Basisdocument ELF-project Hoge gezondheidsraad:

Blootstelling van het publiek aan 50 Hz elektromagnetische velden van Belgische hoogspanningslijnen: een overzicht en aanbevelingen

Gilbert Decat
VITO

04 januari 2007

INHOUDSTABEL

1 Doel 3
2 Inleiding 3
3 Blootstellingsnormen en richtlijnen 4
3.1 Belgische regelgeving 4
3.2 Internationale aanbevelingen en richtlijnen 5
3.2.1 Aanbeveling van de Europese raad 1999 5
3.2.2 Richtlijn van ICNIRP (1998) 5
4 Problematiek van de 0,4 µT blootstelling 6
5 Problematiek rond Interferentie met pacemakers 7
6 Residentiële blootstelling in het buiten- en binnenmilieu 9
6.1 Belgisch net 10
6.2 Elektrisch en magnetisch veld in de buitenomgeving 11
6.2.1 Elektrisch veld (E-veld) 11
6.2.2 Magnetisch inductieveld (B-veld) 12
6.3 Blootstelling aan het magnetisch veld in het binnenmilieu 13
6.4 Grens van de 0,4 µT blootstelling 14
7 Besluit 15
8 Aanbevelingen 16
9 Referenties 18

1 DOEL

Dit document geeft een overzicht van de residentiële blootstellingen aan het 50 Hz elektrisch en magnetisch velden die in België zowel binnen- als buitenshuis gemeten en geregistreerd werden. Het doel ervan is te komen tot het formuleren van aanbevelingen voor de bescherming van het algemene publiek tegen eventueel te hoge blootstellingen aan het 50 Hz elektromagnetisch veld dat geproduceerd wordt door Belgische hoogspanningslijnen met nominale spanning van: 70, 150, 220 en 380 kV. Noteer dat 220 kV hoogspanningslijnen alleen in Wallonië voorkomen. De aanbevelingen gebeuren op basis van de vergelijking van het elektrisch en magnetisch veld van Belgische hoogspanningslijnen met adequate blootstellingsnormen en –richtlijnen. Ofschoon de epidemiologische 0,4 µT grenswaarde geen norm noch richtlijn is wordt bij de aanbevelingen i.v.m. het magnetisch veld ook rekening gehouden met deze waarde. Aangezien voor het elektrisch veld geen epidemiologische grensmaat bestaat worden de aanbevelingen ervan uitsluitend afgestemd op de interpretatie van de Belgische norm.

2 INLEIDING

Elke elektromagnetische golf, dus ook die door hoogspanningslijnen geproduceerd wordt, bestaat uit een elektrische (E-) en magnetische (H-) veldcomponent [1] waarvan de blootstelling en het risico al dan niet afzonderlijk moeten gemeten en geëvalueerd worden. Daar de blootstelling van de mens aan het 50 Hz elektromagnetisch veld dat door hoogspanningslijnen geproduceerd wordt steeds in het nabije-veld[1] gebeurt zijn de E- en H-componenten niet gekoppeld volgens een constante wetmatigheid en worden blootstelling en risico van beide velden apart gemeten en geëvalueerd.
Terwijl men zich geen zorgen maakt over het risico van het E-veld stellen overheid, wetenschappers en het algemene publiek vragen over de eventuele gezondheidsrisico's van personen die overmatig blootgesteld worden aan de magnetische fluxdichtheid[2] van hoogspanningslijnen.

---

[1] Bij een frequentie van 50 Hz bedraagt de golflengte (λ) 50 Hz 6000 km (λ=c/f) en ligt de scheidingsgrens tussen het nabije- ($r < 3\lambda$) en verre ($r > 3\lambda$) veld op een radiale afstand (r) van de bron die gelijk is aan driemaal de golflengte. Bij een EM-golf van een hoogspanningslijn ligt deze scheiding pas op 18 000 km; dit betekent dat de mens zich t.o.v. hoogspanningslijnen steeds in het nabije veld bevindt en de vlakke golfrelatie $E^2/H^2 = 377\ \Omega$ (377 of Z_0 = weerstand in de vrije ruimte) niet opgaat en **E** en **H** niet van elkaar kunnen afgeleid worden. Dit houdt ook in dat het **E**- en **H**-veld van hoogspanningslijnen apart moeten gemeten, gemodelleerd en geëvalueerd worden.

[2] Het 'International System of Units (SI), beveelt de volgende meeteenheden aan:
- De sterkte van het magnetisch veld (H) wordt uitgedrukt in A/m
- Weber (Wb, 1 Wb = 1V.s) voor de magnetische flux,
- Tesla (T; 1 T = 1000 mT = 10^6 µT = 1Wb/m² = 10^4 Gauss) voor het B-veld (B= H.µ) of de magnetische flux per eenheid van oppervlak (magnetische fluxdichtheid),
- Ampère per meter (A/m, 1 µT = 0,80 A/m) voor magnetische veldsterke en (4) de henry (H, 1 H = 1Wb/A) voor de inductantie.

Het antwoord hierop ligt in het vergelijken van de 'beste schatter[3]' (rekenkundig gemiddelde, geometrisch gemiddelde of mediaan) van de werkelijke blootstelling in een bepaald gebied met blootstellingsnormen of –richtlijnen waarvan basisrestrictie- en referentiewaarden voortvloeien uit bewezen biologische en/of gezondheidseffecten.

3 BLOOTSTELLINGSNORMEN EN RICHTLIJNEN

3.1 Belgische regelgeving

Voor wat de Belgische regelgeving i.v.m. ELF elektromagnetische velden betreft is het belangrijk te vermelden dat:

- er geen blootstellingsnorm of –richtlijn bestaat voor het ELF (extreme low frequency) magnetisch veld
- er wel een norm bestaat voor het ELF elektrisch veld (zie tabel 1) [2]
- sinds kort een kwaliteitsnorm van 0,2 µT (actiewaarde 10 µT) bestaat voor het ELF magnetisch veld in het binnenmilieu [3]

Tabel 1: Belgische norm voor het 50 Hz elektrisch veld (E-veld)

Gebied	E-veld (kV/m)
Bewoonde gebieden	5
Kruising van wegen	7
Andere plaatsen	10

[3] Het bepalen van de beste schatter (best estimator) van de residentiële B-veldblootstelling is afhankelijk van de verdeling van de gegevens in tijd en/of in ruimte. Is de sterkte van het B-veld over een bepaalde tijd in een punt in de ruimte normaal verdeeld, dan zal het rekenkundig gemiddelde de beste schatter van de werkelijke blootstelling zijn. Indien dit niet het geval is worden de meetgegevens volgens de regels van de statistiek getransformeerd in bijvoorbeeld een logaritmische schaal zoals dit o.a. het geval is bij toepassing van het geometrisch gemiddelde.
Indien we het gemiddelde berekenen van de log-getransformeerde variabele en hem nadien terug veranderen in zijn oorspronkelijke schaal (antilogaritme) zal het gemiddelde niet hetzelfde zijn als het gemiddelde dat rechtstreeks van de oorspronkelijke variabele berekend werd. Het geometrisch gemiddelde is het antilogaritme van het gemiddelde van de log-getransformeerde veranderlijke en wordt gegeven door:

$$G.M._Y = anti\log\frac{1}{n}\sum\log Y$$

Deze formule kan ook compacter geschreven worden:

$$G.M._Y = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^{n} Y_i}$$

$\prod$ = zoals $\sum$ het operator symbool is voor de sommatie van wat volgt is de hoofdletter pi het symbool van het product van wat volgt: of het product van waarneming i=1 tot i = n. Bij een steekproef van n > 10 is veel rekencapaciteit nodig en bovendien is transformatie veel eenvoudiger.
Indien blijkt dat de variabele nog niet log-normaal verdeeld is wordt best gebruik gemaakt van een niet-parametrische schatter zoals de mediaan.

Voor het toetsen van de grootte van meetgegevens van het magnetisch veld t.o.v. een norm of een richtlijn is men aangewezen op de Europese of internationale ICNIRP (1998) richtlijnen.

3.2 Internationale aanbevelingen en richtlijnen

3.2.1 Aanbeveling van de Europese raad 1999

De "EC Council Recommendation (1999)" omvat alleen de aanbevelingen die van kracht zijn voor de algemene bevolking [4]. De blootstellingslimieten zijn dezelfden als die van van de ICNIRP-richtlijn (1998) [5].

3.2.2 Richtlijn van ICNIRP (1998)

In tabel 1 worden de referentieniveaus samengevat die in de ICNIRP-richtlijnen van 1998 aanbevolen worden ter bescherming van het algemene publiek en de beroepsbevolking tegen tijdsvariërende (AC) elektrische en magnetische velden in het frequentiegebied van 0 Hz tot 300 GHz (Health Physics, 1998). Het E-veld is het elektrisch veld en het B-veld[4] is eigenlijk de magnetische fluxdichtheid, ook magnetische fluxintensiteit of gewoonweg inductieveld genoemd.

Tabel 2: Referentieniveaus voor blootstelling van het algemene publiek aan het elektrisch en magnetisch veld (ICNIRP, 1998)

Frequentie	E-veld (kV/m)	B-veld (µT)
Tot 1 Hz	-	4.10^4
1 – 8 Hz	10	$4.10^4/f^2$
8 - 25	10	5000/f
0,025 – 0,80 kHz 50 Hz	0,25/f 5 kV/m	5/f 100 µT
0,025 – 0,82 kHz	-	-
0,80 – 3 kHz	0,25/f	6,25
0,82 kHz – 65 kHz	-	-
3 kHz – 150 kHz	0,087	6,25
150 kHz – 1 MHz	0,087	0,92/f
65 kHz – 1 MHz	-	-
1 – 10 MHz	$0,087/f^{1/2}$	0,092/f
10 – 400 MHz	0,028	0,092
400 – 2000 MHz	$1,375f^{1/2}$	$0,0046f^{1/2}$
2 – 300 GHz	0,061	0,20

f = in overeenkomend veelvoud van de frequentie

[4] Het 'International System of Units (SI) beveelt de volgende eenheden aan: (1) Weber (Wb, 1 Wb = 1V.s) voor magnetische flux, (2) de tesla (T; 1 T = 1000 mT = 10^6 µT = 1Wb/m² = 10^4 Gauss) voor magnetische flux per eenheid van oppervlak, (3) de ampère per meter (A/m, 1 µT = 0,80 A/m) voor magnetische veldsterke en (4) de henry (H, 1 H = 1Wb/A) voor inductantie

De Belgische norm van het 50 Hz elektrisch veld is voor bewoonde gebieden (5 kV/m) dezelfde als die van ICNIRP (1998) en de Europese raad.

4 PROBLEMATIEK VAN DE 0,4 µT BLOOTSTELLING

Tegenwoordig maakt men zich zorgen over een mogelijk verband tussen een langdurige blootstelling aan een 50 Hz magnetisch veld van 0,4 µT[5] en kinderleukemie.

De oorsprong van deze bezorgdheid ligt bij Wertheimer and Leeper [6] die in 1979 tot het besluit kwamen dat kinderen die in de nabijheid van hoogspanningslijnen wonen, en aldus langdurig blootgesteld worden aan het 50 Hz ELF magnetische veld, een verhoogde kans op leukemie hebben. Hierop volgde een groot aantal laboratoriumstudies en epidemiologische onderzoeken naar het mogelijke verband tussen de blootstelling aan het 50 Hz magnetisch veld en kinderleukemie enerzijds en kanker en andere gezondheids- en bio-effecten in het algemeen anderzijds. Het belangrijkste onderzoeksonderwerp van vandaag is nog steeds de 0,4 µT problematiek die voornamelijk ontstond uit de epidemiologische "pooled analyses" van Ahlbom et al. (2000) [7] and Greenland et al. (2000) [8]. Deze auteurs toonden aan dat het relatief risico op leukemie bij kinderen tussen 0 en 15 jaar die aan een 50 Hz magnetisch veld blootgesteld worden dat gelijk of groter is dan gemiddeld 0,4 µT tweemaal groter is dan bij kinderen die aan minder dan 0,4 µT blootgesteld worden. Concreet betekent het relatief risico van 2 (rr = 2) dat er jaarlijks 1 tot drie gevallen van kinderleukemie per 100 000 kinderen, die gemiddeld aan 0,4 µT blootgesteld worden, bijkomen [9,10]. Ter vergelijking kunnen we aanhalen dat het relatief risico van rokers op longkanker vijftien (rr = 15) bedraagt.
Voor wat het risico in Vlaanderen betreft, werd berekend dat langdurige blootstellingen van kinderen tussen 0 en 15 jaar, die wonen binnen de 0,4 µT contouren van hoogspanningslijnen, om de 2 jaar 1 bijkomend geval van kinderleukemie opleveren [11]. Dit betekent dat indien in Vlaanderen om de twee jaar 80 gevallen van kinderleukemie zouden geregistreerd worden [12], 1 leukemie veroorzaakt zou worden door de blootstelling aan het magnetisch veld van tenminste 0,4 µT van hoogspanningslijnen en er 79 spontaan ontstaan of door andere redenen ontstaan. Deze redenering gaat echter pas op indien er een bewezen verband bestaat tussen oorzaak en gevolg. Tot nu toe is dit echter nog niet gebeurd [13, 14] en moet deze uitspraak nog steeds met de nodige voorzichtigheid geïnterpreteerd worden.

Een RIVM-rapport van 2003 [15] toont aan dat in Nederland overwogen wordt om de 0,4 µT risicocontour toe te passen als blootstellingspreventie bij het plannen van nieuwbouwwoningen in de nabijheid van bovengrondse hoogspanningslijnen. Op basis van het voorzorgsprincipe overweegt de Nederlandse overheid de blootstelling van de bevolking aan het magnetische veld afkomstig van bovengrondse hoogspanningslijnen te reduceren. In België wordt deze politiek nog niet gevoerd.
De resultaten van de epidemiologische studies hebben niet alleen het debat rond deze problematiek versterkt, maar zij vormden tevens de grondslag voor het "International

[5] Het algemene publiek is vaak in de overtuiging dat 0,4 µT een blootstellingsnorm is terwijl het een epidemiologisch 'cut-off point' of een grenswaarde is waarmee in de epidemiologische statistiek een onderscheid gemaakt wordt tussen een controle- (blootstelling < 0,4 µT) en een blootgestelde (blootstelling > 0,4 µT) groep.

Agency for Research on Cancer (IARC)" om in 2002 de 50 Hz elektromagnetische velden als "mogelijk kankerverwekkend" te klasseren [16].
Om alle verwarring en misverstanden te vermijden, wordt er echter op gewezen dat 0,4 µT geen drempelwaarde is van een blootstellingsnorm of –richtlijn. Het is een zogenaamde epidemiologische scheidingswaarde (epidemiological cut-off point) waarmee in de statistiek een onderscheid wordt gemaakt tussen een controlegroep waarvan de individuele blootstelling kleiner is dan 0,4 µT en een blootgestelde groep waarvan de blootstelling groter is dan 0,4 µT.

5 PROBLEMATIEK ROND INTERFERENTIE MET PACEMAKERS

Omdat pacemakers, ferromagnetische of andere elektronische implantaten gevoelig zijn voor elektromagnetische velden (EMV-en) kan hun normale werking erdoor verstoord worden.

De aandacht voor de interferentieproblematiek tussen EMV-en en elektronische implantaten is hoofdzakelijk toegespitst op de storingen die hoofdzakelijk bij oudere types van pacemakers kunnen optreden. Sinds 1992 dragen meer dan 1,5 miljoen mensen een pacemaker en jaarlijks neemt dit aantal met ongeveer 100.000 eenheden toe [17].

Onder normale omstandigheden wordt de hartslag geregeld door de sinoatriale knoop die de natuurlijke pacemaker is en zich bovenin de rechter hartkamer bevindt. Bij disfunctie ervan wordt een kunstmatige pacemaker geïmplanteerd die gelijkaardige pulsen opwekt als de natuurlijke pulsen. Ofschoon er twee soorten pacemakers bestaan – (1) niet-synchrone of autonome pacemakers en (2) well sensing, non-comparative of demand pacemakers – wordt het laatste type het meest gebruikt.

EMV-en kunnen op twee verschillende manieren met een pacemaker interfereren:
1. directe invloed op de circuits in de pacemakers
2. indirecte invloed door inductie van stroompjes in de katheterdraad

Er werd aangetoond dat vooral EMV-en met een frequentie lager dan 200 MHz een indirecte invloed hebben op pacemakers. De katheterdraad werkt als antenne en veroorzaakt stroompjes in de pacemaker die de werking ervan kunnen verstoren. Het aanbrengen van filters kan deze storingen voorkomen.

Volgens de IRPA/INIRC richtlijnen van 1990 [18], die tevens verwijzen naar UNEP/WHO/IRPA van 1987 [19] zou de interferentiedrempel van het 50 Hz ELF magnetische veld met pacemakers tussen 100 µT en 200 µT liggen. IRPA merkt op dat de kans zeer klein is dat een magnetisch veld kleiner dan deze drempel de functie van pacemakers kan storen. Met meer moderne pacemakers wordt de kans op interferentie steeds kleiner.
Voor wat het 50 Hz elektrisch veld betreft, werd beneden de 2,5 kV/m geen interferentie met pacemakers in de literatuur beschreven [20].

In de Duitse prenorm DIN VDE 0848 [21] worden RF-blootstellingsnormen geformuleerd die betrekking hebben op pacemakers die voor 1990 gemaakt werden. Sinds 15 januari 1996

is de Europese norm EN 50061/A1 “Veiligheid van geïmplanteerde pacemakers” [22] van kracht. Alle pacemakers die na deze datum geïmplanteerd zijn, moeten aan deze norm voldoen.
De CENELEC werkgroep TC106X/DE0025/NP [23] ontwikkelde een reeks formules ter bescherming van dragers van medische implantaten in het frequentiegebied van 0 Hz – 300 GHz. In de VITO-studie over het onderzoek naar de blootstelling van de algemene bevolking aan de EMV-en op openbare plaatsen en het openbaar vervoer [24] werd aan de hand van de CENELEC formules berekend in hoeverre onder bepaalde omstandigheden interferentie tussen het magnetisch veld en pacemakers zou kunnen optreden. In het huidig document wordt dit onderwerp niet verder behandeld.

6 RESIDENTIËLE BLOOTSTELLING IN HET BUITEN- EN BINNENMILIEU

Uitgaande van het Belgisch net behandelt dit hoofdstuk de buitenhuis en binnenhuis meetresultaten die relevant zijn voor de Belgische blootstellingssituatie.
Buitenhuismetingen zijn belangrijk omdat:

- zowel voor het meten van het elektrisch als magnetisch veld in de vrije ruimte tot op verre afstand van de hoogspanningslijn kan gebeuren zonder rekening te moeten houden met hindernissen (muren, daken, vensters, bomen, struiken enz). Aldus kan de sterkte van het betrokken elektromagnetisch veld (EMV) bepaald worden in functie van de afstand tot de lijn.
- het meten van het elektrisch veld (E-veld) in de vrije ruimte moet gebeuren om twee redenen [25]:
  (1) indien bepaalde hindernissen (tafels, stoelen, muren, vensters, personen) op minder dan 4 m van de meetsonde staan/liggen treedt het zogenaamde schaduweffect op waardoor de ELF-meter foutieve uitlezingen geeft: door het schaduweffect (antennevorming door hindernissen in de onmiddellijke omgeving van de sonde) wordt het werkelijk E-veld overschat.
  (2) het E-veld volledig afgeschermd wordt door de aangehaalde hindernissen en aldus in woningen onder hoogspanningslijnen niet groter is dan het backgrondniveau (5 à 20 V/m).

  Bijgevolg worden binnenhuismetingen van het E-veld best uitgevoerd in ruimtes waarvan de afmetingen op zijn minst 4x4x4m zijn. De meetwaarden die in kleinere ruimtes bekomen worden kunnen alleen maar als richtwaarde van de werkelijke sterkte van het E-veld beschouwd worden.
- ongehinderd gecontroleerde testmetingen kunnen uitgevoerd worden waarvan de meetresultaten dienen als inputgegevens voor het verifiëren van de betrouwbaarheid van blootstellingsmodellen.

Daar de sterkte van het magnetisch veld daarentegen niet beïnvloed wordt door niet geleidende hindernissen is er geen probleem om het magnetisch veld binnenhuis ongestoord te meten. Metalen geleiders worden best zover mogelijk van de meetsonde geplaatst.

6.1 Belgisch net

Tabel 3 geeft een overzicht van de Belgische boven- en ondergrondse netten. De 30 kV en de 220 kV lijnen komen noch in het Vlaams noch in het Brussels Gewest voor.

Tabel 3: Boven- en ondergrondse netten in België

	Bovengrondse netten (geografische lengte in km)							**Ondergrondse netten (elektrische lengte in km)**				
Gewest	30kV	36kV	70kV	150kV	220kV	380kV	**Totaal**	30kV	36kV	70kV	150kV	**Totaal**
Vl.		8	881	1.248		474	**2.611**		1.411	192	178	**1781**
Bru.				12			**12**		262	0	67	**329**
Wa.	26		1544	752	297	416	**3.035**	146	253	78	99	**576**
Totaal	**26**	**8**	**2.425**	**2.012**	**297**	**890**	**5.658**	**146**	**1926**	**270**	**344**	**2686**

(bron Elia 2005)

De 30 kV en de 36 kV-lijnen zijn middenspanningslijnen. Omdat wij noch over meet- noch over rekengegevens van deze lijnen beschikken worden in het huidig document alleen de resultaten van de bovengrondse hoogspanningslijnen behandeld met een nominale spanning van 70, 150, 220 en 380 kV. Zoals tabel 3 aantoont is dat de overgrote meerderheid van het bovengrondsnet en is de globale blootstellingsbelasting die veroorzaakt wordt door de middenspanningsvelden in dit geval verwaarloosbaar. Bij het ondergronds net spelen ze daarentegen een belangrijke rol.
Momenteel zijn er nog te weinig meetgegevens voorhanden over de blootstelling en eventuele risico's van het magnetisch veld (het elektrisch veld wordt volledig door de bodem geblokkeerd) dat door ondergrondse kabels geproduceerd wordt. Om aan dit euvel te verhelpen is VITO zonet, in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, gestart met het ontwikkelen van een GIS-model om de blootstelling aan het magnetisch veld van ondergrondse lijnen in te schatten. Het concept hiervan zal hetzelfde zijn als dat van de bovengrondse lijnen. Na publicatie van dit rapport door de opdrachtgever worden de resultaten ervan overgemaakt aan de werkgroep "NCT van de HGR om eventueel naar analogie van de bovengrondse lijnen aanbevelingen te formuleren en te publiceren.

6.2 Elektrisch en magnetisch veld in de buitenomgeving

6.2.1 Elektrisch veld (E-veld)

Tabel 4 toont de statistieken van de sterkte van het E-veld dat onder en langs 380 kV, 150 kV en 70 kV-lijnen gemeten werd [26]. We beschikken niet over dergelijke gegevens i.v.m. de 220 kV-lijnen die enkel in Wallonië voorkomen.

Tabel 4: Blootstellingsstatistieken van E-veld van 380, 150 en 70 kV-lijnen

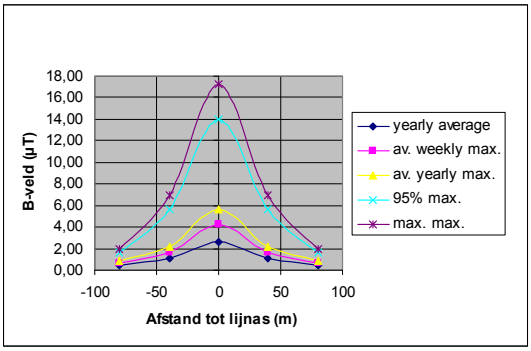
Lijntype	Afstand tot spanmidden (m)	Spanning (kV) ($\bar{X} \pm s$)	E-veld (kV/m) Min	Max	($\bar{X} \pm s$)
380 kV	0	396 ± 2.6	2.5	7.2	4.5 ± 1,8
	40	396 ± 2.6	0.1	0.3	0.2 ± 0,1
	80	396 ± 2.6	0.2	0.2	0.2 ± 0
150 kV	0	158 ± 2,2	1.2	5.2	3.2 ± 1,4
	25	158 ± 2,2	0.0	0.5	0.15 ± 0,1
	50	158 ± 2,2	0.0	0.3	0.1 ± 0,1
70 kV	0	72 ± 0,3	0.2	3.2	1.5 ± 0.9
	15	72 ± 0,3	0.1	1.3	0.5 ± 0.4
	30	72 ± 0,3	0	0.2	0.1 ± 0

$\bar{X} \pm s$: gemiddelde ± standaardafwijking

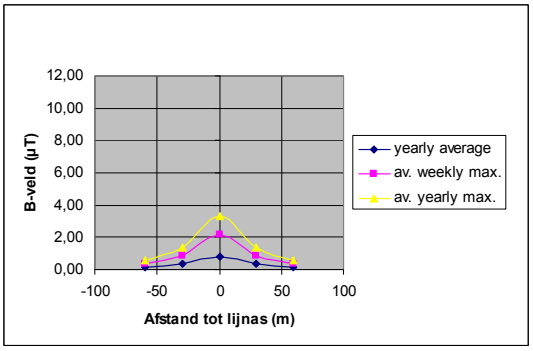
Uit de resultaten blijkt dat de gemiddelde veldsterkte (berekend uit verschillende willekeurig geselecteerde lijnen) recht onder het spanmidden (kleinste afstand tussen onderste kabel en maaiveld) conform is met 5 kV/m waaraan het algemene publiek volgens de Belgische norm (zie tabel 1) doorlopend mag blootgesteld worden. Anderzijds toont de maximale veldsterkte dat deze normwaarde in bepaalde gevallen onder 380 kV- en 150 kV-lijnen kan overschreden worden.
Omdat het E-veld snel afneemt met de afstand en bovendien binnenshuis door allerlei materialen geblokkeerd wordt en daardoor op het backgroundniveau terugvalt zijn deze resultaten alleen belangrijk in de aanbevelingen die kunnen geformuleerd worden i.v.m. blootstellingen aan het E-veld in de tuinen die door 150 kV en 380 kV-lijnen gekruist worden.
Ofschoon het niet bewezen is dat het E-veld een nadelige invloed heeft op de gezondheid van de mens wordt op basis van de normoverschrijding aanbevolen dat geen nieuwe hoogspanningslijnen woonwijken en/of scholen zouden doorkruisen. Voor wat de preventie tegen te hoge blootstellingen aan zowel het E-veld als het magnetisch veld van de bestaande lijnen betreft kan alleen aangeraden worden kinderen die zich in open ruimtes bevinden niet te lang onder hoogspanningslijnen te laten verblijven. De aanbevelingen zijn louter gebaseerd op het voorzorgsprincipe en niet op bewezen effecten.

6.2.2 Magnetisch inductieveld (B-veld)

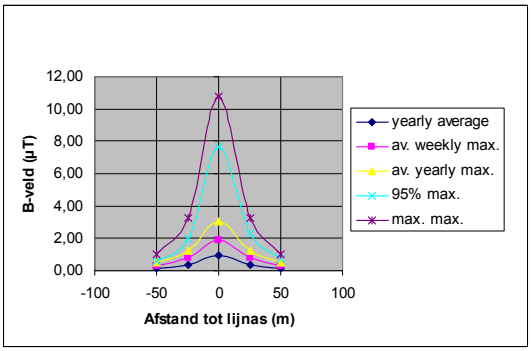
De figuren 1 tot 4 tonen de blootstellingsstatistieken van de 4 Belgische bovengrondse hoogspanningslijnen [27].



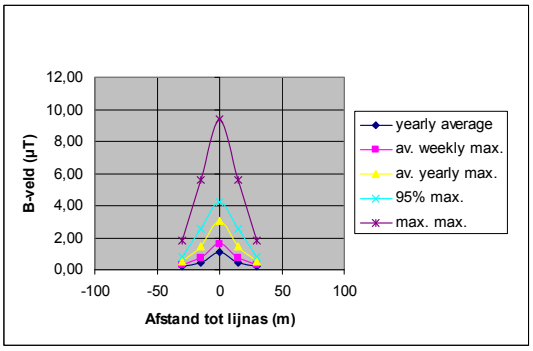
Figuur 1: B-veld van 380 kV net



Figuur 2: B-veld van 220 kV net



Figuur 3: B-veld van 150 kV net



Figuur 4: B-veld van 70 kV net

De waarnemingen die in het kader van de te formuleren aanbevelingen van belang zijn zijn dat:

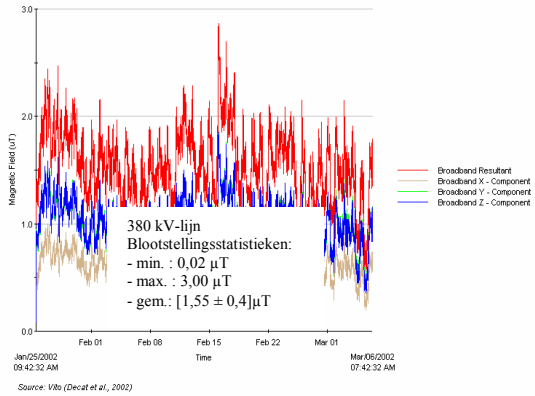
- de maximaal gemeten waarden van het B-veld (max.max.) bij alle lijntypes onder alle omstandigheden beduidend zwakker zijn dan de 100 µT maximale limiet waaraan het algemene publiek volgens de ICNIRP(1998) richtlijn (zie tabel 2) mag blootgesteld worden
- het jaarlijks gemiddelde (yearly average) B-veld onder alle lijntypes groter is dan de epidemiologische drempelwaarde van 0,4 µT.

Hier merken we op dat de 100 µT door ICNIRP (1998) bepaald werd op basis van bewezen korte termijneffecten op het centraal zenuwstelsel en dat de 0,4 µT drempelwaarde een statistische waarneming is die niet gebaseerd is op noch ondersteund wordt door bewezen effecten.

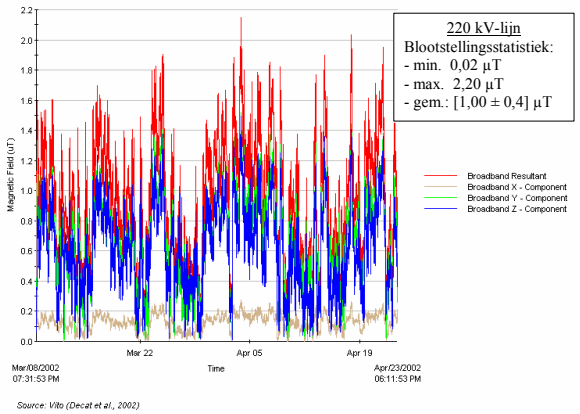
Uit berekeningen blijkt dat het B-veld onder een 380 kV-lijn met een maximale stroombelasting van 2,2 kA kan oplopen tot 40 µT. Dit betekent dat de maximale veldsterkte die door de krachtigste hoogspanningslijnen in België kan geproduceerd worden 2,5 keer zwakker is dan de 100 µT ICNIRP (1998) blootstellingslimiet.

6.3 Blootstelling aan het magnetisch veld in het binnenmilieu

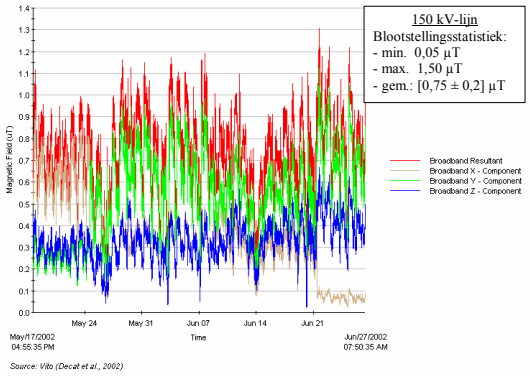
De figuren 5 tot 8 tonen het B-veld dat gedurende meer dan 1 maand geregistreerd werd in woningen onder de Belgische hoogspanningslijnen [28, 29, 30].



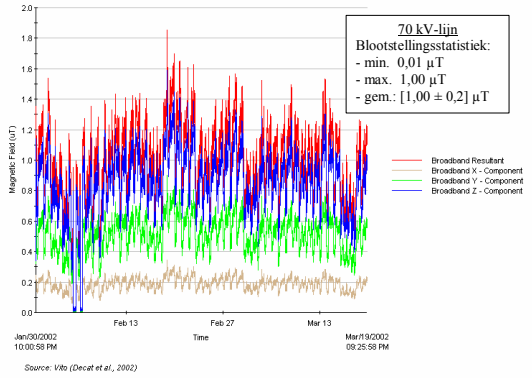
Figuur 5: B-veld in woning onder 380 kV net



Figuur 6: B-veld in woning onder 220 kV net



Figuur 7: B-veld in woning onder 150 kV net



Figuur 8: B-veld in woning onder 70 kV net

Deze resultaten, die door hun lange registratieduur (ten minste 1 maand) een representatief beeld geven van de sterkte van de blootstelling aan het B-veld binnenshuis, bevestigen de uitspraak die op basis van de metingen in de buitenomgeving gebeurde: het waargenomen B-veld was in alle gevallen veel zwakker dan limietwaarde van ICNRIP(1998) maar in alle omstandigheden sterker dan 0,4 µT.

6.4 Grens van de 0,4 µT blootstelling

Deze grens ligt op een afstand tussen de verticale projectie van de onderste geleider van de hoogspanningslijn tot aan het punt weg van de lijn waar de sterkte van het B-veld gelijk is aan 0,4 µT. Op een verdere afstand van de lijn wordt de veldsterkte kleiner dan 0,4 µT.

In tabel 5 worden de afstanden van de 0,4 µT blootstellingsgrenzen die door middel van het GIS-model [11] berekend werden i.f.v. het lijntype en hun respectievelijke stroombelasting weergegeven. Bij gebrek aan elektrische parameters van de 220 kV-lijnen die in Wallonië voorkomen kon de grensafstand van dit lijntype niet met het GIS-model berekend worden. Daarom werd deze afstand geïnterpoleerd[6] uit de gegevens van de 70, 150 en 380 kV-lijnen.

Tabel 5: 0,4 µT grensafstand versus lijntype en stroombelasting

Stroombelasting (%)	70 kV	150 kV	220 kV (interpolatie)	380 kV
25%	9 m	15 m	21 m	33 m
50%	18 m	30 m	41 m	66 m
75%	27 m	43 m	60 m	98 m
100%	36 m	58 m	80 m	130 m

De stroombelasting wordt uitgedrukt als het percentage van de piekbelasting die over een gans jaar bij ieder lijntype geregistreerd werd. Het gebruik van de piekbelasting is het meest realistische uitgangspunt voor de berekening van de 0,4 µT grensafstand.

Op basis van tabel 5 kunnen aanbevelingen geformuleerd en in praktijk omgezet worden om in België de blootstelling van het B-veld tot minder dan 0,4 µT te beperken.

[6] De interpolatie (Statistica-software, release 7) gebeurde door middel van $D_{(I\%)} = a + b(U_{(kV)})$ (R1), waar D gelijk is aan de afstand in functie van de stroombelasting (I%) en U de spanning die gelijk is aan 220 kV. De parameters van de regressievergelijking worden in tabel F1 per stroombelasting samengevat.

Tabel F1: parameters van de lineaire regressieformule R1

	Intercept (a)	Hellingscoëfficiënt (b)
25%	3,48	0,078
50%	6,96	0,155
75%	9,75	0,23
100%	13,58	0,30

7 BESLUIT

- **Magnetisch inductieveld (B-veld)**

Indien het B-veld dat onder Belgische hoogspanningslijnen gemeten of berekend werd vergeleken wordt met de 100 µT blootstellingslimiet die door ICNIRP(1998) en de Europse Raad (1999) aanbevolen wordt stellen we vast dat zelfs de "worst case" blootstellingssituatie (40 µT berekend) volgens de interpretatie van ICNIRP geen enkel rechtstreeks risico inhoudt voor de gezondheid van de mens. Dit besluit geldt zowel voor de blootstelling binnen als buiten de woning.

Voor wat betreft het zogenaamde indirect effect dat kan optreden door interferentie van het B-veld met elektronische implantaten kan besloten worden dat zelfs in deze "worst case" blootstelling geen gevaar voor interferentie van het B-veld met pacemakers, ferromagnetische implantaten of andere elektronische implantaten bestaat.

Onder en/of in de onmiddellijke nabijheid van de Belgische hoogspanningslijnen is het gemeten B-veld onder alle omstandigheden sterker dan 0,4 µT.
Naarmate men zich verder van de lijn verwijdert wordt de kans dat deze drempel overschreden wordt steeds kleiner.

- **Elektrisch veld (E-veld)**

Binnen woningen onder hoogspanningslijnen is het E-veld niet groter dan de background. In de buitomgeving kunnen de maximale veldsterkten de Belgische norm overschrijden maar is de gemiddelde sterkte van het E-veld onder alle hoogspanningslijnen conform aan deze norm.

8 AANBEVELINGEN

- **Magnetisch inductieveld (B-veld)**

Op basis van de ICNIRP (1998) richtlijn moet geen enkele aanbeveling geformuleerd of maatregel genomen worden om het algemene publiek te beschermen tegen de blootstelling aan magnetische velden van hoogspanningslijnen.

Op basis van het 0,4 µT criterium zou het in het kader van de volksgezondheid en ruimtelijke ordening aangeraden zijn om van bij het ontwerp van nieuwe bouwprojecten zoals inplanting van nieuwe hoogspanningslijnen, woonwijken, buildings en dergelijke rekening te houden met de 0,4 µT problematiek. Zolang niet bewezen is of de 0,4 µT blootstelling al dan niet gezondheidrisico's inhoudt zou men op basis van het voorzorgsprincipe (nemen van maatregelen zonder dat een effect bewezen is) de in tabel 5 samengevatte grensafstanden kunnen beschouwen als richtwaarden voor een eventuele andere aanpak in de inplantingspolitiek.

Voor wat de bestaande woningen onder of in de onmiddellijke nabijheid van hoogspanningslijnen betreft zou een kosten-batenanalyse moeten uitwijzen of actieve afzwakking van het B-veld eventueel door stroomvermindering of verhoging t.o.v. de nok een haalbare kaart is om het B-veld zwakker te maken dan 0,4 µT. Toepassing van passieve veldverzwakking door het plaatsen van z.g. B-veld werende schermen in ferromagnetisch (mumetaal, staal) of sterk geleidend (koper aluminium) materiaal tegen muren, zoldering of glas in de woning biedt geen oplossing en is ontzettend duur. In dit opzicht wordt aanbevolen om zich goed te informeren alvorens passieve veldverzwakking te laten toepassen: vaak wordt dit louter uit winstbejag aanbevolen.

Aan ouders met jonge kinderen (0 – 15 jaar) of toekomstige ouders wordt aangeraden om bij het bouwen of het kopen van een woning nabij een hoogspanningslijn rekening te houden met de 0,4 µT grensafstand die op de betrokken lijn van toepassing is (zie tabel 5).

Zoals zoveel andere landen zou België over een eigen norm moeten beschikken waarin blootstellingsintensiteit en –duur bepaald worden om te oordelen of een bepaalde blootstelling in tijd en ruimte gezondheidsrisico's inhoudt voor het algemene publiek en voor de beroepsbevolking. Bij het vastleggen van dergelijke normen moeten voldoende relevante elementen/bewijzen aanwezig zijn om de ICNIRP-richtlijn zonder meer te aanvaarden of aan te passen aan de noden van het land. Ook zou men duidelijkheid moeten scheppen over het 0,4 µT criterium als een waardige maatstaf om een blootstellingssrisico tegen af te wegen: hoe ouders van kinderen die onder een hoogspanningslijnen wonen of willen gaan wonen ervan overtuigen dat volgens de norm/richtlijn geen gezondheidsrisico bestaat maar volgens het 0,4 µT criterium wel?

Bij gebrek aan gegevens kunnen nog geen aanbevelingen geformuleerd worden i.v.m. de blootstelling aan het B-veld van *ondergrondse kabels,* dit zal kunnen vanaf 2008.

- **Elektrisch veld (E-veld)**

Voor wat het binnenshuis E-veld betreft moeten in geen enkel geval beschermende maatregelen getroffen worden. Voor wat de blootstelling aan het E-veld in de buitenomgeving betreft wordt aanbevolen dat kinderen op speelplaatsen van scholen, of in openbare ruimtes van jeugdverenigingen of in de tuin bij hun thuis niet langer onder de hoogspanningslijnen verblijven dan nodig is.
Studies over blootstelling en risico's van het E-veld zijn schaars, daarom zouden in dit verband wereldwijd meer studies moeten opgezet worden i.v.m. de buitenshuis blootstellingen waarbij speciaal rekening gehouden wordt met gevoelige groepen zoals kinderen en zwangere vrouwen.

9 REFERENTIES

[1] BBEMG site: www.bbemg.ulg.ac.be

[2] Ministrieel besluit van 07 mei 1987 (B.S. van 14 mei 1987) gewijzigd bij M.B. van 20 april 1988 (B.S. van 06 mei 1988.

[3] Vlaamse Regering (2004), Kwaliteitsnorm voor het binnenmilieu i.v.m. het ELF magnetisch veld (11 juni 2004: Besluit van de Vlaamse Regering houdende maatregelen tot bestrijding van de gezondheidsrisico's door verontreiniging van het binnenmilieu. B.S. 19.10.2004 p. 72555)

[4] EC Council Recommendation (1999), COUNCIL RECOMMENDATION of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz) *(1999/519/EC)*

[5] ICNIRP (1998), Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz), Health Physics Vol. 74, No 4, pp 494-522, 1998. http://www.icnirp.de/documents/emfgdl.pdf

[6] Wertheimer N. and Leeper E. (1979), Electrical wiring configurations and childhood cancer. Am. J. Epidemiol. 1979; 109(3):273-84.

[7] Ahlbom A, Day N, Feychting M. et al (2000), A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. Br. J. Cancer 2000; 83(5):692-8

[8] Greenland S, Sheppard AR, Kaune WT, Poole C, Kelsh MA. (2000). A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia. Epidemiology 2000; 11(6):624-34.

[9] van der Plas M. et al. (2001), Magnetische velden van hoogspanningslijnen en leukemie bij kinderen. RIVM-rapport 610050 007 april 2001.

[10] van der Plas M., Houthuis DJM, Dusseldorp A., Pennders RMJ, Pruppers MJM. (2001) Exposure to the magnetic fields from overhead power lines and childhood leukemia in the Netherlands. EBEA 2001, 5th international Congress of the European BioElectromagnetic Association (EBEA) 6-8 September 2001, Helsinki, Finland: Proceedings.

[11] Decat G., Peeters E., Smolders R., (2003), Tijdsreeks en GIS-model om de blootstelling van de bevolking aan het 50 Hz magnetisch veld gegenereerd door bovengrondse hoogspanningslijnen in kaart te brengen. VMM, MIRA/2003/05. November 2003, p. 1 – 55. (http://www.vmm.be/servlet/be.coi.gw.servlet.MainServlet/standard?toDo=open&id=3102&&

[12] 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

[13] Swanson J, Vincent T, Kroll M, Draper G. Power-frequency electric and magnetic fields in the light of Draper et al. 2005. Ann N Y Acad Sci. 2006 Sep;1076:318-30

[14] Janet Lathrop, (2007), Experts testify on ELF EMF science at Connecticut hearing. ELF Gateway News Brief, January 12, 2007.

[15] Kelfkens G., Pennders RMJ en Pruppers MJM. (2003), Plannen voor nieuwbouwwoningen bij bovengrondse hoogspanningslijnen. RIVM rapport 610150004/2003.

[16] IARC (2002), Non-ionizing radiation, part1: static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields. *IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum* 80:1-429.
[17] Gezondheidsraad Nederland: Commissie Radiofrequente straling (1997). Radiofrequente elektromagnetische velden (300 Hz – 300 GHz). Bijlag E: Elektromagenetische interferentie van pacemakers, pp. 97 – 99.
[18] IRPA/INIRC International Non-ionizing Radiation Committee of the International Radiation Protection Association Guidelines (1990) Interim Guidelines on Limits of Exposure to 50/60 Hz Electric and Magnetic Fields. Health Physics Vol. 58, Nr 1 January 1990.
[19] UNEP/WHO/IRPA (1987) United Nations Environment Programme/World Health Organization/International Radiation Protection Association. Envrionmental Helath criteria 69. Magnetic fields. Geneva: World Health Organsition: 1987
[20] Moss A.J. and Cartensen E. (1985) Evaluation of the effect of the electric field on implanted cardiac pacemakers. Palo Alto. CA: Electric Power Research Institute EPRI-EA 3917: 1985.
[21] Deutsche Elektrotechnische Kommission im DIN und VDE (DKE) (1991). Sicherheit in elektromagnetischen Feldern. Schutz von Personen im Frequenzbereich von 30 kHz bis 300 GHz. Entwurf VDE 0848 Teil 2 1991.
[22] CENELEC (1995). European Committee for Electrotechnical Standartization. Safety of implantable cardiac pacemakers. Brussels: CENELEC, 1995 (European standard EN 50061-/A1).
[23] TC106X/DE0025/NP. Safety in electric, magnetic and electromagnetic fields Part 3-1: Protection of persons with active implantable medical devices in the frequency range from 0 Hz to 300 GHz
[24] Decat G., Deckx L., Meynen G. en Polders C. (2006), Blootstelling van de algemene bevolking aan O Hz tot 3 Hz elektromagnetische velden in bibliotheken, elektrozaken, grootwarenhuizen, luchthavens, openbaar vervoer, stations, wandel- en winkelstraten. VITO-rapport 2006/IMS/R/210, Studie uitgevoerd door VITO in opdracht van de Vlaamse Overheid, Departement Leefmilieu, Natuur, Energie. (rapport wordt eerdaags gepubliceerd op het web van LNE)
[25] Decat, G. en Kerckhofs, R. (1995), *Evaluatie van elektrische en magnetische velden afkomstig van Belgische hoogspanningslijnen bij normale exploitatie*. Tijdschrift Energie & Milieu 3 mei/juni, 118-122.
[26] Decat G. (2002) Elektrisch en magnetisch veld van 380 kV, 150 kV en 70 kV hoogspanningslijnen in Vlaanderen. VITO-rapport 2002/IMS/R/012, Februari 2002.
[27] Hoeffelman J., Decat G., Lilien J-L., Delaigle A., Govaerts B. (2004). Assessment of the Electric and Magnetic field levels in the vicinity of the HV overhead power lines in Belgium. Cigré Conference Paris August 2004 - paper C3-202
[28] Decat G. and Van Tongerloo J. (1998), *Magnetic field monitored in houses under 50 Hz high-voltage transmission lines of 70, 150, 220 & 380 kV*. Air Pollution VI, Editors: C.A. Brebbia C.F. Ratto, H.Power, TM WITPress Computational Mechanics Publications Ed, 237 – 246
[29] Decat, G. and 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 Pollution, Vol. 9, nr. 4, 341 35
[30] Decat G, Crasson M, Peeters E, Van Loock W. Optimal sampling time for the exposure assessment of the magnetic field for epidemiological purposes. *EBEA Congress* 2003.