrische, magnetische en elektromagnetische velden, in het frequentiegebied van 0 Hz tot 300 GHz. De blootstellingslimieten zijn onder meer van toepassing op het algemene publiek in niet-beperkte omgevingen.

De grenswaarden, waarin veiligheidsmarges zijn verwerkt, worden gedefinieerd in termen van dosimetrische referentielimieten (*dosimetric reference limits* of DRL) en blootstellingsreferentieniveaus (*exposure reference levels* of ERL). DRL's worden uitgedrukt in termen van *in situ* grootheden. ERL's, die gemakkelijker door metingen of rekenkundige analyse kunnen worden bepaald, zijn grenswaarden voor onder meer uitwendige elektrische en magnetische velden, die ervoor moeten zorgen dat de DRL's niet worden overschreden. DRL's en ERL's beschermen tegen schadelijke gezondheidseffecten die verband houden met elektrostimulatie van weefsel en plaatselijke en gehele lichaamsopwarming, en zijn bedoeld voor veel voorkomende situaties waarin personen worden blootgesteld aan elektrische, magnetische en elektromagnetische velden in het genoemde frequentiebereik.

In het frequentiegebied van 20 Hz tot 751 Hz bedraagt het blootstellingsreferentieniveau of ERL met betrekking tot blootstelling van hoofd en thorax 904 μ T (IEEE, 2019).

Conclusie

Grote inter- en supranationale organisaties stelden op basis van een grondige evaluatie van de beschikbare wetenschappelijke literatuur met betrekking tot gezondheidseffecten van blootstelling aan laagfrequente magnetische velden blootstellingslimieten op.

De EU, ICNIRP en IEEE stelden elk hun grenzen voor blootstelling van de algemene populatie op. Voor het bepalen van een gezondheidkundige advieswaarde in het kader van de blootstelling aan de magnetische velden van de hoogspanningslijnen zoals beschouwd in het Ventilusproject gaat de voorkeur uit naar de overeenkomstige waarden van de referentieniveaus die geciteerd worden in de aanbevelingen van de Raad van de Europese Unie. Van de voorgestelde waarden door de drie eerder genoemde organisaties is dat de meest conservatieve. Bovendien is deze waarde gekoppeld aan de Europese productnormen waardoor producten die op de Europese markt gebracht worden dienen bestand te zijn tegen blootstelling aan velden beneden de respectievelijke blootstellingslimieten. Voor een 50 Hz magnetisch veld bedraagt het referentieniveau 100 μ T. De waarde van 100 μ T lijkt daarom een plausibele invulling voor een gezondheidkundige advieswaarde met betrekking tot de acute blootstelling aan magnetische velden van hoogspanningslijnen.

Referenties

Council of the European Union, 1999/519/EC: Council Recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz), Official Journal of the European Communities L 199 Vol 42: 59-70; 1999.

Hoge Gezondheidsraad. Invloed op de gezondheid van de bevolking van magnetische velden van de elektriciteitsvoorziening, Advies nr. 9431; 2020.

IEEE Standard for Safety Levels With Respect to Human Exposure to Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields, 0 Hz to 300 GHz, Standard IEEE C95.1-2019; Oct. 2019.

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz), Health Phys 74(4):494-522; 1998.

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1Hz-100 kHz), Health Phys 99(6): 818-836; 2010.

World Health Organization. Environmental Health Criteria 238 Extreme Low Frequency Fields; 1-519; 2007.