



VLAAMSE MILIEUMAATSCHAPPIJ



Modellering en GIS-toepassing voor het bepalen van de blootstelling en het epidemiologisch risico van het 50 Hz magnetisch veld gegenereerd door de ondergrondse hoogspanningskabels in Vlaanderen



Studie uitgevoerd in opdracht van
MIRA, Milieurapport Vlaanderen

Onderzoeksrapport

MIRA/2007/07, december 2007

Modellering en GIS-toepassing voor het bepalen van de blootstelling en het epidemiologisch risico van het 50 Hz magnetisch veld gegenereerd door de ondergrondse hoogspanningskabels in Vlaanderen

Gilbert Decat, Guy Meyen, Eefje Peeters, Leen Van Esch, Leo Deckx, Ulrike Maris

VITO

**Studie uitgevoerd in opdracht van MIRA,
Milieurapport Vlaanderen**

MIRA/2007/07

December 2007



Algemene verspreiding

(Contract 061295)

Modellering en GIS-toepassing voor het bepalen van de blootstelling en het epidemiologisch risico van het 50 Hz magnetisch veld gegenereerd door de ondergrondse hoogspanningskabels in Vlaanderen

Eindrapport

Gilbert Decat, Guy Meyen, Eefje Peeters, Leen Van Esch, Leo Deckx, Ulrike Maris

Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM)

2007/IMS/R/426

VITO

December 2007

VERSPREIDINGSLIJST

VMM:	10 exemplaren
STUURGROEP:	6 exemplaren
VITO:	5 exemplaren

INHOUDSTABEL

VOORWOORD

1	INLEIDING.....	4
2	DOEL EN DOELGROEP.....	6
2.1	Doel	6
2.2	Doelgroep.....	6
3	NORMEN EN RICHTLIJNEN.....	6
3.1	Belgische wetgeving.....	6
3.2	Kwaliteitsnorm voor het binnenmilieu	7
3.3	Internationale richtlijnen	7
3.3.1	Aanbevelingen van ICNIRP (1998) en de Raad van de Europese Unie (1999) .	7
3.3.1.1	Basisrestrictie	7
3.3.1.2	Referentieniveau	7
4	TIJDSREEKSEN	8
4.1	Geografische lengte van het ondergronds hoogspanningsnet	8
4.2	Berekening van de tijdsreeksen voor Vlaanderen.....	9
5	METHODE VOOR HET BEPALEN VAN DE STERKTE VAN HET MAGNETISCH VELD.....	11
5.1	Meetlocaties en kabelkenmerken.....	11
5.2	Meetmethode	13
5.2.1	Opsporen van de kabelligging	13
5.2.2	Meetschema	14
5.2.3	Registratie van het B-veld in de hoogterichting	16
5.2.4	Meetinstrumenten voor het registreren van het magnetisch veld.....	17
6	BEREKENING VAN DE STROOMBELASTING VAN DE KABELS.....	17
7	RESULTATEN VAN HET GEMETEN MAGNETISCH VELD. 18	
7.1	Piekwaarden ter voor het bepalen van de ondergrondse kabelpositie	18
7.2	Verdeling van magnetische fluxdichtheid (B-veld) in de tijd.....	20
7.3	Magnetische fluxdichtheid (B-veld) versus horizontale afstand	22
7.3.1	B-veld van 150 kV kabels	22
7.3.1.1	B-veld versus dwarse afstand	22
7.3.1.2	B-veld versus tijd	23
7.3.1.3	B-veld versus stroom en diepteligging van de kabels	24
7.3.2	B-veld van ondergrondse 70 kV kabels.....	24
7.3.2.1	B-veld versus dwarse afstand	24
7.3.2.2	B-veld versus tijd	25
7.3.2.3	B-veld versus stroom en diepteligging van de kabels	26
7.3.3	B-veld van ondergrondse 36 kV kabels.....	26
7.3.3.1	B-veld versus dwarse afstand	26
	7.3.3.1.1 Probleem bij 36 kV kabels	26

7.3.3.1.2	B-veld van alleenliggende 36 kV kabels	27
7.3.3.1.2.1	B-veld versus dwarse afstand	27
7.3.3.1.2.2	B-veld versus tijd	29
7.3.3.1.2.3	B-veld versus stroom en diepteligging van de kabel.....	29
7.4	Magnetische fluxdichtheid (B-veld) versus verticale afstand	29
7.4.1	Partiële lichaamsblootstelling	29
7.4.2	Gehele lichaamsblootstelling	31
7.4.3	Afname van het B-veld i.f.v. de hoogte	32
8	ANALYTISCH BLOOTSTELLINGSMODEL.....	33
8.1	Modelbenadering voor het magnetisch veld	33
8.2	Samenvatting	38
9	VALIDATIE VAN HET ANALYTISCH MODEL.....	38
9.1	Doel.....	38
9.2	Validatie met behulp van de methode van de eindige elementen....	38
9.3	Validatie t.o.v. in-situ metingen en het eindige elementen pakket ..	39
10	GIS-TOEPASSING VOOR HET UITTEKENEN VAN DE 0,1, 0,2, , 0,3 EN 0,4 μT BLOOTSTELLINGSGANGEN	47
10.1	Ondergronds kabelnetwerk in GIS	47
10.2	Corridors van het ondergronds kabelnetwerk	49
10.3	Blootstelling van de jongeren binnen de B-veld corridors	52
10.3.1	Spreidingskaart jongeren	52
10.3.2	Berekening blootstelling	54
11	BIJKOMEND EPIDEMIOLOGISCH RISICO DOOR BLOOTSTELLING AAN HET ONDER- EN BOVENGRONDS NETWERK.....	56
11.1	Inleiding	56
11.2	Aantal jongeren binnen de 0,4 μT corridors van het boven- en ondergronds hoogspanningsnet	56
11.3	Bijkomend epidemiologisch risico.....	57
11.4	Onzekerheid op blootstellings- en risicoschatting.....	58
12	BESLUIT	59
13	BELEIDSAANBEVELINGEN.....	60
14	REFERENTIES.....	61
15	BIJLAGE 1: BELANGRIJKSTE EIGENSCHAPPEN VAN NIET-IONISERENDE STRALING.....	63
16	BIJLAGE 2: SPECIFICATIES MEETAPPARATUUR	65
17	BIJLAGE 3: LIJST MET RELEVANT WEBSITES	68
18	DANKWOORD	73

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1: Referentieniveaus voor blootstelling aan het 50 Hz elektrisch en magnetisch veld (ICNIRP, 1998) en de Raad van de Europese unie (1999).....	7
Tabel 2: Geografische lengte van de ondergrondse netten per gewest.....	8
Tabel 3: Lengte (km) van ondergronds net in België en Vlaanderen van 1995 - 2006	8
Tabel 4: B-veldbelasting per kabeltype versus tijd	9
Tabel 5: Meetlocaties en kabelkenmerken	11
Tabel 6: Curve fitting parameters.....	33
Tabel 7: Kenmerken van het ondergrondse hoogspanningsnet (in km).....	47
Tabel 8: Corridorbreedtes in functie van lijntype, stroombelasting en B-veld (μT).....	50
Tabel 9: Oppervlakte van de corridors van het ondergronds kabelnetwerk	51
Tabel 10: Geaggregeerde oppervlakte in functie van stroombelasting en B-veld	51
Tabel 11: Blootstelling van jongeren in de verschillende corridors.....	55
Tabel 12: Geaggregeerd absoluut en relatief aantal blootgestelde jongeren, in functie van de stroombelasting en het B-veld	55
Tabel 13: Percentage jongeren wonende binnen de 0,4 μT corridor van onder- en bovengrondse lijnen	57
Tabel 14: Belangrijkste algemene eigenschappen van niet-ioniserende straling.....	64
Tabel 15: Fundamentele kenmerken per frequentiegebied.....	64
Tabel 16: Specificaties van EMDEX LITE ELF Monitor	65
Tabel 17: Specificaties van Emdex II en Linda Wheel	66
Tabel 18: Specificaties van PMM 8053 meter	67
Tabel 19: Specificaties van sonde EHP50A.....	67

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1: B-veldbelasting versus tijd	10
Figuur 2: Jaarlijkse toename van de B-veldbelasting t.o.v. 1995	10
Figuur 3: Liggingsplan van de ondergrondse lijn 150/354.....	13
Figuur 4: Bepaling van ondergrondse kabellocatie	14
Figuur 5: Algemeen meetschema	14
Figuur 6: Registratie van B-veld in de breedterichting van de kabel.....	15
Figuur 7: Meetopstelling voor het meten van het B-veld in de hoogterichting.....	16
Figuur 8: Verloop van B-veld op meetplaats 1 van lijn 150/354	18
Figuur 9: Verloop van B-veld op meetplaats 2 van lijn 150/354	19
Figuur 10 Verloop van B-veld op meetplaats 3 van lijn 150/354.....	19
Figuur 11: B-veld versus tijd op meetplaats 1 van lijn 150/354.....	20
Figuur 12: B-veld versus tijd op meetplaats 2 van lijn 150/354.....	21
Figuur 13: B-veld versus tijd op meetplaats 3 van lijn 150/354.....	21
Figuur 14: B-veld van 150 kV-kabel versus horizontale afstand	22
Figuur 15: B-veld registratie 1 m boven het maaiveld van verbinding V259(2)	23
Figuur 16: B-veld van 70 kV-kabel versus horizontale afstand	25
Figuur 17: B-veld registratie 1 m boven het maaiveld van verbinding V206.....	25
Figuur 18: Verdeling van B-veld 1 m boven het maaiveld van de twee soorten kabels (Sleidingen: kabelnummer 36/055).....	26
Figuur 19: Verdeling van B-veld 1 m boven het maaiveld van de twee soorten kabels (Waterschoot: kabelnummer 36/055)	27
Figuur 20: B-veld van 36 kV-kabel versus horizontale afstand	28
Figuur 21: B-veld registratie 1 m boven het maaiveld van verbinding V089.....	29
Figuur 22; Strooidiagram van B-veld geregistreerd op verschillende hoogtes van de verschillend kabeltypes.....	30
Figuur 23: Gehele lichaamsblootstelling per kabeltype	31
Figuur 24: B-veld uitgemiddeld over de drie kabeltypes versus meethoogte	32
Figuur 25: Magnetisch inductieveld van een rechte geleider	34
Figuur 26: Parameters van de ondergrondse hoogspanningslijn 150-354	35
Figuur 27: Magnetisch inductieveld van 3 geleiders	36
Figuur 28: Magnetische veldsterkte voor 3 lijnen (150/354, 70/799 en 36/089) berekend met het analytisch model (AM) en met het eindig elementen pakket (EEP).....	39
Figuur 29: B-veld bekomen volgens de verschillende methodes voor een 150 kV-kabel	40
Figuur 30: B-veld bekomen volgens de verschillende methodes voor een 70 kV-kabel	40
Figuur 31: B-veld bekomen volgens de verschillende methodes voor een 36 kV-kabel	41
Figuur 32: Box & whisker plot van het B-veld bekomen door de verschillende methodes...	42
<i>Figuur 33: Het ondergronds kabelnetwerk in Vlaanderen en Brussel</i>	<i>48</i>
Figuur 34: Voorbeeld van 0,4 μ T corridor van 150 kV-kabel met 100% stroombelasting...	49
Figuur 35: Spreidingskaart van de jongeren in Vlaanderen en Brussel	53
Figuur 36: Overlay-analyse ter berekening van de blootstelling	54
Figuur 37: Elektromagnetisch frequentiespectrum.....	63

VOORWOORD

In 2001 klasseerde het IARC de elektromagnetische velden als mogelijk kankerverwekkend voor de mens (klasse 2b) op basis van epidemiologische studies die een licht verhoogd risico voor leukemie bij kinderen hadden vastgesteld bij een blootstelling aan magnetische velden van meer dan $0,4 \mu\text{T}$. Naar aanleiding van deze resultaten werd in 2003 een studie uitgevoerd in opdracht van MIRA om te onderzoeken welk deel van de bevolking en meer bepaald kinderen blootgesteld werd aan dergelijke magnetische velden uitgezonden door bovengrondse hoogspanningskabels.

Er is echter een tendens om meer hoogspanningskabels ondergronds te plaatsen. Over blootstelling aan magnetische velden afkomstig van ondergrondse hoogspanningskabels en het deel van de bevolking dat hieraan blootgesteld is, was echter niets gekend. Alhoewel het elektrisch veld volledig geblokkeerd wordt door de bodem waarin de hoogspanningskabels zich bevinden wordt het magnetisch veld quasi niet afgezwakt. Omdat de ondergrondse kabels gemiddeld op een diepte van ongeveer 1 m liggen bevinden ze zich veel dichterbij de leefhoogte van de bevolking dan de hoogspanningslijnen van het bovengronds net en kan de blootstelling die veroorzaakt wordt door het ondergronds net in sommige gevallen groter zijn dan die veroorzaakt door het bovengronds net. De stroomsterkte en de afstand tot de kabels zijn immers de belangrijkste veranderlijken die de sterkte van het magnetisch veld waaraan het individu in zijn dagelijks leven blootgesteld wordt bepalen.

Aan de hand van deze studie trachten we meer te weten te komen over de door ondergrondse hoogspanningskabels uitgezonden elektromagnetische velden en de blootstelling van de bevolking hieraan. Daarom wordt net als in de studie van de bovengrondse lijnen een model voorgesteld dat de blootstelling op verschillende afstanden van de ondergrondse kabels kan inschatten. Dit model wordt, na validatie, toegepast in een GIS-analyse. Hierbij wordt het aandeel van de bevolking bepaald dat blootgesteld wordt aan magnetische veldsterkten die, hoewel er geen verband tussen oorzaak en gevolg bewezen is, als risicodragend worden beschouwd. De resultaten van deze studie kunnen in het kader van de ruimtelijke ordening door overheden en bedrijven aangewend worden als beslissingscriteria voor het bepalen van veiligheidsstroken bij de inplanting van nieuwe gebouwen, woonwijken of ondergrondse lijnen.

Myriam Bossuyt
Medewerker Milieurapport Vlaanderen

SAMENVATTING

Deze studie die in opdracht van VMM uitgevoerd werd en zich richt naar de overheid en het algemene publiek geeft inzicht in:

- de kenmerken van het ondergronds hoogspanningsnet in Vlaanderen
- de evolutie van de belasting van het milieu door het magnetisch veld door middel van berekende tijdsreeksen
- de gemeten sterkte van het magnetisch veld waaraan het algemene publiek kan blootgesteld worden
- de ontwikkeling van een analytisch model om de blootstelling aan het magnetisch veld in een willekeurig punt in de ruimte te bepalen
- de validering van het analytisch model t.o.v. meetgegevens en de methode van de eindige elementen
- de GIS toepassing voor de omkadering en de inschatting van de blootstellingsrisico's aan het magnetisch veld dat respectievelijk door het onder- en bovengronds hoogspanningsnet gegenereerd wordt.

Uit de tijdsreeksen kunnen we besluiten dat de toename van de belasting van het milieu door het magnetisch veld van de ondergrondse hoogspanningskabels in de laatste 10 jaar niet spectaculair gestegen is. De totale jaarlijkse toename over de periode 1995 – 2006 bedroeg gemiddeld 20 $\mu\text{T.km}$ en is vooral te wijten aan het plaatsen van bijkomende ondergrondse 150 kV-kabels.

De metingen van het magnetisch inductieveld dat boven het maaiveld door het ondergronds net geproduceerd wordt wijzen uit dat de veldsterkte onder alle omstandigheden conform en bovendien veel zwakker is dan de blootstellingslimieten die door ICNIRP(1998) en respectievelijk de Raad van Europa (1999) voor het algemene publiek aanbevolen worden. De gehele lichaamsblootstelling aan het magnetisch inductieveld is voor de “worst case situatie (recht boven de ondergrondse kabels) kleiner dan 3 μT of $1/30^{\text{ste}}$ van de 100 μT blootstellingslimiet (zie tabel 1).

De goede overeenkomst tussen de resultaten die bekomen werden door het analytisch model, de meetgegevens en de methode van de eindige elementen tonen aan dat het analytisch model een betrouwbare methode is voor het inschatten van de sterkte van het B-veld waaraan een persoon in een willekeurig punt in de ruimte kan blootgesteld worden.

De GIS-toepassing die de blootstellingscorridors visualiseren tonen aan dat de corridors die door middel van het analytische model onder gelijk welke omstandigheden berekend werden afhankelijk van de stroombelasting (100% - 25%) en de veldsterkte binnen de corridor (0,1 – 0,4 μ T) variëren van 3,5 tot 24,3 km². Voor wat de 0,4 μ T blootstelling betreft varieert de oppervlakte tussen 3,5 (25% stroombelasting) en 11,2 km²(100% stroom). Door middel van GIS kunnen we ook besluiten dat, in de worst case situatie (100% stroombelasting), 4960 (0,4%) jongeren (0 - 14 jaar) in de 0,4 μ T blootstellingscorridors wonen, dat dit er 1583 (0,1%) zijn in de meest gunstige situatie (25% stroombelasting) en 2780 (0,2%) bij een 50% stroombelasting. Dit 50 % niveau is het meest in overeenstemming met de werkelijk gemiddelde stroombelasting van het net, bekomen op basis van stroommetingen (bemonstering). In het kader van de kwaliteitsnorm voor het binnenmilieu kan besloten worden dat in de “worst case” en in de meest gunstige situatie respectievelijk 7588 (0,6%) en 2259 (0,2%) jongeren (0-14 jaar) in de 0,2 μ T corridor van het ondergrondse hoogspanningsnet wonen. Bij de gemiddelde stroombelasting bedraagt dit 4046 (0,3%). Omdat de metingen uitwezen dat de 10 μ T corridor verwaarloosbaar klein is, zullen er geen jongeren in dergelijke corridors wonen. Het aantal jongeren dat binnen de 0,4 μ T corridor van het ondergronds net woont is ongeveer 30% (1/3de) van het aantal kinderen dat binnen de 0,4 μ T corridor van het bovengronds net woont. In de “worst case” situatie (bovengrens die ongeveer vier maal hoger is dan het gemiddelde B-veld op lange termijn) woont 1,8% van de jongeren binnen de 0,4 μ T corridors die door de som van het onder- en bovengrondse hoogspanningsnet in Vlaanderen geproduceerd worden. Naar risico toe en indien een verband bestaat tussen oorzaak en gevolg is het belangrijkste besluit dat in Vlaanderen 0,7% van de kinderleukemies per jaar toe te schrijven is aan het wonen in de 0,4 μ T corridors die door het gehele (onder- + bovengronds) hoogspanningsnet in het Vlaamse Gewest geproduceerd worden. Daar globaal gezien de epidemiologische risicocorridors van de ondergrondse hoogspanningskabels ongeveer drie keer kleiner zijn dan die van de bovengrondse lijnen wordt aanbevolen om de elektriciteitsdistributie in woonkernen zoveel mogelijk via het ondergronds net te laten verlopen. Ondergrondse kabels brengen geen visuele hinder met zich mee zodat de risicoperceptie i.v.m. het hoogspanningsnet in woonkernen misschien een andere wending zou aannemen . Vogelsterfte door elektrocutie zou ook afnemen. Noteer dat de aanbeveling geen rekening houdt met economische noch andere aspecten (b.v. opsporen en herstellen van mogelijke defecten) . De analytische modellen die respectievelijk ontwikkeld werden voor bovengrondse lijnen en ondergrondse kabels (huidig model) zijn gebruiksvriendelijke modellen die door alle overheden kunnen gebruikt worden om in het kader van ruimtelijke ordening en volksgezondheid de reikwijdte van de grenzen van de epidemiologische risicocorridors op een betrouwbare manier te schatten .

1 INLEIDING

Tegenwoordig maakt men zich nog steeds zorgen over een mogelijk verband tussen een langdurige blootstelling aan een 50 Hz magnetisch veld van $0,4 \mu\text{T}$ ¹ en kinderleukemie.

De oorsprong van deze bezorgdheid ligt bij Wertheimer and Leeper [Ref. 1] 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 $0,4 \mu\text{T}$ problematiek die voornamelijk ontstond uit de epidemiologische “pooled analyses” van Ahlbom et al. (2000) [Ref. 2] and Greenland et al. (2000) [Ref. 3]. 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 $0,4 \mu\text{T}$ tweemaal groter is dan bij kinderen die aan minder dan $0,4 \mu\text{T}$ blootgesteld worden. Concreet betekent het relatief risico van 2 ($rr = 2$) dat er jaarlijks 1 tot 3 gevallen van kinderleukemie per 100 000 kinderen, die gemiddeld aan $0,4 \mu\text{T}$ blootgesteld worden, bijkomen [Ref. 4, Ref. 5]. De resultaten van de epidemiologische studies hebben niet alleen het debat rond deze problematiek versterkt, maar zij vormden tevens de grondslag voor het “International Agency for Research on Cancer (IARC)” om in 2002 de 50 Hz elektromagnetische velden als “mogelijk kankerverwekkend” te klasseren [Ref. 6].

Voor wat het risico van bovengrondse hoogspanningslijnen in Vlaanderen betreft, werd berekend dat langdurige blootstellingen van kinderen tussen 0 en 15 jaar, die wonen binnen de $0,4 \mu\text{T}$ corridors van hoogspanningslijnen, om de 2 jaar 1 bijkomend geval van kinderleukemie zou opleveren [Ref. 7]. Dit betekent dat indien in Vlaanderen om de twee jaar 100 gevallen van kinderleukemie zouden geregistreerd worden [Ref. 8], 1 leukemie veroorzaakt zou worden door de blootstelling aan het magnetisch veld van tenminste $0,4 \mu\text{T}$ van hoogspanningslijnen en er 99 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 [Ref. 9, Ref. 10] en moet deze uitspraak nog steeds met de nodige voorzichtigheid geïnterpreteerd worden. In de veronderstelling van een verband tussen oorzaak en gevolg schat de wereldgezondheidsorganisatie (WGO) dat wereldwijd tussen 0,2 en 4,9% gevallen van de jaarlijkse incidentie aan kinderleukemie toe te schrijven zijn aan de blootstelling van elektromagnetische velden. In 2000 werd de wereldwijde incidentie op 49.000 gevallen geschat [Ref. 11]. In Vlaanderen zouden er dat een 50-tal per jaar zijn [Ref. 8].

Een RIVM-rapport van 2003 [Ref. 12] toont aan dat in Nederland overwogen wordt om de $0,4 \mu\text{T}$ risicocorridor 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

¹ Men is vaak in de overtuiging dat $0,4 \mu\text{T}$ 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 $< 0,4 \mu\text{T}$) en een blootgestelde (blootstelling $> 0,4 \mu\text{T}$) groep.

aan het magnetische veld afkomstig van bovengrondse hoogspanningslijnen te reduceren. In Nederland heeft de netbeheerder de verplichting de bovengrondse lijnen te bouwen in een 0,4 μT corridor vrij van bewoning.

In 2004 publiceerde de Vlaamse regering een kwaliteitsnorm i.v.m. o.a. het ELF magnetisch veld [Ref. 13] in het binnenmilieu. Deze norm bepaalt richtwaarde van 0,2 μT en een interventiewaarde van 10 μT . Dit besluit werd door de Vlaamse Regering genomen ter bestrijding van de gezondheidsrisico's door verontreiniging van het binnenmilieu. De richt- en interventiewaarden zijn gesteund op (inter)nationale publicaties rond IAQ (Indoor Air Quality). De aanzet tot publicatie van deze kwaliteitsnorm was dat risico op kinderleukemie bij kinderen tot 15 jaar begint toe te nemen bij magnetische veldsterkten in het gebied van 0,2 tot 0,5 μT . De gevonden associatie is echter zwak, het relatief risico is kleiner dan 2, en een oorzakelijk verband kan niet worden gelegd. Ook een waarschijnlijk biologisch mechanisme dat de associatie zou kunnen verklaren is tot hiertoe onbekend. De gevonden associatie zou dus ook door het toeval of door een artefact kunnen worden verklaard. Beneden het blootstellingsniveau van 0,2 μT is tot op heden geen enkel risico aangetoond.

Bewezen effecten zijn slechts te verwachten vanaf 100 μT [Ref. 14]. De richtwaarde van 0,2 μT , die alsnog niet als drempelwaarde voor een epidemiologisch noch voor een biologisch effect kan beschouwd worden, werd gekozen omdat op die manier kan rekening gehouden worden met de mogelijke specifieke gevoeligheid van kinderen.

Naast de zogenaamde directe effecten kunnen de elektromagnetische velden ook indirecte effecten veroorzaken. Volgens de IRPA/INIRC richtlijn van 1990 [Ref. 15], die tevens verwijst naar UNEP/WHO/IRPA van 1987 [Ref. 16] zou een indirect effect door storing van pacemakers door het 50 Hz ELF magnetische op kunnen treden bij een blootstelling aan 100 μT à 200 μT . IRPA merkt op dat de kans zeer klein is dat een magnetisch veld kleiner dan deze drempels het functioneren van pacemakers kan verstoren. 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 [Ref. 17].

Hoe dan ook, daar de metingen aantoonde dat de sterkte van het magnetisch veld dat door ondergrondse en zelfs door bovengrondse hoogspanningslijnen geproduceerd wordt te zwak is om interferentie met deze implantaten te veroorzaken is het optreden van een indirect effect uitgesloten. Daarom wordt in dit rapport niet verder op de interferentieproblematiek ingegaan.

Ofschoon de 2B IARC klassering op basis van het 0,4 μT risico voor kinderleukemie de belangrijkste reden is voor het uitvoeren van het huidig onderzoek, vormt de Vlaamse kwaliteitsnorm een bijkomende reden om de metingen, het model en de GIS-kaarten eveneens af te stemmen op de 0,2 μT richtwaarde en de 10 μT interventiewaarde van het binnenmilieu. De conclusies en eventuele beleidsaanbevelingen zullen betrekking hebben op:

- de betrouwbaarheid van het analytisch model voor het bepalen van de blootstelling aan het magnetisch inductieveld in een willekeurig punt in de ruimte en de afbakening van de corridors van respectievelijk 0,1 μT ; 0,2 μT , 0,3 μT , 0,4 μT en 10 μT indien deze laatste bestaat

- de verhouding van de grootte van het magnetisch inductieveld t.o.v. de blootstellingslimieten die respectievelijk door ICNIRP (1998) [Ref. 18] en de Raad van de Europese Unie [Ref. 19] voor het algemene publiek aanbevolen worden
- de verblijfdichtheid van de blootgestelde jongeren in de belangrijkste corridors van 0,2 μT , 0,4 μT en 10 μT indien deze laatste corridor voorkomt
- het ingeschat epidemiologisch risico voor het gehele hoogspanningsnet (onder- en bovengrond net) in Vlaanderen

2 DOEL EN DOELGROEP

2.1 Doel

Naar analogie van bovengrondse lijnen een analytisch model ontwikkelen waarmee via het berekenen van de GIS-blootstellingscorridors van 0,2 μT , 0,4 μT en 10 μT het bijkomend risico op kinderleukemie door langdurige blootstellingen van kinderen tussen 0 en 15 jaar aan de vernoemde blootstellingsdrempels die geproduceerd worden door het Vlaams ondergronds hoogspanningsnet met een nominale spanning van respectievelijk 36 kV, 70 kV en 150 kV kan ingeschat worden.

2.2 Doelgroep

De voornaamste doelgroep is de overheid en aanverwante diensten. Daarnaast kan dit ook gebruikt worden door producenten, beheerders en verdelers van het elektriciteitsnet en wetenschappelijke instellingen..

3 NORMEN EN RICHTLIJNEN

Dit hoofdstuk handelt alleen over blootstellingsnormen en -richtlijnen ter bescherming van het algemeen publiek. In dit document zijn de blootstellingsnormen voor de beroepsbevolking niet van toepassing en bovendien bestaan geen emissienormen die voortgaande op een wel gedefinieerd meetprotocol (bv. CENELEC-normen) bepalen op welke afstand van de hoogspanningsverbinding een bepaalde limietwaarde mag overschreden worden.

3.1 Belgische wetgeving

Terwijl in België geen bijzondere wetgeving inzake de blootstelling aan het magnetisch inductieveld (B-veld) bij een netfrequentie van 50 Hz bestaat, is die wel voorhanden voor het elektrisch veld: de waarde van deze norm is dezelfde als die door ICNIRP (1998) en de Raad van de Europese Unie (1999) aanbevolen wordt.

3.2 Kwaliteitsnorm voor het binnenmilieu

Deze norm van de Vlaamse Regering (Besluit van 11 juni 2004, BS 19/10/2004) i.v.m. o.a. het ELF (Extreme Lage Frequentie) magnetisch veld in het binnenmilieu voorziet een richtwaarde van 0,2 μT en interventiewaarde 10 μT . Dit besluit werd door de Vlaamse Regering genomen ter bestrijding van de gezondheidsrisico's door verontreiniging van het binnenmilieu.

3.3 Internationale richtlijnen

3.3.1 Aanbevelingen van ICNIRP (1998) en de Raad van de Europese Unie (1999)

3.3.1.1 Basisrestrictie

In het frequentiebereik van 4 tot 1000 Hz mogen de inductiestromen niet sterker zijn dan 2 mA/m^2 voor het algemene publiek. Er wordt een veiligheidsfactor van 50 toegepast omdat vanaf 100 mA/m^2 de zenuw prikkelbaarheid erg varieert. Voor de werknemers bedraagt de maximum sterkte van de stroomdichtheid 10 mA/m^2 (veiligheidsfactor 10). Deze waarden zijn uitgedrukt in RMS (root mean square) of effectieve waarde van stroomdichtheid.

3.3.1.2 Referentieniveau

Tabel 1 toont de referentieniveaus die nodig zijn om te beslissen of een bepaalde waargenomen veldsterkte al dan niet een risico voor de gezondheid van de mens kunnen inhouden.

Tabel 1: Referentieniveaus voor blootstelling aan het 50 Hz elektrisch en magnetisch veld (ICNIRP, 1998) en de Raad van de Europese unie (1999)

	Magnetisch inductieveld (B) (μT)	Elektrisch veld (E) (kV/m)
Algemene publiek	100	5

De referentieniveaus die aanbevolen worden door de raad van de Europese unie zijn dezelfde als die van ICNIRP (1998).

4 TIJDSREEKSEN

4.1 Geografische lengte van het ondergronds hoogspanningsnet

Tabel 2 geeft een overzicht van de lengte van de ondergrondse elektrische netten die onderverdeeld zijn per gewest [Ref. 20].

Tabel 2: Geografische lengte van de ondergrondse netten per gewest

Gewest	30 kV	36 kV	70 kV	150 kV	Totaal
Vlaams		1.411	192	178	1781
Brussels		262	0	67	329
Waals	146	253	78	99	576
Totaal	146	1926	270	344	2686

(bron: ELIA 2005)

Tabel 3 toont de evolutie van de geografische lengte van het ondergronds net in België en Vlaanderen voor de periode 1995 – 2006.

De geografische lengte van het ondergronds net Vlaanderen werd per verbindingstype percentageel afgeleid van het Belgisch ondergronds net:

Voor het 150 kV net loopt 51,5% van het Belgisch ondergronds netwerk in Vlaanderen. Voor de 70 kV en het 36 kV netwerken zijn dat respectievelijk 61,7% en 72,4%. Deze gegevens werden ons per e-mail door ELIA meegedeeld [Ref. 21].

Tabel 3: Lengte (km) van ondergronds net in België en Vlaanderen van 1995 - 2006

Spanning	België				Vlaanderen			
	150kV	70kV	36kV	30kV	150kV (51,5%)	70kV (61,7%)	36kV (72,4%)	30kV (0%)
Jaar	Lengte (km)							
1995	141	169	1874	208	73	104	1356	Komt niet in Vlaanderen voor
1996	174	169	1978	209	90	104	1432	
1997	192	188	1939	502	99	116	1404	
1998	192	203	1959	382	99	125	1418	
1999	211	209	1967	385	109	129	1424	
2000	225	210	1970	207	116	130	1426	
2001	225	210	1885	207	116	130	1365	
2002	249	228	1887	213	128	141	1366	
2003	282	240	1934	223	145	148	1400	
2004	331	189	1868	214	170	117	1352	
2005	344	270	1926	146	177	167	1394	
2006	390	271	1915	141	201	167	1386	

(bron: ELIA 2006)

4.2 Berekening van de tijdsreeksen voor Vlaanderen

Deze berekening werd op dezelfde manier uitgevoerd als voor de tijdsreeksen van de luchtlijnen [Ref. 20]. Voor het opstellen van deze reeksen werd het aantal km ondergrondse kabellengte in Vlaanderen vermenigvuldigd met de gemiddelde sterkte van de magnetische fluxdichtheid die door middel van het analytisch model per kabeltype berekend werd.

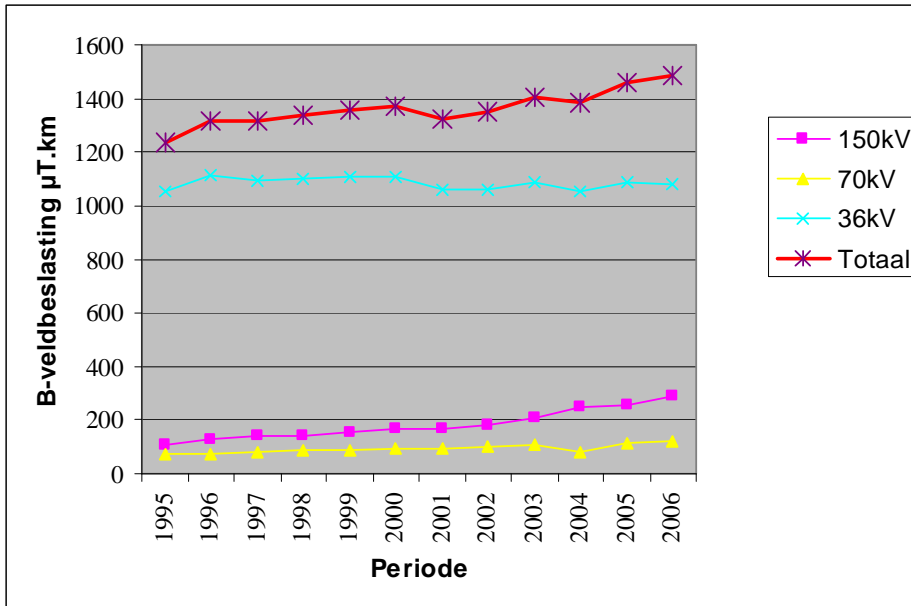
De tijdsreeksen geven de evolutie weer van de magnetische fluxdichtheid (B-veld) die het milieu belastte in de periode 1995 – 2006. De belasting van het milieu die door het magnetisch veld dat door de ondergrondse kabels geproduceerd wordt wordt gedefinieerd als zijnde de B-veldbelasting die uitgedrukt wordt in “microtesla.kilometer ($\mu\text{T.km}$)”. Voor het berekenen van $\mu\text{T.km}$ werd naast de geografische lengte (km) van het ondergronds net uitgegaan van het B-veld (μT) dat op een hoogte van 1 m boven het maaiveld waargenomen werd. De totale emissie van de respectievelijke velden wordt bekomen door de som te maken van de emissiebelastingen van de drie betrokken kabeltypes. Noteer dat het elektrisch veld dat gelijktijdig met het magnetisch veld door de kabels gegenereerd wordt volledig geblokkeerd wordt door het scherm van de kabel en door de bodem en aldus geen uitstraling heeft boven het maaiveld.

Tabel 4 geeft een overzicht van de B-veldbelasting over de periode 1995 – 2006.

Tabel 4: B-veldbelasting per kabeltype versus tijd

Spanning	150kV	70kV	36kV	Totaal
Jaar	B-veldbelasting in $\mu\text{T.km}$			
1995	105	74	1055	1233
1996	130	74	1113	1317
1997	143	82	1092	1317
1998	143	88	1103	1335
1999	157	91	1107	1356
2000	168	92	1109	1369
2001	168	92	1061	1321
2002	186	99	1062	1347
2003	210	105	1089	1404
2004	247	82	1052	1381
2005	256	118	1084	1458
2006	291	118	1078	1487

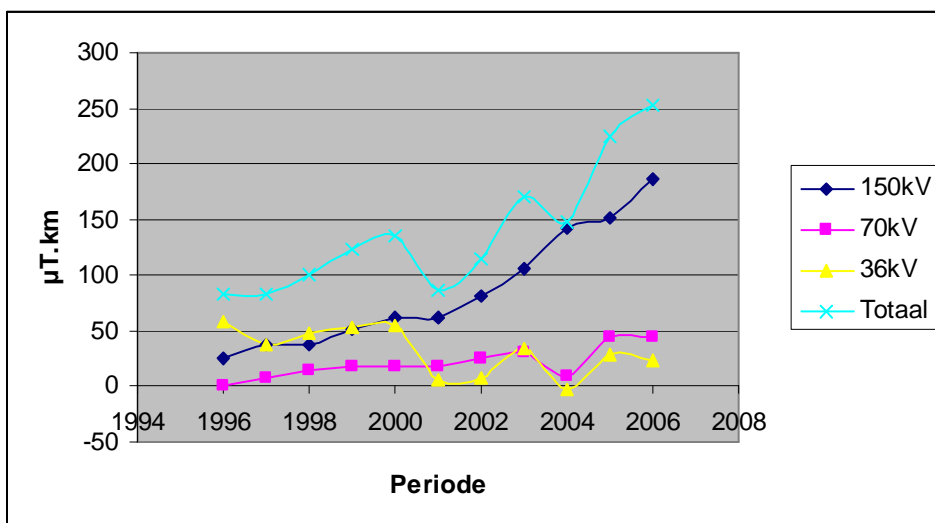
Figuur 1 illustreert de trend van de B-veldbelasting in Vlaanderen.



Figuur 1: B-veldbelasting versus tijd

Figuur 1 toont dat de belasting van het milieu door het magnetisch veld van de ondergrondse kabels niet spectaculair toegenomen is tijdens de laatste 11 jaar. De belangrijkste trend is dat vanaf 2002 de B-veldbelasting die door de 150 kV-verbindingen geproduceerd wordt het meest toeneemt. Deze trend is uitsluitend te wijten aan het feit dat vanaf deze periode meer 150 kV kabels ondergronds worden geplaatst dan voorheen en heeft dus niets te maken met de productie van een sterker magnetisch veld.

Figuur 2 toont de jaarlijkse toename van de B-veldbelasting t.o.v. van het startjaar 1995.



Figuur 2: Jaarlijkse toename van de B-veldbelasting t.o.v. 1995

De totale toename in 2006 bedraagt 250 $\mu\text{T.km}$ t.o.v. 1995. Dit komt overeen met ongeveer een gemiddelde toename van 20 $\mu\text{T.km}$ per jaar en is vooral te wijten aan het toenemend plaatsen van ondergrondse 150 kV-verbindingen in Vlaanderen.

5 METHODE VOOR HET BEPALEN VAN DE STERKTE VAN HET MAGNETISCH VELD

Dit hoofdstuk omvat:

- meetlocatie en kenmerken en ondergrondse plaatsing van de kabel
- meetmethode
- meetresultaten

5.1 Meetlocaties en kabelkenmerken

Tabel 5 geeft een overzicht van de locaties en de kenmerken van de ondergrondse kabels waarvan de magnetische fluxdichtheid (B-veld) gemeten werd.

Tabel 5: Meetlocaties en kabelkenmerken

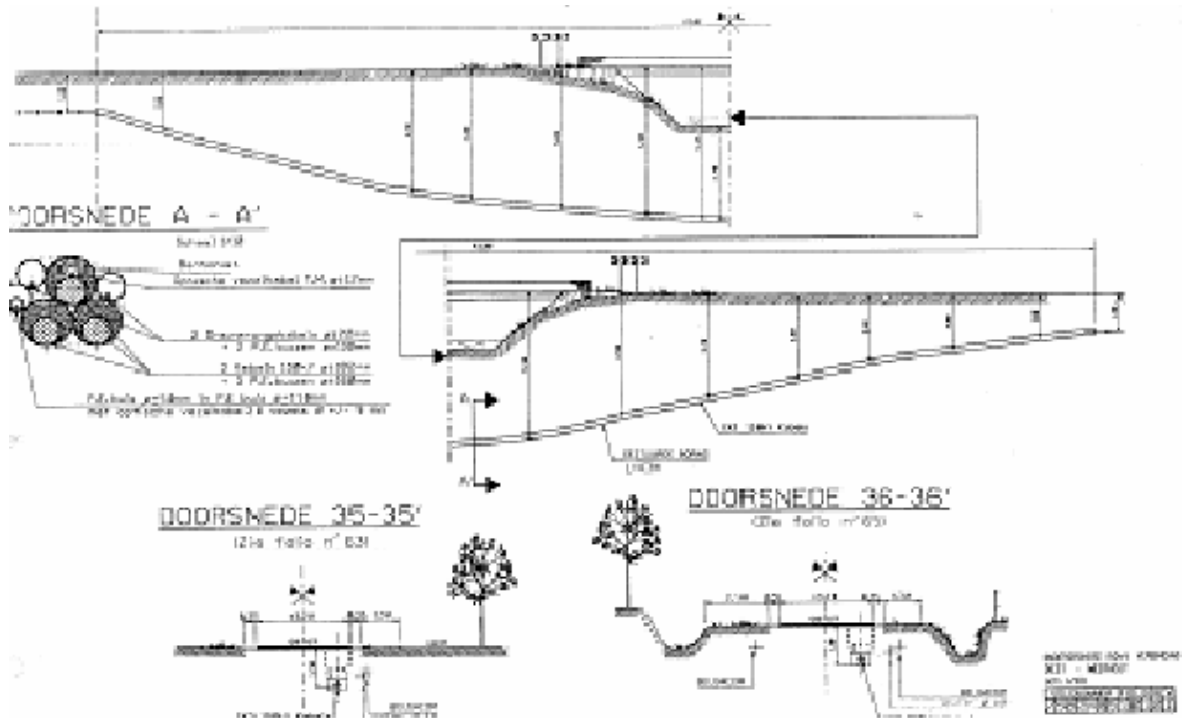
Lijn: Type/nr	GIS- Nummer	Gemeente	Kabeltype
150/35 4	311049	Vorst	1x1000 CU Exe LW PRC +FO
		Tessenderlo	
150/25 9	310975	St Truiden	1x2000 AL EAXeLW PRC
		Gingelom	
		Landen	
150/25 9	310981	Waasmont	1x2000 AL EAXeLW PRC +FO
		Landen	
150/15 9	302692	Ninove	1x500 CU Exe LW PRC +FO
150/15 5	302861	Ninove	1x500 CU Exe LW PRC +FO

70/239	311126	Testelt	1x360 CU Exe LW PRC	
		Aarschot		
		Diest		
70/206	313155	Kessello	1x1000 AL EAXeLW PRC	
		Leuven		
70/776	302899	St Job In't Goor	1x630 CU EXeL W PRC	
		Gooreind		
		Kalmthout		
70/209	309536	Leuven	1x1200 AL PRC OF	
70/799	316463	Ravels	1x630 CU EXeLW PRC	
		Turnhout		
		Beerse		
36/133	317410	Berlare	?	
36/431	318707	Kallo	3x240 CU E3AVB	
36/089	304619	Ertvelde	3x150 CU EI3AVB (jute)	
		Wippelgem		
36/081	317904	Zelee	?	
		Donk		
		Overmere		
36/452	303782	Kallo	1x400 AL EAXeCW prc	

--	--	--	--	--

De selectie van de kabelverbindingen gebeurde op basis van de plannen van de ondergrondse kabels die ons voor de duur van het project door ELIA ter beschikking werden gesteld.

Figuur 3 geeft een voorbeeld van hoe ondergrondse kabels kunnen liggen.



Figuur 3: Liggingsplan van de ondergrondse lijn 150/354

5.2 Meetmethode

5.2.1 Opsporen van de kabelligging

Het referentiepunt voor het uitzetten van de meetpunten om de sterkte van het B-veld te bepalen in de hoogte- en de breedterichting boven het maaiveld werd bepaald door middel van het mobiele LINDA (linear data acquisition) Wheel waaraan een EMDEX II ELF monitor (zie bijlage voor specificaties) gekoppeld was. Door met dit systeem dwars over de straat te rollen kon de piekwaarde van het B-veld en bijgevolg het referentiepunt voor het uitzetten van de bijkomende meetpunten vastgelegd worden.

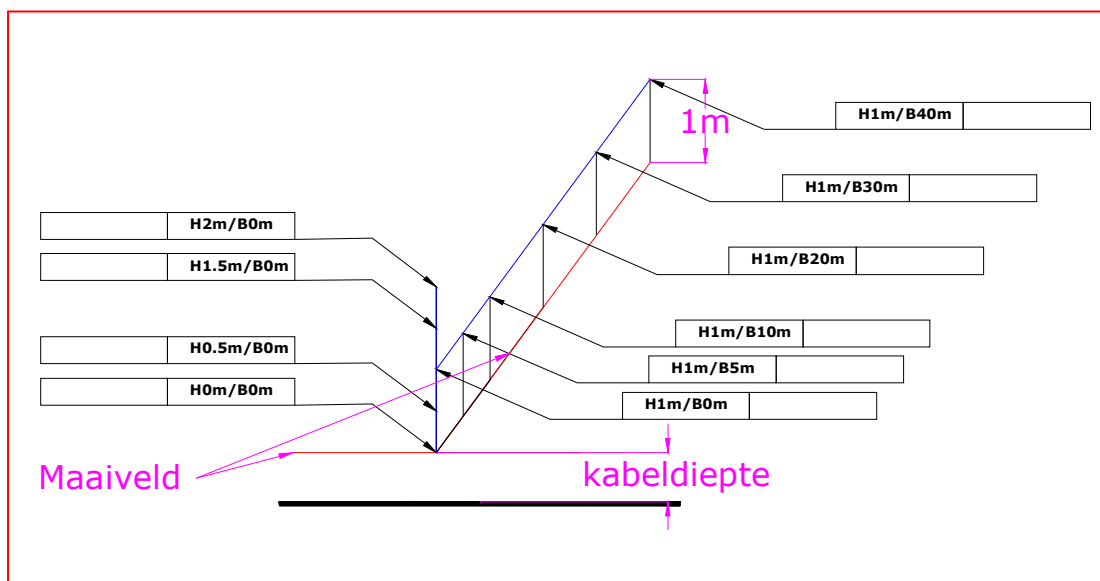
Figuur 4 illustreert de manier waarop de locatie van de ondergrondse kabels in de straat onder test (SOT) opgespoord wordt.



Figuur 4: Bepaling van ondergrondse kabellocatie

5.2.2 Meetschema

Figuur 5: toont het algemeen schema waarop alle metingen van het B-veld gebaseerd zijn.



Figuur 5: Algemeen meetschema

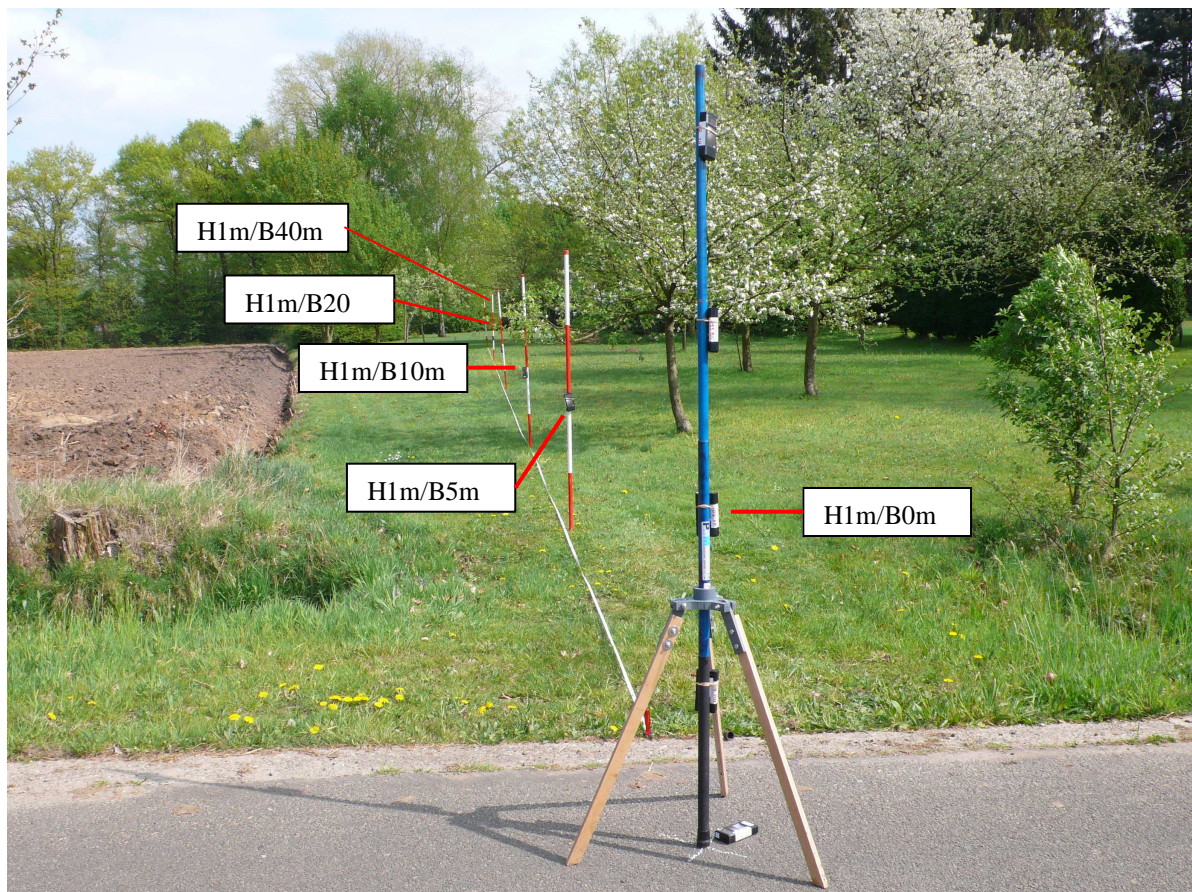
Het referentiepunt voor het vastleggen van alle andere meetpunten is het meetpunt H0m/B0m met:

- H0m = meethoogte op 0 m van het maaiveld
- B0m = meetbreedte op 0 m van de loodrechte projectielijn tussen kabel en maaiveld

De standaardhoogte waarop het B-veld steeds gemeten werd was 1 m (H1m) boven het maaiveld. De afname van het B-veld in de hoogterichting t.o.v. de kabel werd alleen in het

referentiepunt H0m/B0m gemeten en dit op een hoogte van 0, 0,5 m (H0,5/B0m), 1,5 m (H0,5/B0m) en 2 m (H0,5/b0m) boven het maaiveld. Aan de hand van deze gegevens kan de sterkte van het B-veld in ieder punt in de ruimte geïnterpoleerd of geëxtrapoleerd worden. De metingen die op een standaardhoogte van 1 m uitgevoerd werden gebeurden in de breedterichting op een afstand van 0 (H1m/B0m), 5 m (H1m/B5m), 10 m (H1m/B10m), 20 m (H1m/B20m), 30 m (H1m/0m) en 40 m (H0/B40m) van het referentiepunt H0m/B0m. Op die manier werd de magnetische fluxdichtheid (B-veld) van de verschillende kabeltypes (36, 70 en 150 kV) op 3 verschillende betrekkelijk ver uit elkaar liggende plaatsen gemeten. De diepteligging van de kabels varieerde van 0,80 m tot 1,30 m, de bodembedekking of structuur heeft geen invloed op de afzwakking van het B-veld.

De rechterzijde van het algemeen meetplan (figuur 5) en de meetopstelling die in figuur 6 geïllustreerd wordt tonen aan dat op een meethoogte van 1 m de sterkte van het B-veld in de breedterichting van de kabel telkens gelijktijdig op een afstand van respectievelijk 0, 5, 10, 20, 30 en 40 m geregistreerd werd. De registratieduur bedroeg in ieder meetpunt 15 minuten en het meetinterval 4 sec. De metingen gebeurden door middel van 6 EMDEX LITE monitors die ieder op een hoogte van 1 m op een afzonderlijk statief gemonteerd werden.

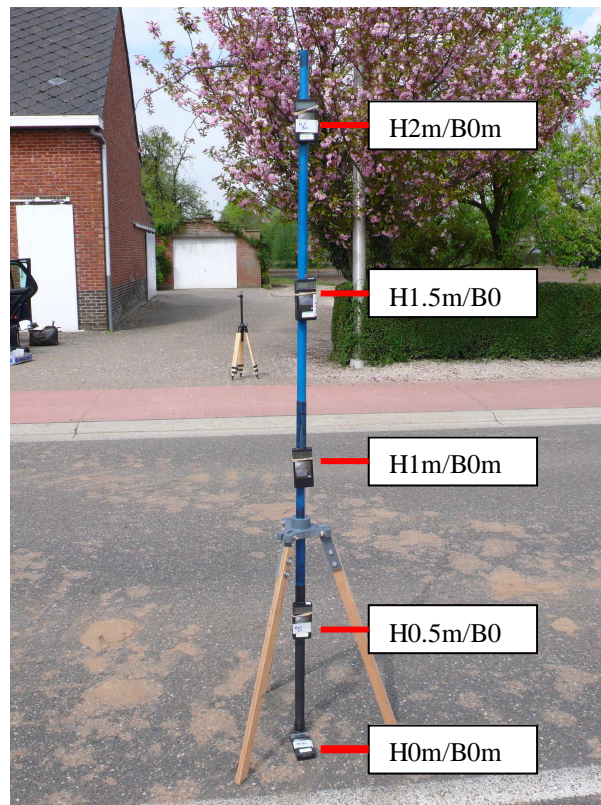


Figuur 6: Registratie van B-veld in de breedterichting van de kabel

Figuur 6 toont ook aan de registratie van het B-veld dat loodrecht op de kabel gemeten werd gelijktijdig gebeurde op een hoogte van 0, 0,5, 1, 1,5 en 2 m boven het maaiveld. Dit wordt duidelijker geïllustreerd in figuur 7 van de volgende rubriek.

5.2.3 Registratie van het B-veld in de hoogterichting

Figuur 7 toont de opstelling voor het gelijktijdig meten van het B-veld in de hoogterichting.



Figuur 7: Meetopstelling voor het meten van het B-veld in de hoogterichting

Nadat het statief met de Elf-monitors loodrecht op de ondergrondse kabel geplaatst was werd het B-veld gelijktijdig gedurende 15 minuten geregistreerd op 0, 0,5, 1, 1,5 en 2 m boven het maaiveld. Door het gelijktijdig registreren van het B-veld op de verschillende hoogtes werden de stroomschommelingen die het B-veld van de ene monitor t.o.v. de andere zouden kunnen beïnvloeden uitgefilterd. Door toepassing van deze methode is de enige verklarende variabele die de sterkte van het B-veld beïnvloedt de hoogte t.o.v. het maaiveld en bijgevolg t.o.v. de ondergrondse kabel. Het is de bedoeling om uit de hoogtemetingen een correctiefactor te berekenen die kan gebruikt worden in het analytisch model om de sterkte van het B-veld in ieder punt in de ruimte te berekenen.

5.2.4 Meetinstrumenten voor het registreren van het magnetisch veld

De mobiele metingen voor het opsporen van het maximaal B-veld en bijgevolg de ligging van de kabels werden uitgevoerd door middel van het LINDA Wheel waarop een EMDEX II Magnetic Field Meter gemonteerd werd. De meethoogte bedroeg 75 cm en het meetinterval 1,5 seconde.

De metingen die gebeurden door middel van vaste meetopstelling werden uitgevoerd met de isotropische 'LOW FIELD EMDEX LITE Magnetic Field Meters (40 Hz – 1 kHz; 0,01 – 70 μ T; true RMS)' (Enertech)

De specificaties van alle meetinstrumenten die in deze campagne gebruikt werden worden in de bijlagen weergegeven.

6 BEREKENING VAN DE STROOMBELASTING VAN DE KABELS

De stroom (I in Ampère (A)) die samen met de afstand de belangrijkste verklarende variabele vormt voor de sterkte van het magnetisch veld in een punt in de ruimte moet berekend worden door middel van de volgende formule:

$$I_{(A)} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{U\sqrt{3}} \times 1000$$

met

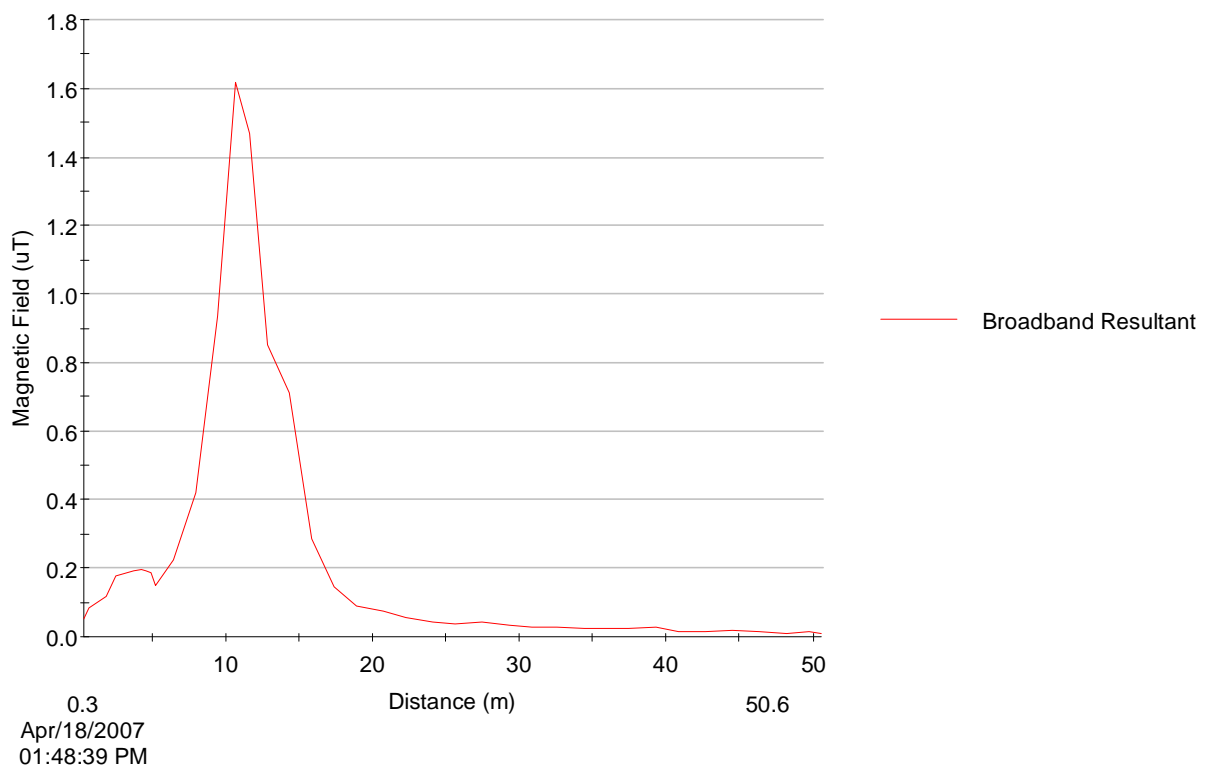
- $U\sqrt{3}$: de effectieve spanning in kV in elke geleider van het drie-fazig systeem
- P: het actief vermogen in MW
- Q: het reactief vermogen

Dit zijn de zogenaamde trendingsgegevens die tenminste één dag vóór dat de metingen op een bepaalde plaats uitgevoerd werden bij de dispatching van ELIA moesten aangevraagd worden.

7 RESULTATEN VAN HET GEMETEN MAGNETISCH VELD

7.1 Piekwaarden ter voor het bepalen van de ondergrondse kabelpositie

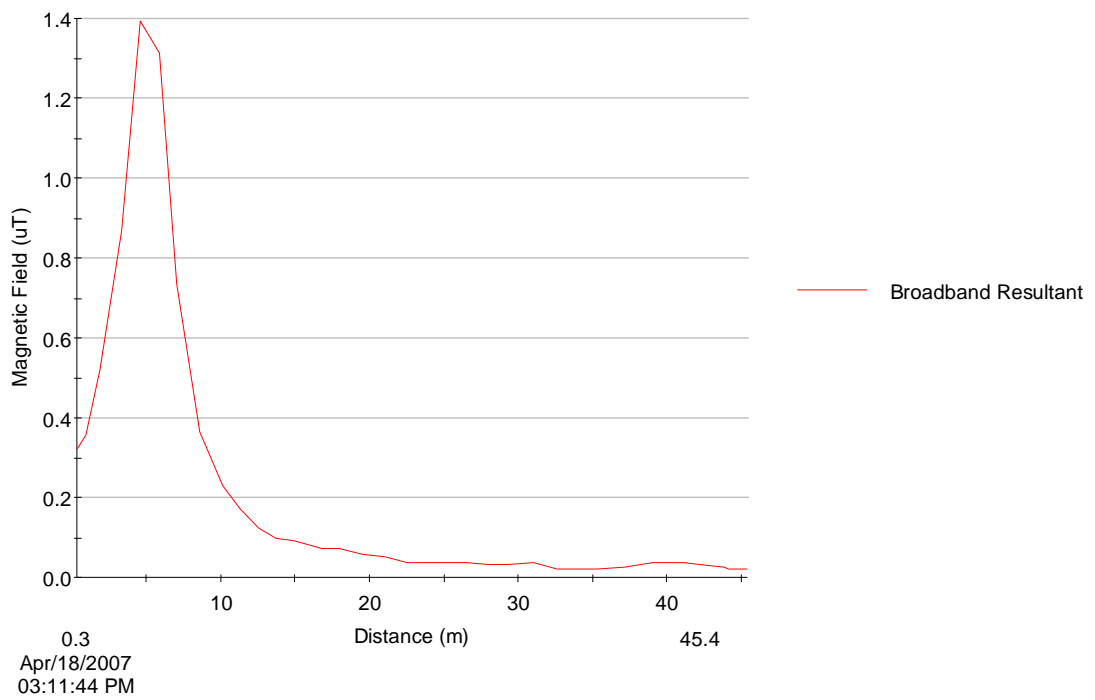
De figuren 8 tot 10 werden bekomen door met het LINDA Wheel dwars over de respectievelijke straten van de drie verschillende meetplaatsen (zie wereldcoördinaten) van de lijn 150/354 te rollen terwijl de magnetische fluxdichtheid (B-veld) op een hoogte van 75 cm geregistreerd werd aan een meetinterval van 1,5 sec.. De piekwaarde van het B-veld bevindt zich loodrecht op de ondergrondse kabel.



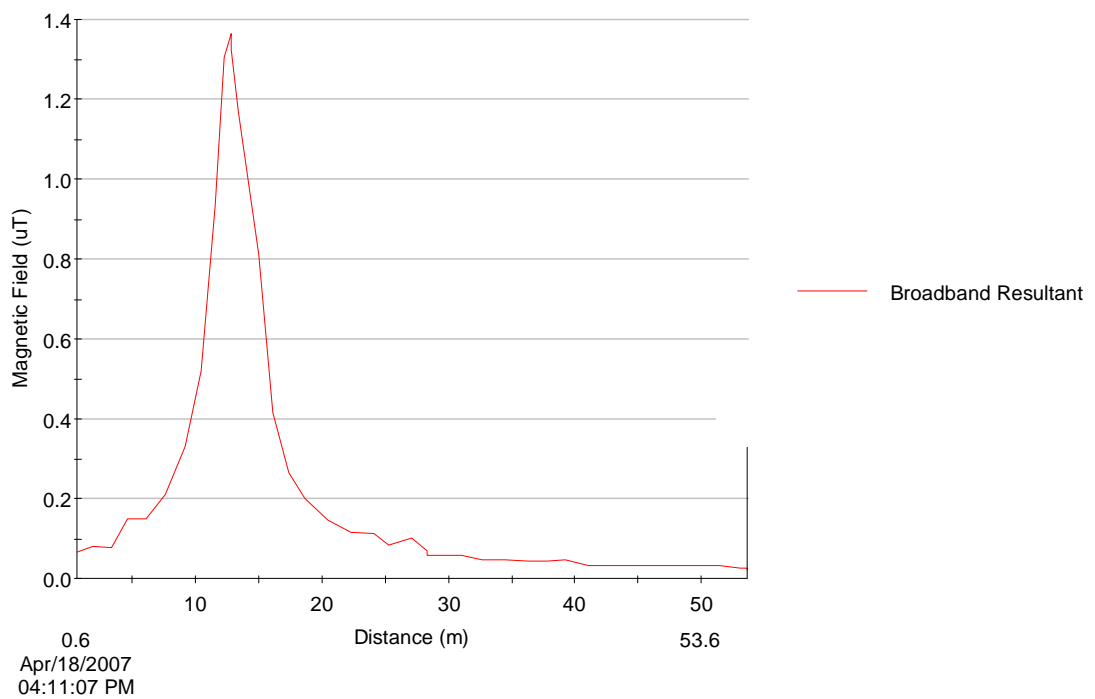
Figuur 8: Verloop van B-veld op meetplaats 1 van lijn 150/354

Op deze meetplaats liggen de ondergrondse kabels op een 12-tal m (= loodrecht onder piekwaarde van 1.6 μT) van het startpunt (0.0) van het meettraject dat zich uitstrekt over een breedte van 50 m.

Op de volgende meetplaatsen (figuren 9 en 10) liggen de kabels respectievelijk op een vijf- en veertiental meter van het startpunt van het dwarse meettraject.



Figuur 9: Verloop van B-veld op meetplaats 2 van lijn 150/354

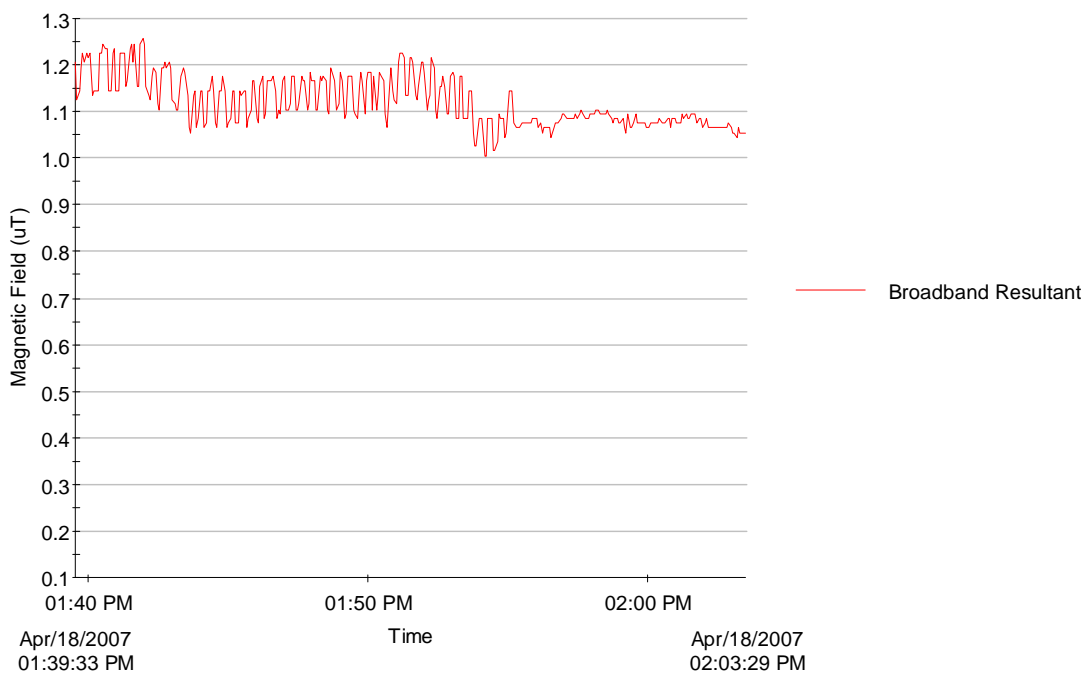


Figuur 10 Verloop van B-veld op meetplaats 3 van lijn 150/354

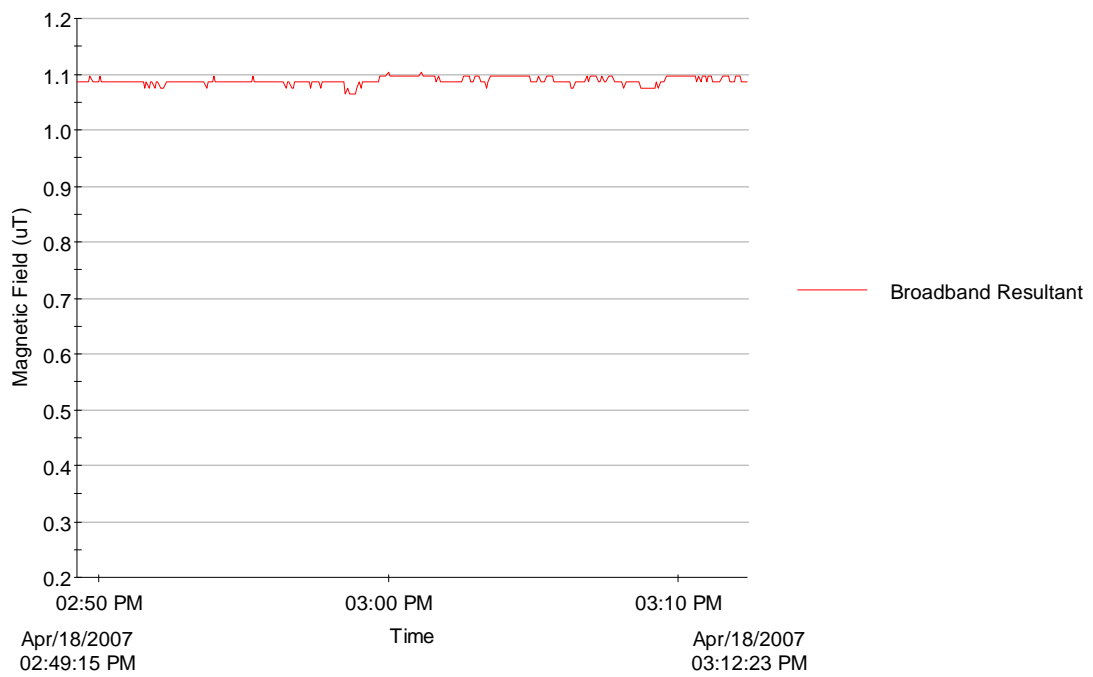
Op die manier werd de ondergrondse positie van alle kabels die bemonsterd werden opgespoord.

7.2 Verdeling van magnetische fluxdichtheid (B-veld) in de tijd

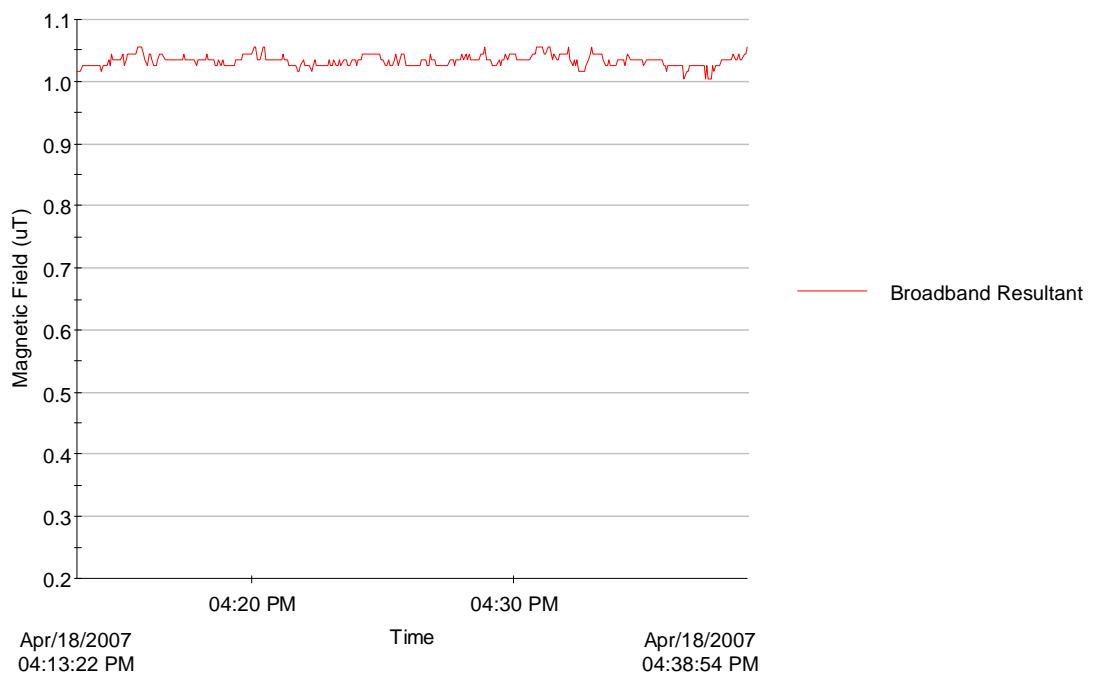
De figuren 11 tot 13 tonen het verloop van het B-veld in de drie meetplaatsen over een periode van tenminste 15 minuten.



Figuur 11: B-veld versus tijd op meetplaats 1 van lijn 150/354



Figuur 12: B-veld versus tijd op meetplaats 2 van lijn 150/354



Figuur 13: B-veld versus tijd op meetplaats 3 van lijn 150/354

Het tijdverloop van het B-veld is vrij constant zodat het gemiddelde van de resultante van het B-veld zal genomen worden om de nauwkeurigheid en de betrouwbaarheid van het model te verifiëren.

Op die manier werd het B-veld in alle meetpunten gedurende tenminste 15 minuten geregistreerd. Om stroomverschillen die de grootte van het B-veld in het ene meetpunt t.o.v. het andere zouden kunnen beïnvloeden te vermijden werd op iedere meetplaats het B-veld gelijktijdig (synchroon) in alle meetpunten (0 – 40 m op 1 m boven het maaiveld in de breedterichting en van 0 tot 2 m boven het maaiveld op referentiemeetpunt H0m/B0m in the hoogterichting) geregistreerd.

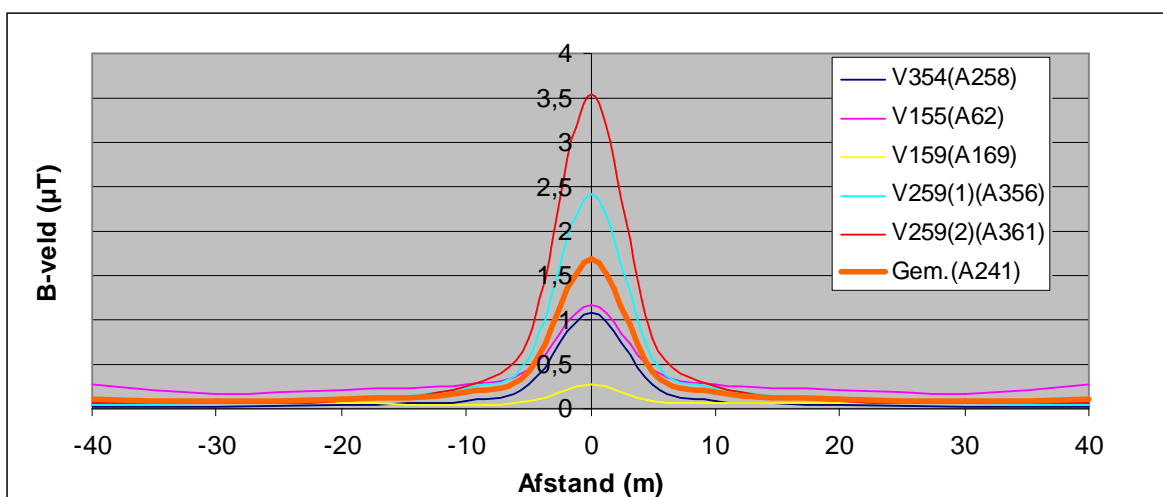
7.3 Magnetische fluxdichtheid (B-veld) versus horizontale afstand

De waarde die de grootte van het B-veld in de volgende rubrieken weergeeft is de gemiddelde waarde die berekend werd over een registratieduur van tenminste 15 minuten in alle meetpunten. Aangezien de figuren 11, 12, 13 en de overige ongepubliceerde figuren aantonen dat de locatie- en dispersieparameters (gemiddelde, mediaan, modus, maximum, variatie, standaardafwijking enz.) van het gemeten B-veld omzeggens gelijk zijn wordt op deze manier gelijktijdig de meest realistische en meest ongunstige blootstelling in de volgende rubrieken weergegeven.

7.3.1 B-veld van 150 kV kabels

7.3.1.1 B-veld versus dwarse afstand

Figuur 14 toont de afname van het B-veld dat gemeten werd op een hoogte van 1 m i.f.v. de dwarse afstand tot de ondergrondse kabel.



Figuur 14: B-veld van 150 kV-kabel versus horizontale afstand

Samenvattend, de figuur werd opgesteld op basis van de resultaten van:

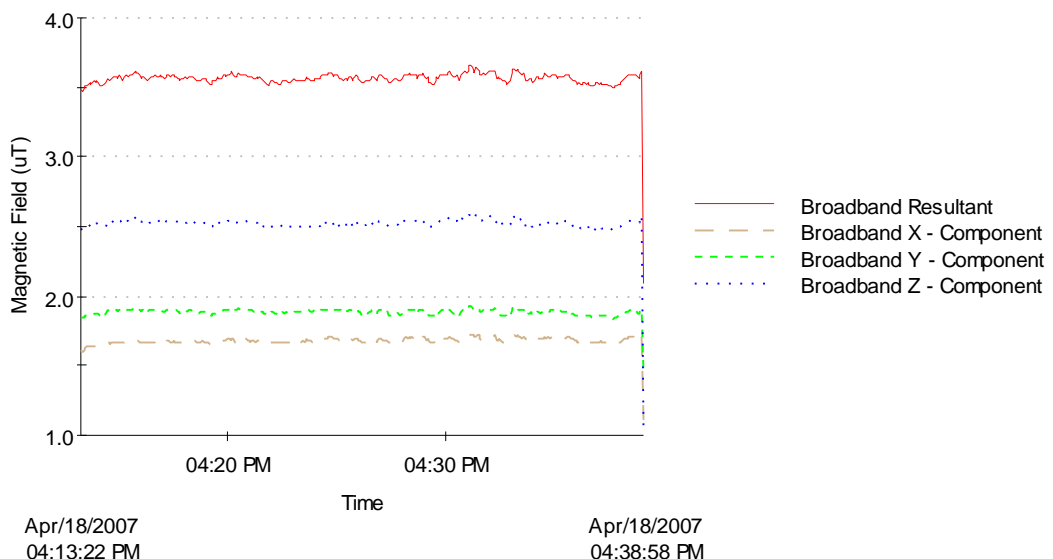
- 5 verbindingen (V354 – V259 toont kabelnummer aan);
- 3 meetplaatsen per verbinding (A258 – A259 is de gemiddelde stroom van de kabels in de 3 meetplaatsen).;
- 5 dwarse meetafstanden (0 – 40 m) waarin het B-veld telkens gedurende 15 minuten geregistreerd werd;
- de eigenschappen van de kabels die in tabel 5 weergegeven worden;
- ongekende diepte van de kabelligging;
- klaverbladstructuur



Figuur 14 toont aan dat het maximaal B-veld dat gemeten werd op 1 m loodrecht boven het maaiveld van de ondergrondse kabel $3.5 \mu\text{T}$ bedroeg en sterk afneemt met de afstand. Op een afstand van 10 m is de veldsterkte die onder alle omstandigheden gemeten werd ongeveer gelijk aan of kleiner dan $0,25 \mu\text{T}$.

7.3.1.2 B-veld versus tijd

Figuur 15 toont aan dat het tijdsverloop van de sterkte van het B-veld dat gedurende een 15-tal minuten geregistreerd werd op 1 m boven het maaiveld van de verbinding V259 constant is. Dit toont aan dat de locatie- en dispersieparameters ook op deze meetplaats niet van elkaar afwijken i.f.v. de tijd.



Figuur 15: B-veld registratie 1 m boven het maaiveld van verbinding V259(2)

De B-veldsterkte (rms) van figuur 15 is meer dan 20-keer kleiner dan de ICNIRP (1998) blootstellingslimiet van $100 \mu\text{T}$ (zie tabel 1) waaraan het algemene publiek doorlopend mag blootgesteld worden.

7.3.1.3 B-veld versus stroom en diepteligging van de kabels

Aangezien de B-veldsterkte boven het maaiveld vooral bepaald wordt door de stroombelasting en de diepteligging van de kabels blijkt uit figuur 14 dat:

- de ene kabel dichter bij het maaiveld zou kunnen liggen dan de andere
en/of
- gemeten werd op plaatsen waar het schermeffect van kabel en/of bodem op de ene plaats groter zijn dan op de andere plaats

Deze veronderstellingen zijn gebaseerd op het feit dat ofschoon de stroom van de verbinding V155(A62) met slechts een stroombelasting van 62 A een sterker B-veld produceert dan de verbindingen V354(A259) en V159(A169) met respectievelijk een stroombelasting van 259 A en 169 A.

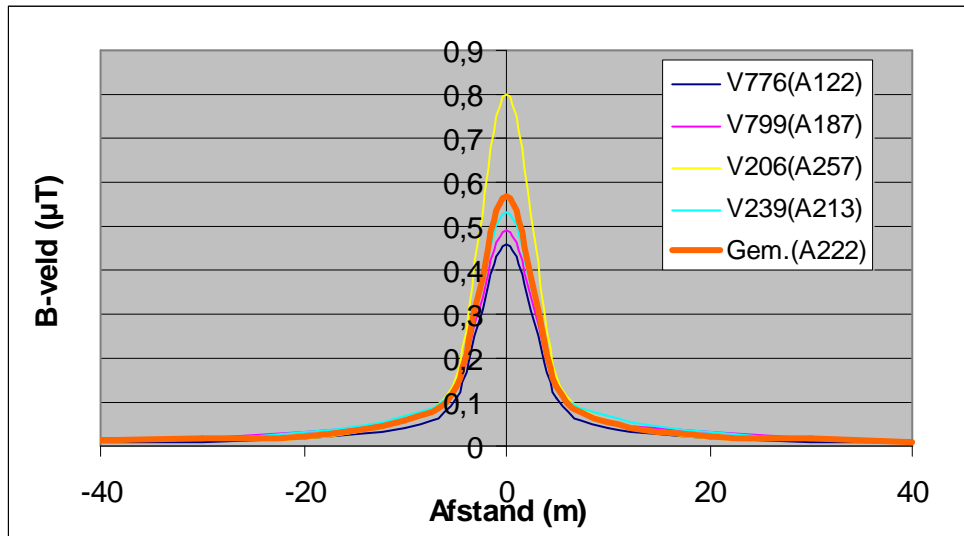
7.3.2 B-veld van ondergrondse 70 kV kabels

7.3.2.1 B-veld versus dwarse afstand

Figuur 16 toont de veldsterkte van de 70 kV kabels i.f.v. de afstand voor een meethoogte van 1 m boven het maaiveld.

Samenvattend, figuur 16 werd opgesteld op basis van de resultaten van:

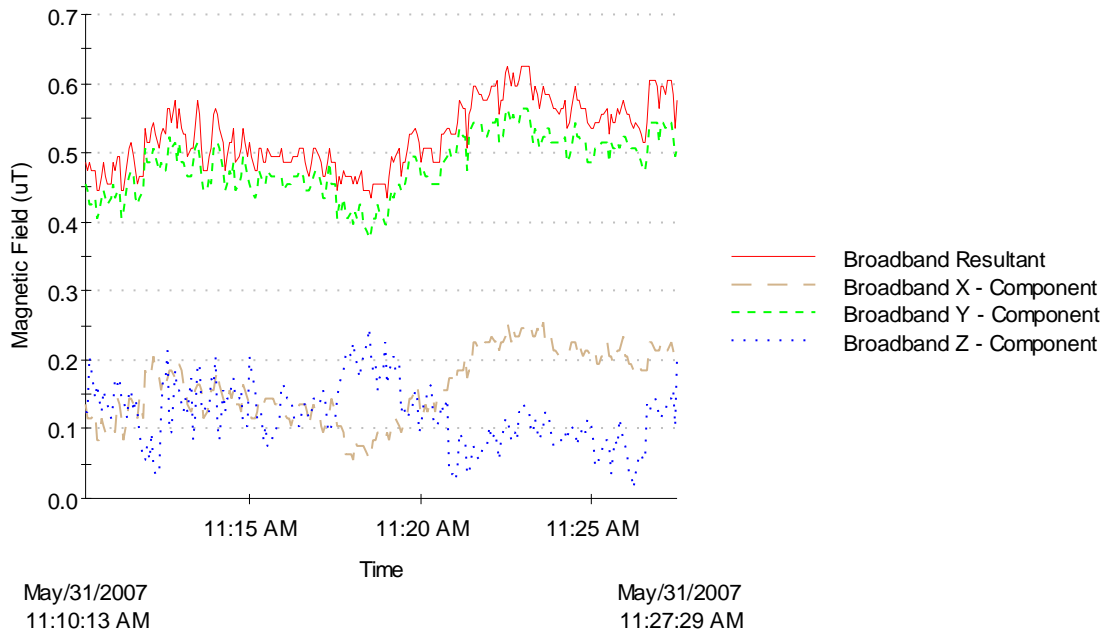
- 4 verbindingen (V776 – V239): toont het kabelnummer aan);
- 3 meetplaatsen per verbinding (A122 – A257 is de gemiddelde stroom van de kabels in de 3 meetplaatsen);
- 5 dwarse meetafstanden (0 – 40 m) waarin het B-veld telkens gedurende 15 minuten geregistreerd werd;
- de eigenschappen van de kabels die in tabel 5 weergegeven worden;
- ongekende diepte van de kabelligging;
- klaverbladstructuur



Figuur 16: B-veld van 70 kV-kabel versus horizontale afstand

Het maximaal gemeten veld bedroeg 0.8 μT , dit is meer dan 100-keer kleiner dan de blootstellingslimiet die door ICNIRP (1998) voor de algemene bevolking aanbevolen wordt. Ook hier neemt de veldsterkte sterk af met de afstand en op een tiental meter is ze zelfs gereduceerd tot minder dan 0,1 μT .

7.3.2.2 B-veld versus tijd



Figuur 17: B-veld registratie 1 m boven het maaiveld van verbinding V206

Het tijdsverloop van het B-veld is hier ook weer vrij constant, zodat slechts geringe verschillen tussen de statistieken voor het beschrijven van de blootstelling optreden

7.3.2.3 B-veld versus stroom en diepteligging van de kabels

Figuur 16 illustreert dat de grootte van het B-veld toeneemt wanneer de stroomsterkte toeneemt. Verder zijn geen abnormale invloeden merkbaar.

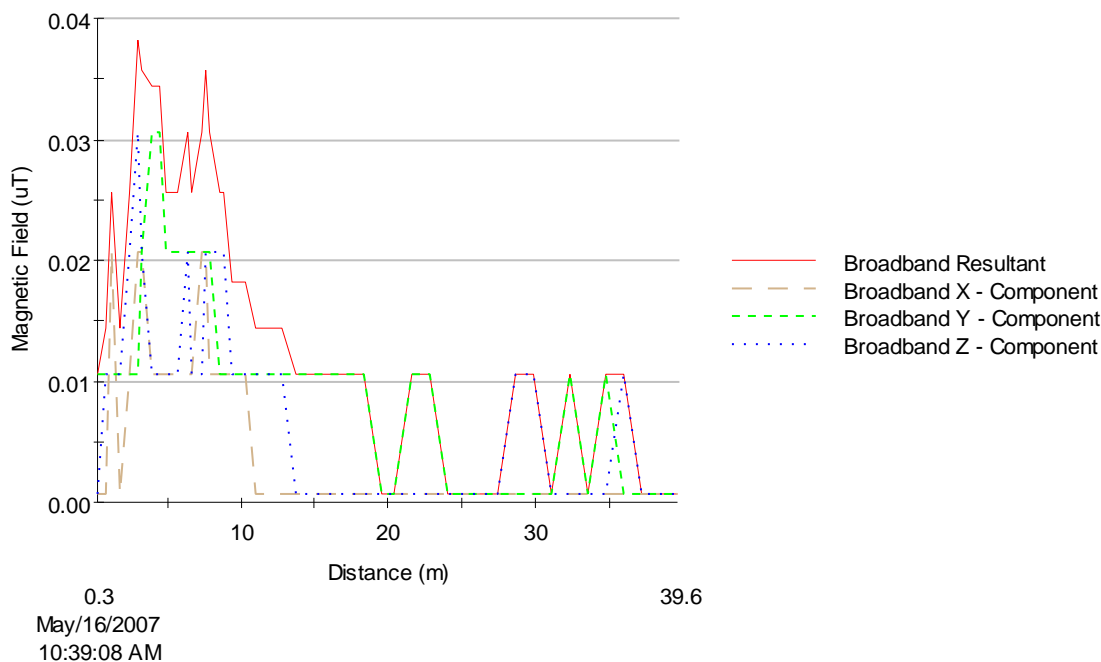
7.3.3 B-veld van ondergrondse 36 kV kabels

7.3.3.1 B-veld versus dwarse afstand

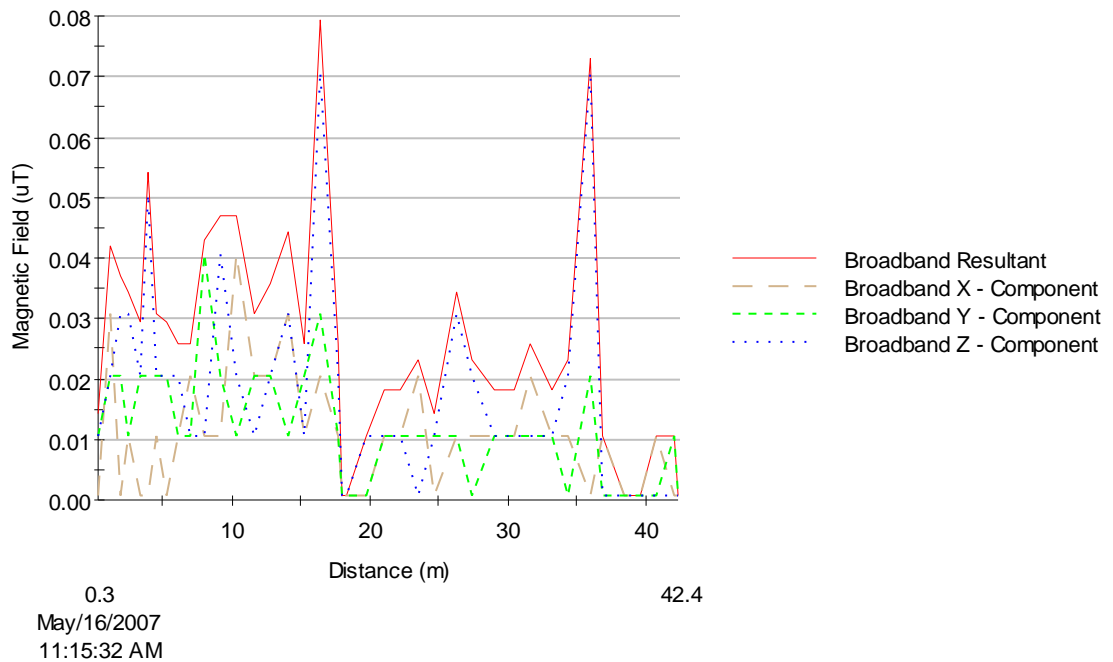
7.3.3.1.1 Probleem bij 36 kV kabels

Het probleem dat bij de meetcampagne van deze kabels ondervonden werd is dat de 36 kV kabels meestal samen in een sleuf liggen met 12 kV kabels van het distributiekabelnet. De kabels van het distributie- en het hoogspanningsnet werden weleer om kostenbesparende redenen in dezelfde sleuf gelegd. De distributiekabels behoren toe aan de distributienetbeheerders en de 36 kV-kabels aan ELIA.

Figuur 18 en Figuur 19 tonen de bi-modale verdeling van het B-veld dat veroorzaakt wordt door de aanwezigheid van beide kabelsoorten in dezelfde sleuf.



Figuur 18: Verdeling van B-veld 1 m boven het maaiveld van de twee soorten kabels (Meetplaats 1: kabelnummer 36/055)



Figuur 19: Verdeling van B-veld 1 m boven het maaiveld van de twee soorten kabels (Meetplaats 2: kabelnummer 36/055)

Voor dezelfde verbinding liggen beide kabelsoorten op de ene plaats dicht bij elkaar dan op de andere plaats: in de meetplaats waarvan het B-veldprofiel in figuur 18 gegeven wordt liggen beide kabels binnen een afstand van 10 m van elkaar terwijl dit in figuur 19 ongeveer een 20-tal meter is.

Het is niet duidelijk wat het additioneel effect op de grootte van de totale B-veldsterkte is. Het belangrijkste is echter dat uit de resultaten van beide figuren blijkt dat de piekveldsterkten die respectievelijk van beide kabels afkomstig zijn klein zijn t.o.v. de blootstellingslimiet.

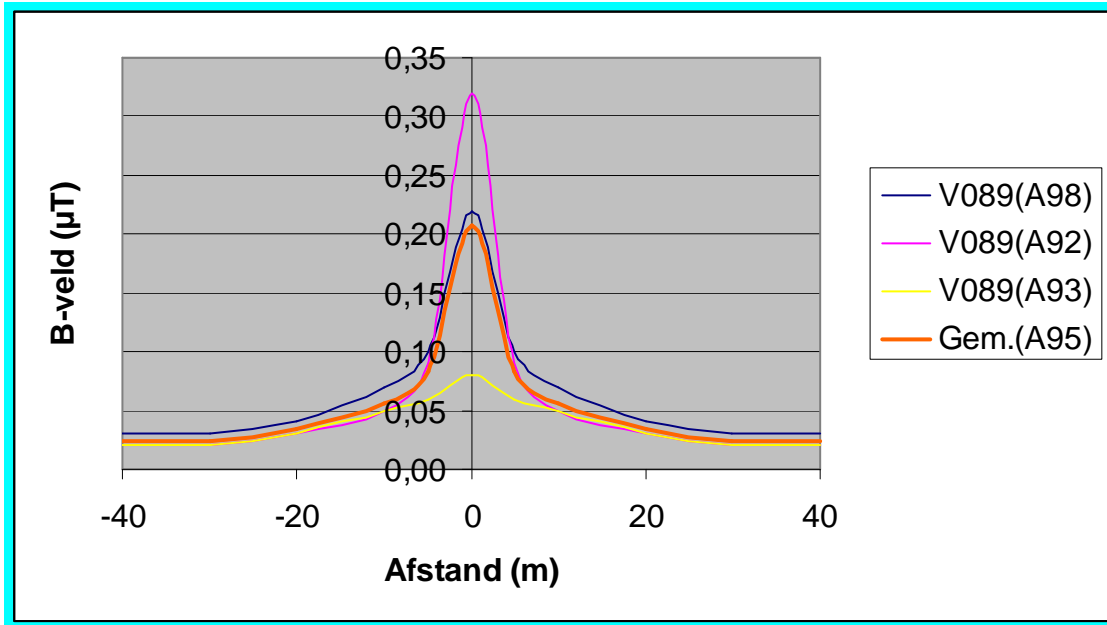
7.3.3.1.2 B-veld van alleenliggende 36 kV kabels

7.3.3.1.2.1 B-veld versus dwarse afstand

Samenvattend, Figuur 20 werd opgesteld op basis van de resultaten van:

- 1 alleenliggende verbinding (V089: toont het kabelnummer aan);
- 3 meetplaatsen per verbinding (A92 – A98 is de stroom van de kabels in de 3 meetplaatsen);

- 5 dwarse meetafstanden (0 – 40 m) waarin het B-veld telkens gedurende 15 minuten geregistreerd werd;
- de eigenschappen van de kabels die in tabel 5 weergegeven worden;
- ongekende diepte van de kabelligging
- klaverbladstructuur

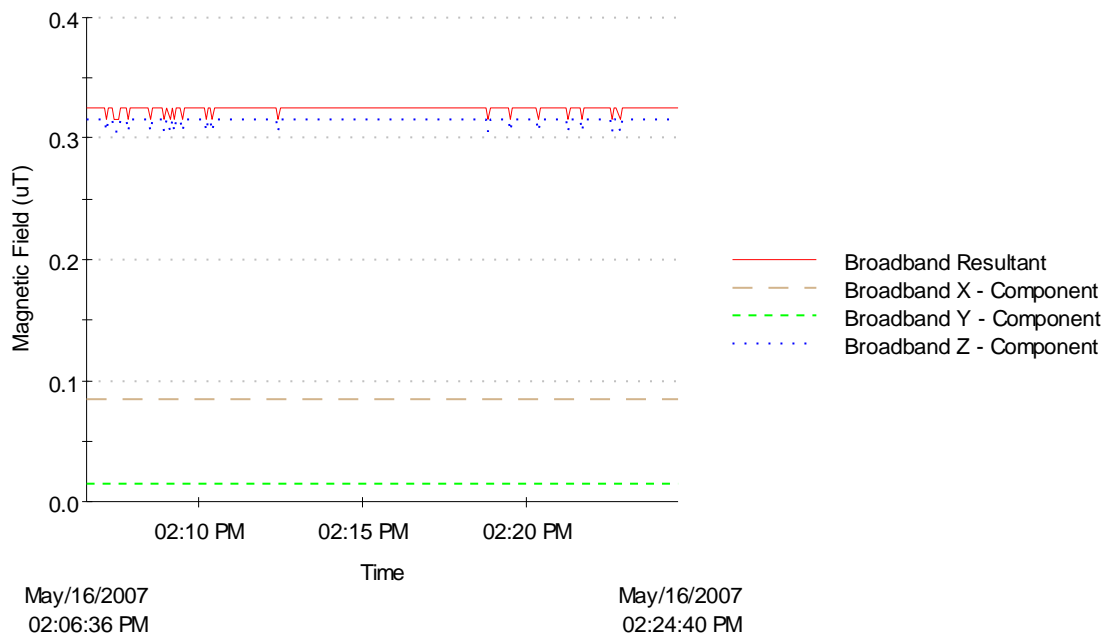


Figuur 20: B-veld van 36 kV-kabel versus horizontale afstand

Uit deze figuur kunnen we besluiten dat de maximale veldsterkte zwak is t.o.v. de 100 µT blootstellingslimiet van de ICNIRP(1998)-richtlijn en de Aanbevelingen van de Raad van Europa (1999/519/EC). Op een 10-tal meter is de veldsterkte zwakker dan 0.10 µT. Aangezien de epidemiologische drempelwaarde van 0,4 µT in geen enkele nationale of internationale blootstellingsrichtlijn of –norm als een limietwaarde opgenomen is, worden de gemeten veldsterkten met deze waarde niet vergeleken. Daarenboven werden de metingen niet binnenshuis maar buitenshuis uitgevoerd. Dit is ook de reden waarom de bekomen meetwaarden niet vergeleken werden met de Vlaamse binnenshuis kwaliteitsnormen met een richtwaarde van 0,2 µT en een interventiewaarde van 10 µT. In het perspectief van het inschatten van het bijkomend risico op mogelijke kinderleukemie worden de corridors van de 0,4 µT drempelwaarden en de Vlaamse kwaliteitsnormen in de hoofdstukken 10 en 11 berekend en uitvoerig besproken.

7.3.3.1.2.2 B-veld versus tijd

Figuur 21 toont aan dat het tijdverloop van het B-veld over een kwartierregistratie zeer constant is.



Figuur 21: B-veld registratie 1 m boven het maaiveld van verbinding V089

7.3.3.1.2.3 B-veld versus stroom en diepteligging van de kabel

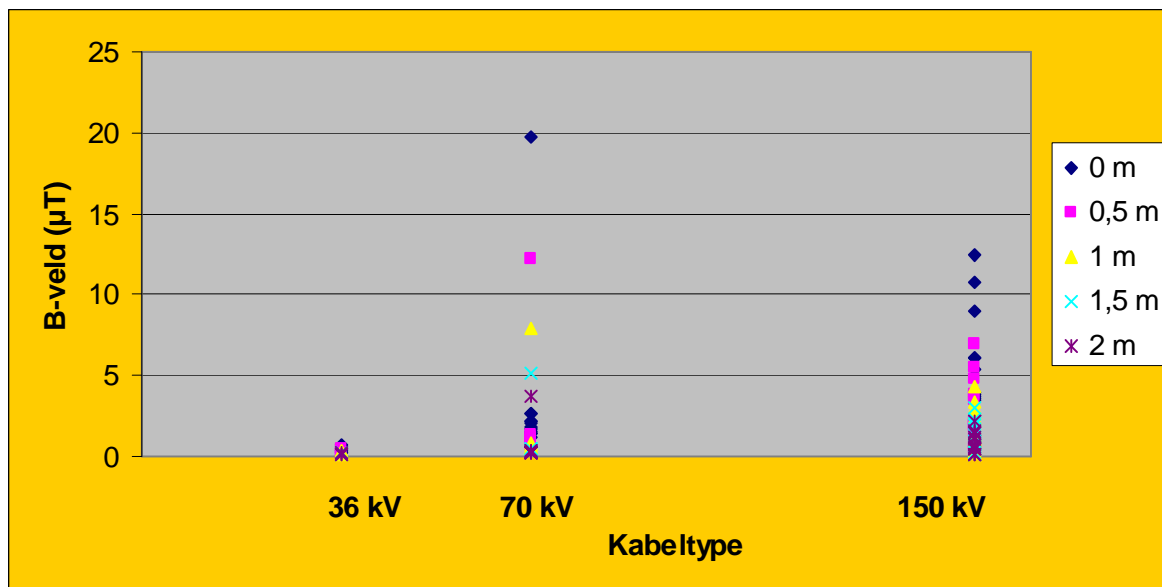
Uit de vergelijking van de stromen met de sterkte van het B-veld in figuur 20 blijkt dat de diepteligging van de kabel niet op alle meetplaatsen dezelfde is: ofschoon de stroom op meetplaats V089(A98) groter is dan die van V089(A92) is de velsterkte op deze laatste meetplaats groter dan op de vorige meetplaats.

7.4 Magnetische fluxdichtheid (B-veld) versus verticale afstand

7.4.1 Partiële lichaamsblootstelling

Hiermee wordt de blootstelling bedoeld die i.f.v. de meethoogte overeenkomt met een bepaald lichaamsdeel, dit om een onderscheid te maken met de gehele lichaamsblootstelling die overeenkomt met de sterkte van het B-veld dat over de verschillende hoogtes uitgemiddeld wordt en in de volgende rubriek besproken wordt.

Figuur 22 toont het strooidiagram van de sterkte van het B-veld dat op de verschillende hoogtes (0 m – 2 m zie legende figuur) boven het maaiveld van de verschillende kabeltypes waargenomen werd. De figuur is gebaseerd op 155 meetpunten (5 hoogtes x 31 meetpunten voor alle kabels samen) waarin het B-veld gedurende tenminste 15 minuten in alle hoogtes gelijktijdig geregistreerd werd. Iedere meetwaarde die in de figuur voorkomt is de sterkte van het B-veld dat uitgemiddeld werd over de registratieduur.



Figuur 22; Strooidiagram van B-veld geregistreerd op verschillende hoogtes van de verschillend kabeltypes

Uit deze figuur wordt afgeleid dat, op enkele uitzonderingen na, de waarnemingen per kabeltype betrekkelijk coherent zijn.

De grootste veldsterkte ($20 \mu\text{T}$) werd waargenomen op het maaiveld (H0m/B0m) boven een van de 70 kV-kabels. De grootste waarde die op het maaiveld boven de 150 kV-kabel waargenomen werd bedroeg $13 \mu\text{T}$ en voor wat de 36 kV-kabels betreft is de maximale waarde ongeveer gelijk aan $1 \mu\text{T}$.

De maximaal geregistreerde gemiddelde B-veldwaarde is 5-keer kleiner is dan de ICNIRP (1998) limietwaarde.

Uit figuur 22 kan tevens besloten worden dat de veldsterkte niet altijd evenredig is met de nominale spanning van de kabel. Doordat op het ogenblik van de veldregistratie meer stroom vloeide door de 70 dan door de 150 kV kabel was het B-veld sterker in de kabel met de laagste nominale spanning.

Indien men echter de veldsterkte uitmiddelt over de hoogte toont figuur 23 aan dat globaal gezien de grootte van het B-veld evenredig is met de nominale spanning.

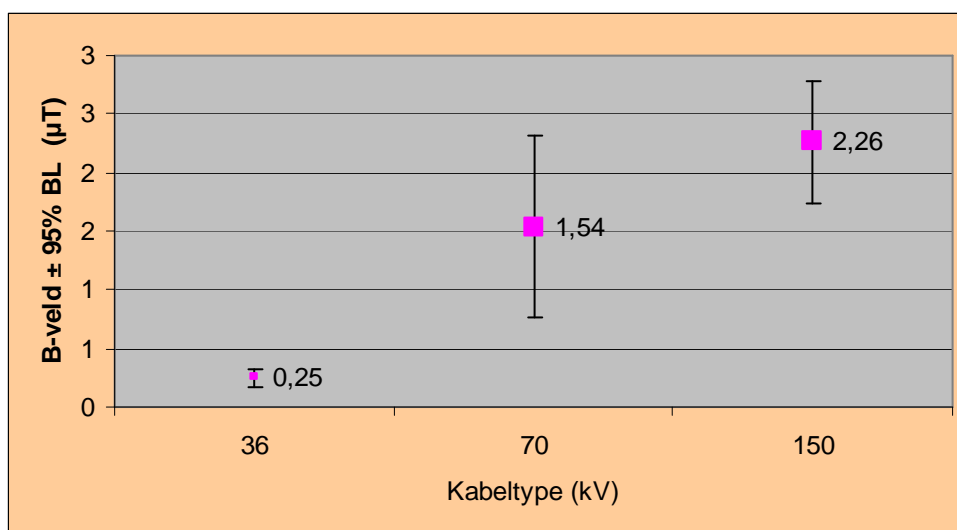
7.4.2 Gehele lichaamsblootstelling

De gehele lichaamsblootstelling die kan plaatsvinden wanneer een persoon op het maaiveld boven een van de bemonsterde kabels staat wordt gevonden door het gemiddelde te maken van de veldsterkte die op de respectievelijke hoogtes (0 – 2 m) gemeten werd. Merk op dat de meethoogten die in dit document gebruikt werden niet afgestemd werden op de gemiddelde lengte van een kind. Het gebruik van 5 verticale meetpunten met de extremen 0 en 2 m hebben tot doel om eventuele interpolaties naar willekeurige lichaamslengten zo nauwkeurig mogelijk door te voeren.

De uiteindelijke waarde die in figuur 23 weergegeven wordt werd bekomen uit:

- B-veld uitgemiddeld over 15 minuten per kabeltype
- Tijdsmiddelen uitgemiddeld over een hoogte van 0, 0,5, 1, 1,5 en 2 m

Figuur 23 toont de gehele lichaamsblootstelling ($\pm 95\%$ betrouwbaarheidsinterval) indien een persoon van maximum 2 m op het maaiveld boven een van de verschillende kabeltypes staat.



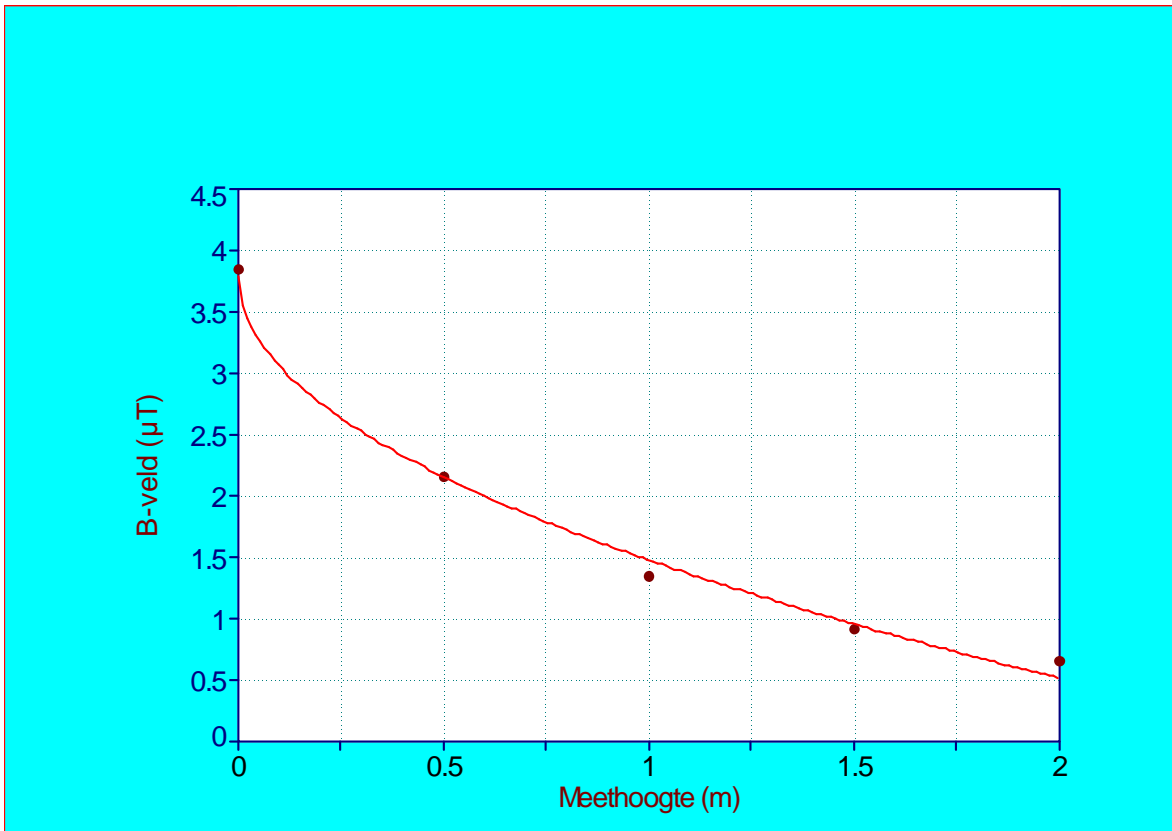
Figuur 23: Gehele lichaamsblootstelling per kabeltype

Eenzijds kan uit deze figuur besloten worden dat de gehele lichaamsblootstelling boven ieder kabeltype merkbaar kleiner is dan de 100 μT blootstellingslimiet. Anderzijds is ze vanaf 70 kV groter dan de epidemiologische drempel van 0,4 μT . Op deze problematiek wordt in hoofdstuk 9 uitvoerig ingegaan.

7.4.3 Afname van het B-veld i.f.v. de hoogte

Om te bepalen welke de afname van de sterkte van het B-veld is i.f.v. de hoogte werd voor de drie kabeltypes en het gemiddelde ervan de bestpassende curve bepaald.

Figuur 24 toont het verloop van de geobserveerde (rode bolletjes) en berekende (lijncurve) sterkte van het B-veld versus de meethoogte. Per meethoogte werd het B-veld uitgemiddeld over de verschillende kabeltypes.



Figuur 24: B-veld uitgemiddeld over de drie kabeltypes versus meethoogte

De bestpassende curve voor het beschrijven van de afname van het B-veld in functie van de hoogte is:

$$Y = a + bx^{1/2}$$

met:

- a = de intercept
- b = de hellingscoëfficiënt
- x = hoogte in m

Tabel 6 geeft een overzicht van deze parameters per kabeltype enerzijds en van het B-veld uitgemiddeld over de kabeltypes waarop figuur 24 gebaseerd is anderzijds.

Tabel 6: Curve fitting parameters

Coëfficiënt	Kabeltype (kV)			Gemiddeld
	36	70	150	
a	0,42	1,80	4,84	3,79
b	-0,20	-1,15	-2,96	-2,32
r	0,99	0,97	0,98	0,98

r = correlatiecoëfficiënt tussen geobserveerde en berekende waarden

Op basis van de gegevens van tabel 6 kan de sterkte van het B-veld in gelijk welk punt in de hoogte boven het maaiveld van de verschillende kabeltypes en het gemiddelde van de kabeltypes berekend worden. De correlatiecoëfficiënt (r) toont aan dat er een goede overeenkomst is tussen de geobserveerde en de berekende veldsterkte.

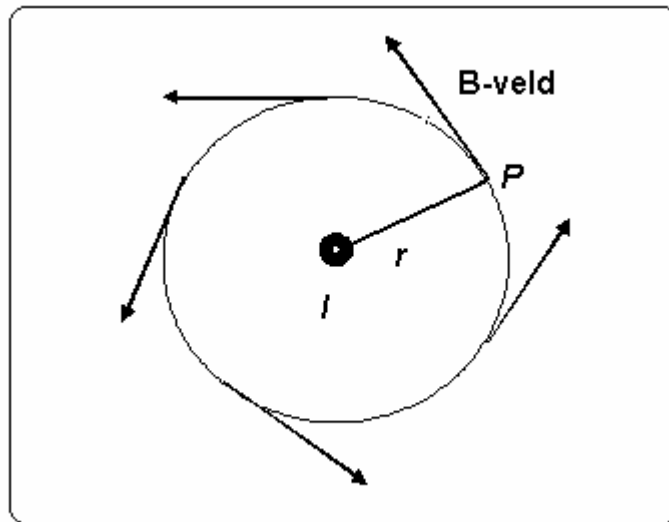
Zo is bijvoorbeeld het te verwachten B-veld op een hoogte van 1,75 m boven het maaiveld in het punt op de 150 kV-kabel (door toepassing van $Y = 4,84 + (-2,96\sqrt{1,75})$) $0,92 \mu\text{T}$.

8 ANALYTISCH BLOOTSTELLINGSMODEL

Hier wordt een analytisch model gemaakt dat de magnetisch veldsterkte berekent in functie van de kabelparameters (stroom, materiaal, sectie, ...), de kabelconfiguratie (vlak of klaverblad), de diepte van de kabels onder het maaiveld, de meethoogte t.o.v. het maaiveld en meetbreedte t.o.v. de loodrechte projectielijn op de kabels. Het analytisch model wordt, na validatie met behulp van berekeningen met een eindig elementen software pakket en op basis van de meetresultaten, verder gebruikt voor de opbouw van het GIS-model om de blootstelling van de algemene bevolking in kaart te brengen.

8.1 Modelbenadering voor het magnetisch veld

Figuur 25 illustreert de magnetische fluxdichtheid of het magnetisch inductieveld (B-veld) van een stroom (I) doorheen een rechte geleider (cfr. luchtlijn of ondergrondse kabel). Indien de stroom vanuit het scherm of papier naar ons toe komt, krijgt men het beeld van de zin van de krachtlijnen van het B-veld die bepaald kunnen worden aan de hand van de kurkentrekkerregel (of de rechterhandregel).



Figuur 25: Magnetisch inductieveld van een rechte geleider

Schroeft men een kurkentrekker in de zin van de stroom dan wordt de zin van het B-veld gegeven door de draaizijn van de kurkentrekker.

De grootte van het B-veld wordt in het punt (P) op een afstand (r) van de geleider gegeven door:

$$\text{Formule 1} \quad B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

met:

- μ_0 = permeabiliteit of het doordringvermogen van de magnetische flux in het luchtledige en in lucht: $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m} = 12,57 \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$.
- I = stroom (A) per fase
- $2\pi r$ = cirkelomtrek

De permeabiliteit van een andere stof dan lucht wordt bekomen door μ_0 te vermenigvuldigen met de relatieve permeabiliteit van die bepaalde middenstof ($\mu = \mu_0 \mu_r$), die aangeeft hoeveel keer de permeabiliteit van een bepaalde middenstof groter of kleiner is dan die van het luchtledige.

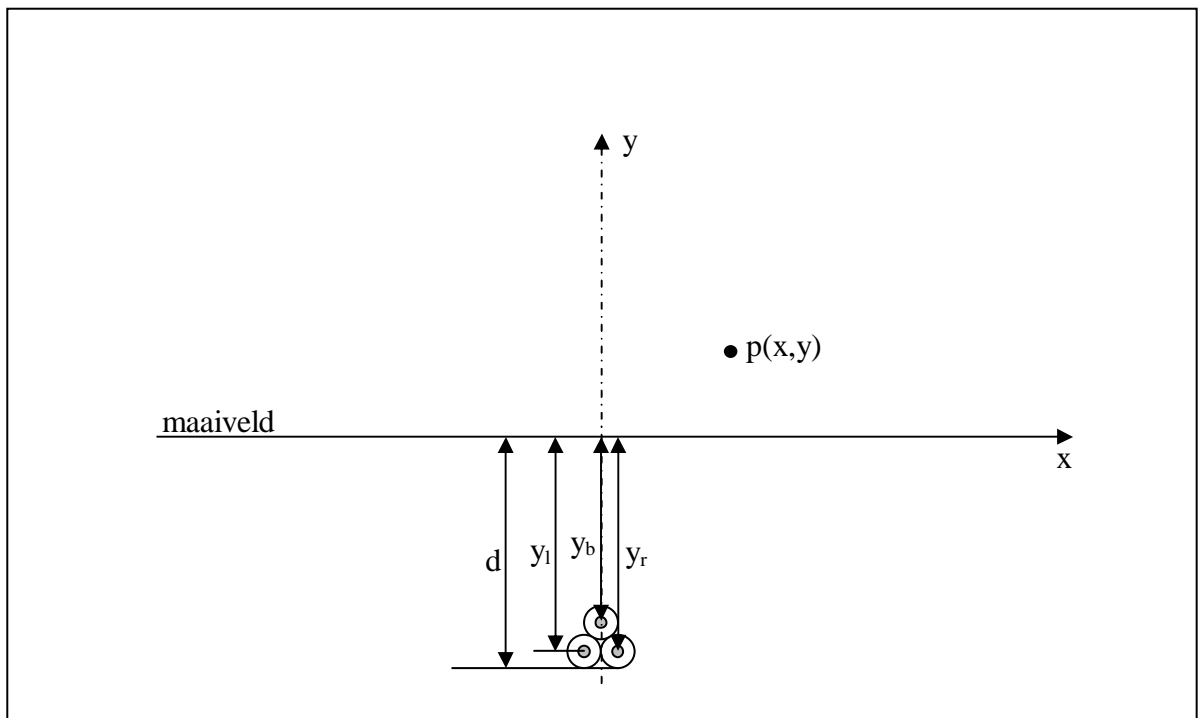
Voor de berekening van het magnetisch veld moet geen rekening gehouden worden met de invloed van de aarde, omdat deze verwaarloosbaar is voor de verdeling van het magnetisch veld rond de geleiders. De reden hiervoor is tweevoudig:

- De relatieve permeabiliteit van de aarde is ongeveer gelijk aan 1 (zoals voor lucht), wat betekent dat de aarde als het fysische vervolg van de lucht beschouwd kan worden (m.a.w. de veldlijnen lopen gewoon door);

- De elektrische geleidbaarheid van de aarde is klein, zodat de stromen die in de aarde geïnduceerd worden zo klein zijn dat hun effect op het magnetisch veld te verwaarlozen is.

Figuur 26 geeft een typisch beeld van een ondergrondse hoogspanningslijn. Het gearceerde gedeelte in de figuur geeft een beeld van de geleiders van de 3 fazen, welke zijn opgebouwd uit een samengeperste ronde kern van koper of aluminium. Daar rond bevinden zich een aantal isolerende en beschermende banden (o.a. een loodmantel, een PE buitenmantel, ...) afhankelijk van het kabeltype. De 150kV lijnen en 70kV lijnen bestaan steeds uit 1 kabel per fase. De diameter van zowel de geleider als van de buitenmantel (Φ_{BM}) zijn karakteristieke maten voor de kabel die uit datasheets gehaald moeten worden. Wat de 36kV lijnen betreft: hiervan zijn er enkele opgebouwd met zogenaamde 3-aderige kabels (3 fazen per kabel). Voor deze laatste wordt voor Φ_{BM} niet de waarde van de buitenmantel van de kabel genomen, maar de buitendiameter van de isolatie en bescherming van de afzonderlijke fazen. Ook deze gegevens moeten uit datasheets gehaald worden. Uit de gegevens van ELIA kan afgeleid worden dat alle kabels in klaverblad zijn gelegd en dat er geen vlakke kabelconfiguratie voorkomt. Voor het analytisch model werd dan ook alleen rekening gehouden met een klaverbladconfiguratie.

In Figuur 26 zijn de lijnparameters opgenomen die gebruikt worden in de ontwikkeling van het analytisch model.

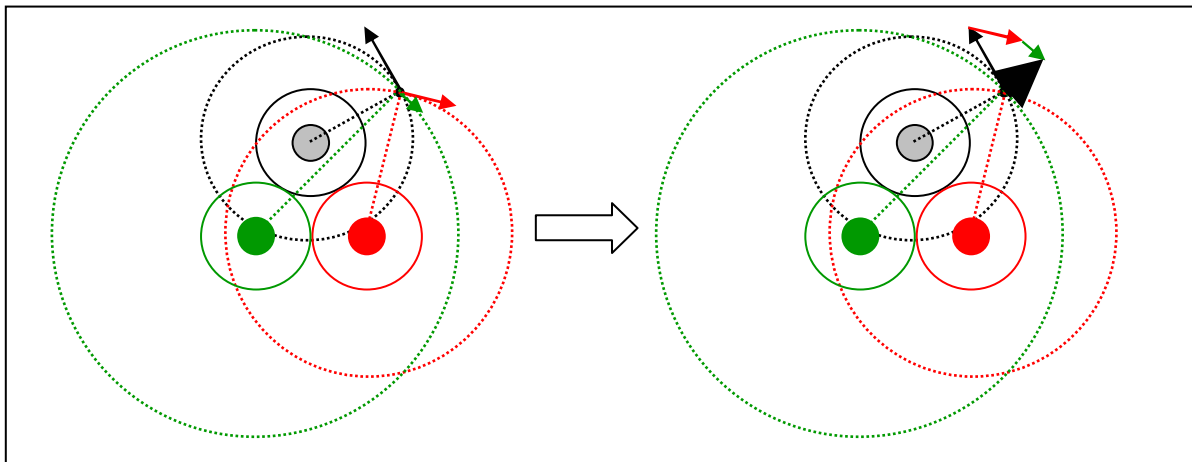


Figuur 26: Parameters van de ondergrondse hoogspanningslijn 150-354

De diepte onder het maaiveld van de drie fazen worden weergegeven door de parameters y_b , y_l en y_r . Hierbij staat b voor de bovenste kabel, l voor de linkse kabel en r voor de rechtse kabel. De maximale afstand van de kabels onder het maaiveld (d) is eveneens een

karacteristieke maat voor de betreffende lijn, die uit detailtekeningen van ELIA gehaald wordt. Het punt p waarin de veldsterkte bepaald moet worden, wordt gekarakteriseerd door een x en een y coördinaat, waarbij de y-waarde de hoogte boven het maaiveld en de x-waarde de horizontale afstand vanaf de referentielijn weergeeft. De referentielijn is een verticale lijn die dwars door het centrum van de bovenste kabel loopt.

Vermits de betreffende hoogspanningslijn bestaat uit drie fasen, en dus uit drie geleiders, bekomt men de magnetische veldsterkte in een punt p door de vectoriele som te maken van de B-velden veroorzaakt door de respectievelijke geleiders in punt p (zie Figuur 27). Voor de berekening van het maximale B-veld wordt verondersteld dat de stroom in de bovenste geleider maximaal is.



Figuur 27: Magnetisch inductieveld van 3 geleiders

De magnetische veldsterkte in punt p wordt dan berekend met behulp van de volgende formule:

$$\begin{aligned}
 \vec{B}_p &= \vec{B}_{p,b} + \vec{B}_{p,l} + \vec{B}_{p,r} \\
 B_{p,x} &= B_{p,b,x} + B_{p,l,x} + B_{p,r,x} \\
 B_{p,y} &= B_{p,b,y} + B_{p,l,y} + B_{p,r,y} \\
 B_p &= \sqrt{B_{p,x}^2 + B_{p,y}^2}
 \end{aligned}$$

Formule 2

Hierbij geldt voor de verschillende componenten (met i = b, l of r):

$$\begin{aligned}
B_{p,i,x} &= B_{p,i} * \cos \alpha_i \\
B_{p,i,y} &= B_{p,i} * \sin \alpha_i \\
B_{p,i} &= \frac{\mu_0 * I_i}{2 * \pi * r_i} \\
r_i &= \sqrt{(x - a_i)^2 + (y + y_i)^2} \\
I_b &= \sqrt{2} * I \\
I_l = I_r &= -\frac{I_b}{2} \\
\alpha_i &= \text{bgtg} \left(\frac{x - a_i}{y + y_i} \right)
\end{aligned}$$

Formule 3

met:

- r_i : afstand tussen de bovenste, linkse of rechtse fase van de lijn en p
- I_b : amplitude van de stroom door de bovenste fase van de lijn
- I_l en I_r : waarde van de lijnstroom door de linkse en rechtse fase van de lijn op het moment dat de stroom door de bovenste fase zijn maximale waarde (amplitude) bereikt
- I : de effectieve lijnstroom van de lijn
- a_i : de horizontale afstand van de bovenste, linkse en rechtse geleider van de lijn tot de referentielijn

Waarbij de volgende formules gelden voor de verticale en horizontale afstanden tot respectievelijk het maaiveld en de referentielijn:

$$\begin{aligned}
y_b &= d - \frac{\Phi_{BM}}{2} * (1 + \text{tg}(60^\circ)) \\
y_l = y_r &= d - \frac{\Phi_{BM}}{2} \\
a_b &= 0 \\
a_l &= -\frac{\Phi_{BM}}{2} \\
a_r &= \frac{\Phi_{BM}}{2}
\end{aligned}$$

Formule 4

Volgens deze formules wordt in principe de grootste waarde van het magnetisch veld berekend die in punt p kan voorkomen bij een bepaalde stroombelasting van de betreffende lijnen. B wordt namelijk berekend op het ogenblik dat de stroom in de bovenste fase maximaal is (zijn amplitude bereikt) en dus het B-veld boven de lijn eveneens maximaal is.

Merk op dat het hier gaat om een piekwaarde van het B-veld berekend op de piekstroom in de bovenste fase maar dat het niet gaat over de maximale waarde berekend over een bepaalde periode.

8.2 Samenvatting

Er werd een analytisch model afgeleid voor de berekening van de magnetische veldsterkte van een ondergrondse hoogspanningslijn. Het resultaat is niet eenvoudig in één formule weer te geven maar is vrij uitgebreid. Het analytisch model wordt verder gevalideerd enerzijds met behulp van berekeningen met een eindig elementen pakket en anderzijds met de meetresultaten.

9 VALIDATIE VAN HET ANALYTISCH MODEL

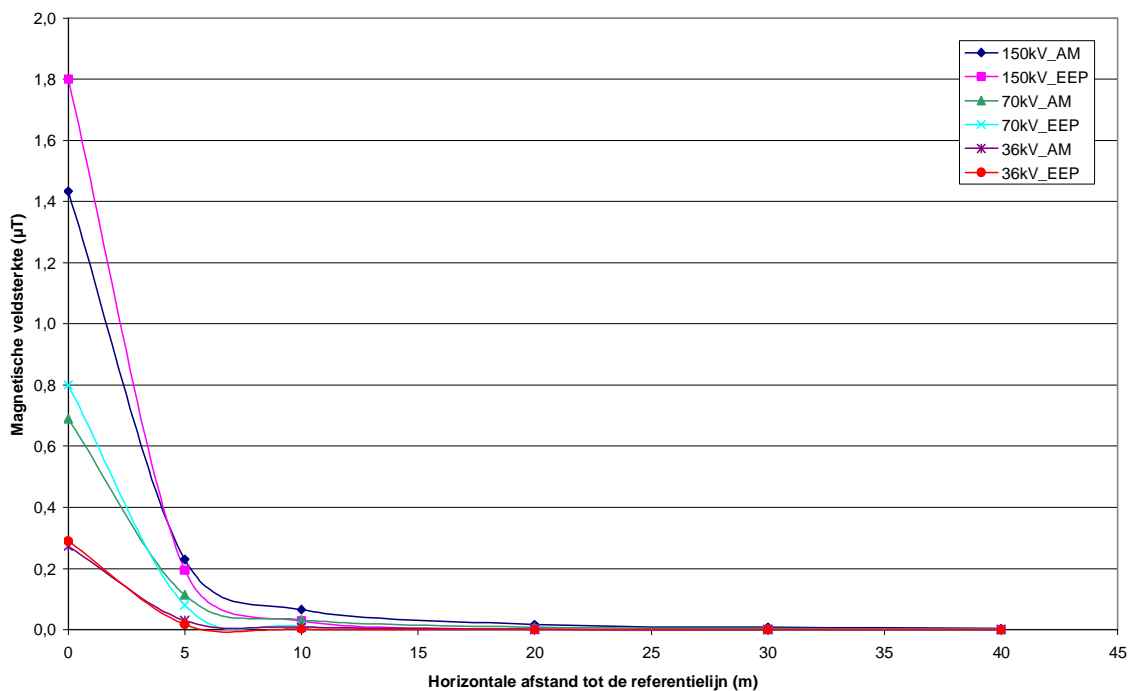
9.1 Doel

Met de validatie van het model wordt de nauwkeurigheid en bruikbaarheid van het analytisch model bepaald voor het inschatten van de werkelijke magnetische veldsterkte waaraan de algemene bevolking in de nabijheid van ondergrondse hoogspanningslijnen wordt blootgesteld. Dit gebeurt enerzijds door berekeningen met een eindig elementen software pakket (COMSOL) en anderzijds door in-situ metingen van het magnetisch veld in de nabijheid van de ondergrondse hoogspanningslijnen.

9.2 Validatie met behulp van de methode van de eindige elementen

Het magnetisch veld voor telkens 1 lijn voor de 3 verschillende spanningsniveaus werd berekend met de AC/DC module van het eindige elementen pakket COMSOL. Hiervoor wordt eerst de configuratie ingegeven van de lijn. De randvoorwaarden moeten eveneens gedefinieerd worden: de grond wordt beschouwd als een uitbreiding van de lucht, de waarden van de stromen worden toegekend aan de verschillende fazen en de ruimtelijke grenzen worden gedefinieerd als magnetische isolatie, wat een continuïteit van de B-veldlijnen garandeert. Vervolgens wordt in het programma een “mesh” gedefinieerd, wat inhoudt dat de volledige gedefinieerde configuratie wordt opgesplitst in kleine driehoekjes. Voor elk op deze manier geconstrueerd punt van de ruimte wordt dan vervolgens de magnetische veldsterkte berekend.

Figuur 28 vergelijkt het resultaat van de berekeningen op basis van het eindig elementen pakket met deze door middel van het analytisch model voor ondergrondse hoogspanningslijnen op 3 verschillende spanningsniveaus.



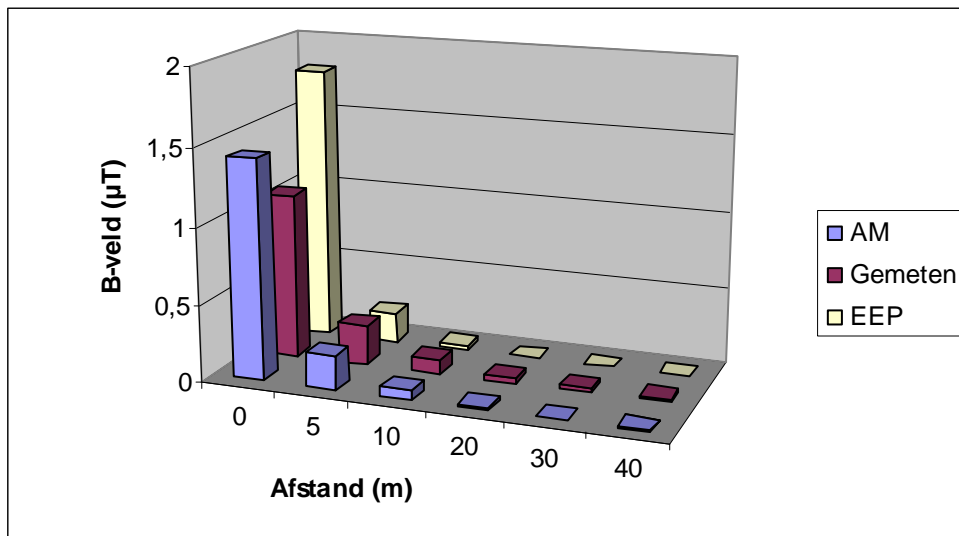
Figuur 28: Magnetische veldsterkte voor 3 lijnen (150/354, 70/799 en 36/089) berekend met het analytisch model (AM) en met het eindig elementen pakket (EEP)

De figuur toont duidelijk eenzelfde verloop voor de 3 lijnen: dicht bij de referentielijn geeft de EEP berekening een grotere waarde voor de magnetische veldsterkte dan het AM, terwijl dit verder weg van de referentielijn omgekeerd is.

9.3 Validatie t.o.v. in-situ metingen en het eindige elementen pakket

De figuren 29 tot 31 tonen per kabeltype en per afstand de vergelijking van het B-veld bekomen door toepassing van het analytisch model (AM) en het eindige elementen pakket (EEP) enerzijds en de in-situ metingen (gemeten) anderzijds.

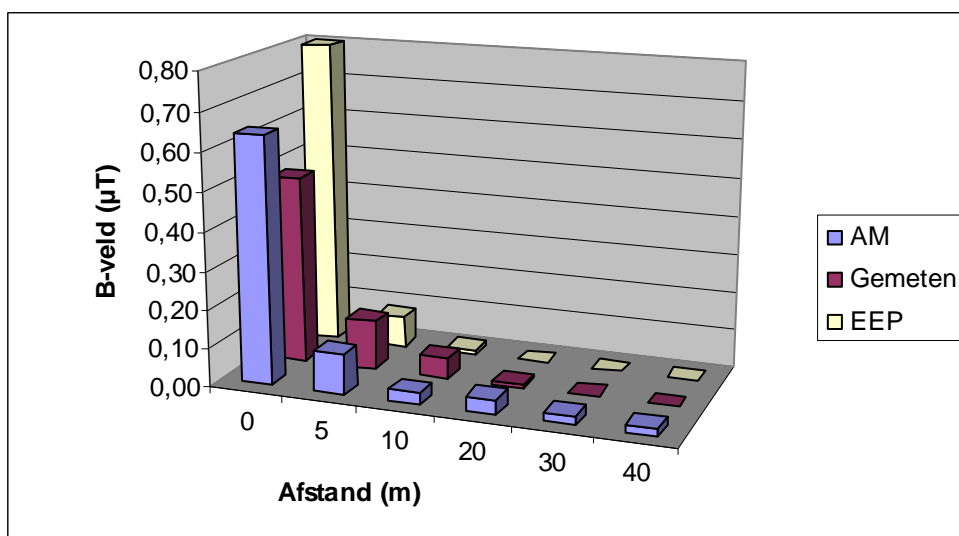
Figuur 29 toont de resultaten van het AM, de metingen en het EEP voor een 150 kV kabeltype (1x2000 Al EAXeLW PRC) op een meethoogte van 1 m, een effectieve stroom van 362 A en een kabeldiepte van 1,3 m.



Figuur 29: B-veld bekomen volgens de verschillende methodes voor een 150 kV-kabel

Figuur 29 toont aan dat het B-veld dat met het AM berekend werd ligt tussen het B-veld dat respectievelijk gemeten en met EEP berekend werd. In de punten die verder van het 0 m punt verwijderd liggen is de gemeten waarde iets hoger dan die welke door beide methoden berekend werd.

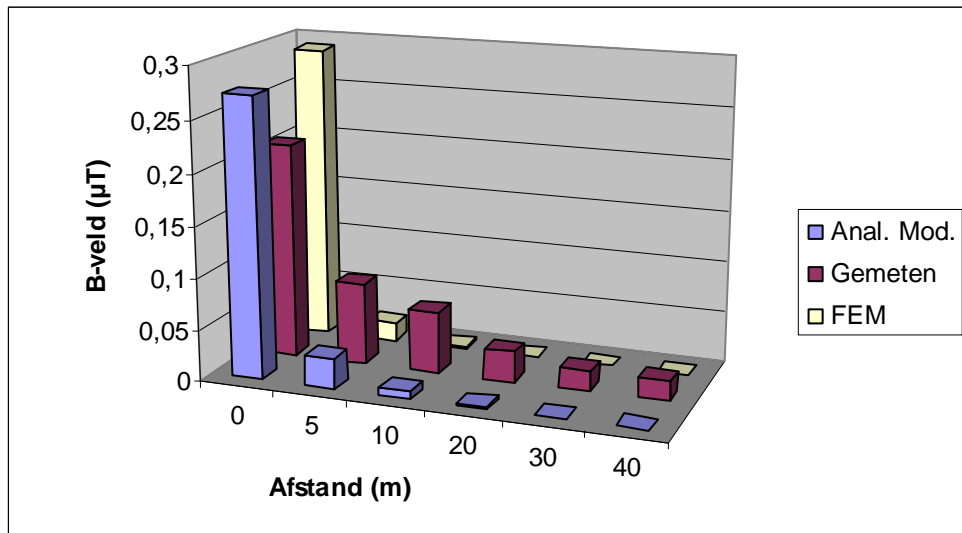
Figuur 30 toont de resultaten van het AM, de metingen en het EEP voor een 70 kV kabeltype (1 X 630 CU EXeLW PRC) op een meethoogte van 1 m, een effectieve stroom van 180 A en een kabeldiepte van 1,3 m.



Figuur 30: B-veld bekomen volgens de verschillende methodes voor een 70 kV-kabel

Ofschoon de waarden van het B-veld dat voor de 70 kV-kabel bekomen werden kleiner zijn dan deze voor de 150-kV kabel is de vorm van het staafdiagram hetzelfde en kunnen dezelfde conclusies getrokken worden.

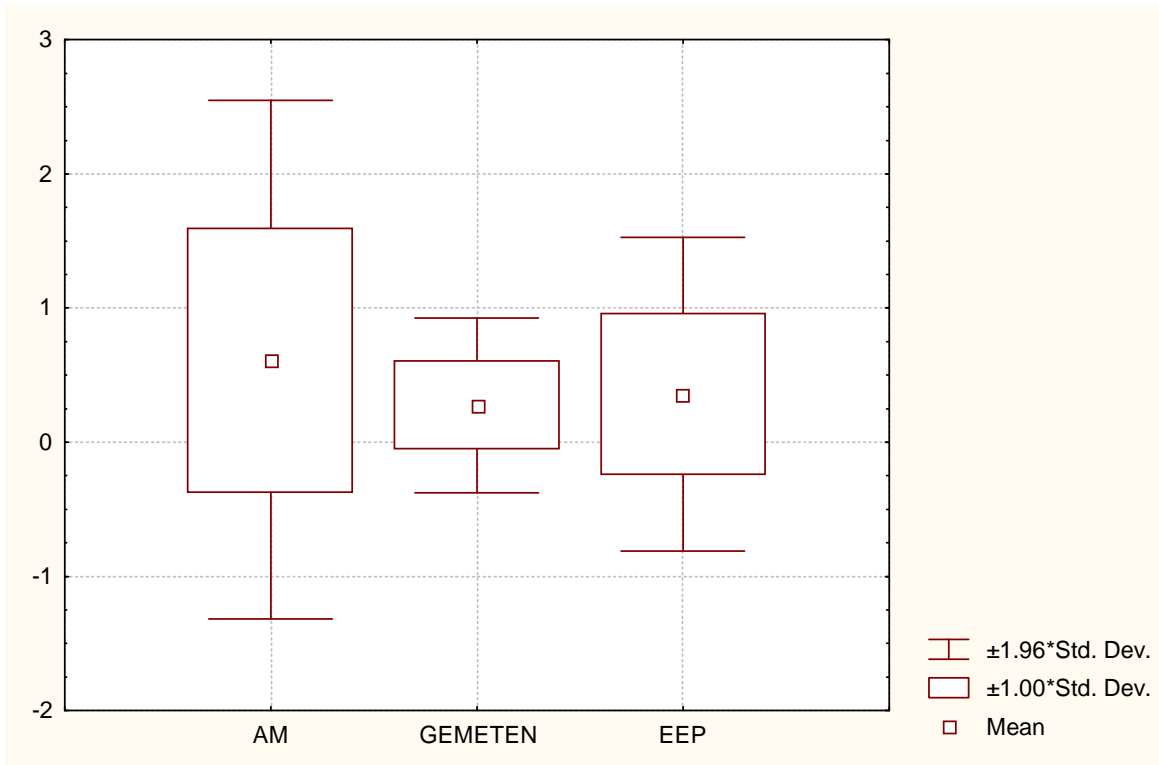
Figuur 31 toont de resultaten van het AM, de metingen en het EEP voor een 36 kV kabeltype (3 X 150 CU EI3AVB (jute) op een meethoogte van 1 m, een effectieve stroom van 94,5 A en een kabeldiepte van 0,80 m.



Figuur 31: B-veld bekomen volgens de verschillende methodes voor een 36 kV-kabel

De besluiten die uit figuur 31 betreffende de overeenkomst van de methoden kunnen getrokken worden zijn dezelfde als deze voor de vorige kabeltypes

Figuur 32 toont de box & whiskers plot waarbij de gemiddelden en de standaardafwijkingen van de verschillende methodes t.o.v. elkaar vergeleken worden.



Figuur 32: Box & whisker plot van het B-veld bekomen door de verschillende methodes

Deze figuur toont aan dat het gemiddelde B-veld dat gemeten en met EEP berekend werd overdekt wordt door het gemiddelde \pm respectievelijk 1 keer en 1,96 de standaardafwijking die berekend werden voor het AM. Hieruit kunnen we op een visuele manier besluiten dat het gemiddelde B-veld geschat volgens de drie betrokken methodes niet substantieel van elkaar afwijken.

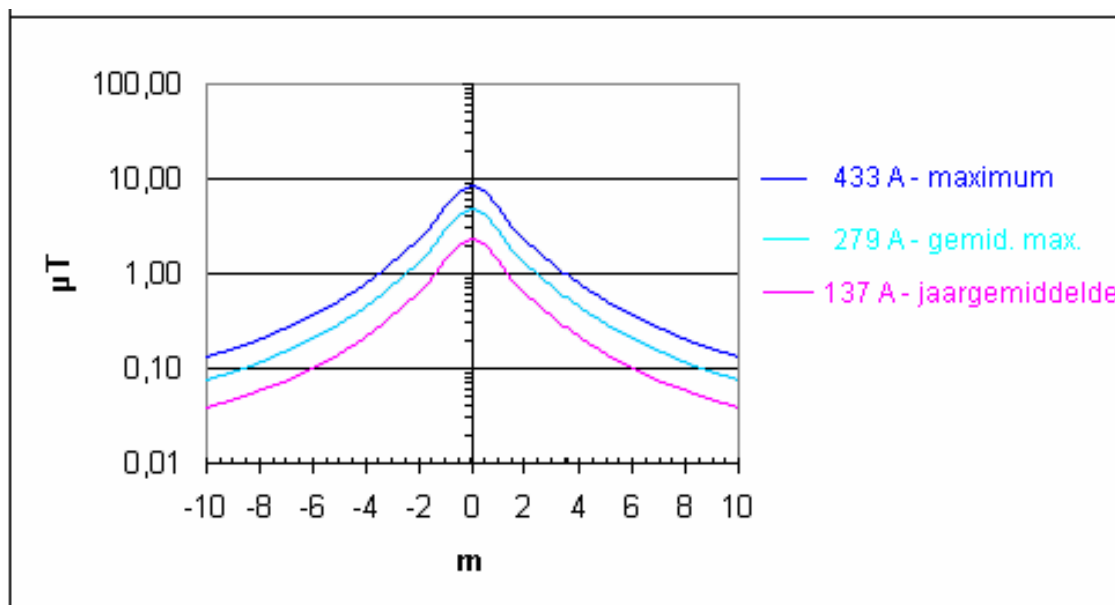
Bij het testen van de hypothese ($p = 0,05$ betrouwbaarheidsinterval) of het gemiddelde B-veld dat respectievelijk met de drie methodes bekomen werd significante verschillen zou vertonen toonde de Friedman ANOVA and Kendall coefficient of concordance ($\chi^2 = 2,89$, $p = 0,236$) aan dat dit niet het geval is. Aldus kunnen we met een zekerheid van 95% besluiten dat het analytisch model op een betrouwbare manier kan gebruikt worden om de sterkte van het B-veld in een willekeurig punt ($p(x,y)$) in de ruimte te bepalen.

10 MAGNETISCH VELD BEREKEND OP BASIS VAN JAARGEMIDDELDE BELASTING VAN HET ELIA KABELNETWERK

Elia heeft in een interne studie stroommetingen uitgevoerd op zijn ondergrondse kabelnetwerk² om zo de reële stroombelasting per spanningsniveau te verkrijgen. Hiervoor werd gedurende een jaar (2003) de stroom geregistreerd op een representatieve steekproef van het 150, 70 en 36 kV netwerk. De steekproef bestond uit respectievelijk 6, 11 en 57 verbindingen wat correspondeert met 8,6, 29 en 14% van de totale lengte van het net per spanningsniveau.

Met deze data werd vervolgens de resulterende B-velden berekend en dit volgens de Biot-Savart methode, welke ook toegepast werd in paragraaf 8.1 van de huidige studie.

De figuren 33 tot 35 geven voor de verschillende spanningsniveaus het berekende B-veld weer in functie van de gemeten stroombelasting en de horizontale afstand (m) tot de loodrechte lijnprojectie op de middelste kabel (0 m) van het betrokken netwerk. Aan de hand van de gegevens bekomen voor het 150 kV kabelnetwerk (Figuur 33) wordt het resultaat van alle figuren toegelicht.



Figuur 33: B-veld statistieken versus horizontale afstand voor het 150 kV kabelnetwerk

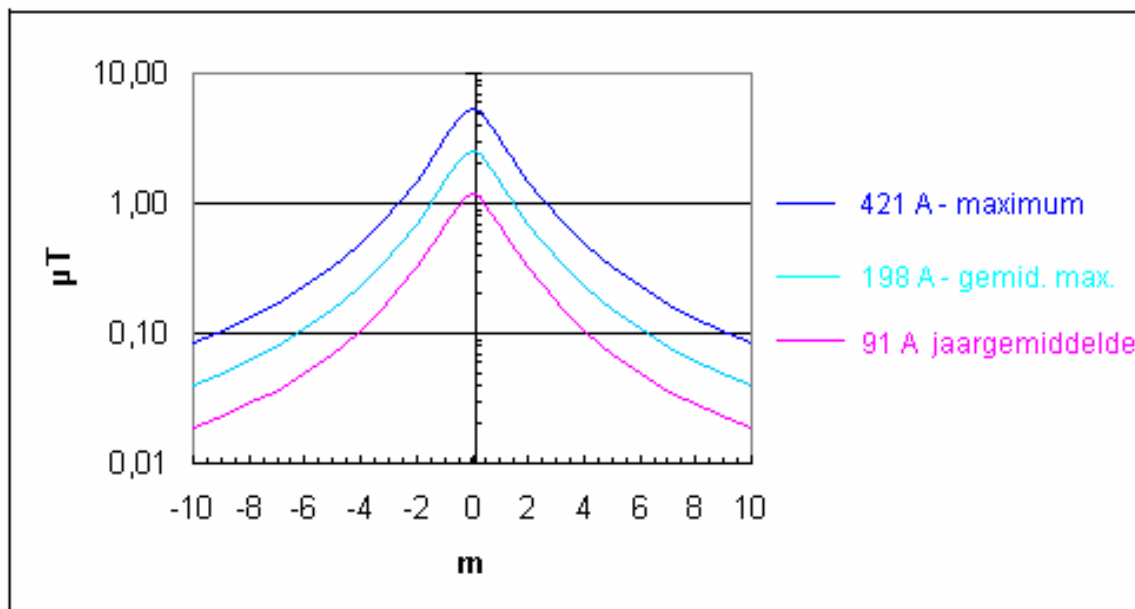
Zoals in Figuur 33 aangetoond wordt is de maximale stroombelasting of piekstroom (*maximum*) de hoogste waarde die in 2003 éénmaal voor het 150 kV kabelnetwerk werd geregistreerd. De piekstroom is bij benadering gelijk aan 100 % belasting of de zogenaamde “worst case” situatie zoals weergegeven in Tabel 9 van paragraaf 11.2.

² Een gelijkaarde studie werd ook voor het bovengrondse netwerk gedaan

De gemiddelde jaarlijkse maximale belasting (*gemid. max.*) is het gemiddelde van de piekstromen die onder normale uitbatingomstandigheden over het gehele 150 kV kabelnet in 2003 voorkwamen.

De jaargemiddelde belasting (*jaargemiddelde*) is het gemiddelde van stromen die in 2003 over het gehele 150 kV-kabelnet waargenomen werden. Het is dus tegelijkertijd een gemiddelde in de tijd (over een jaar) en in de ruimte (over gans het net). Deze gemiddelde stroom komt overeen met de 50 % belasting welke in de huidige studie gehanteerd wordt voor de berekening van de corridors, weergegeven in Tabel 9 van paragraaf 11.2.

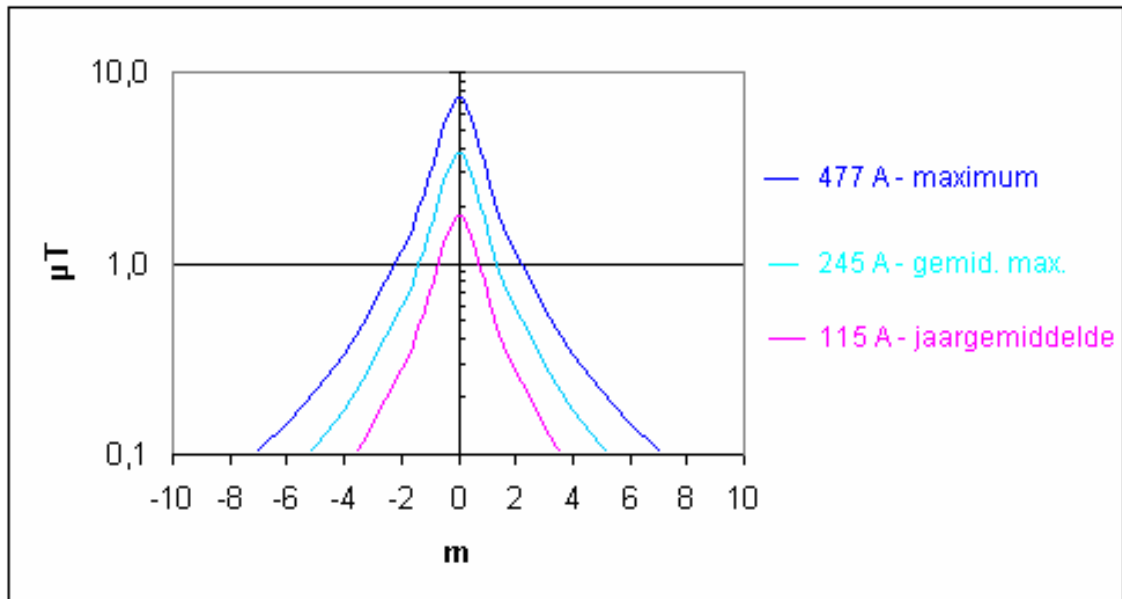
Figuur 34 illustreert het verloop van de B-veld (μT) statistieken in functie van de horizontale afstand van de lijnprojectie loodrecht op de middelste kabel van het 70 kV kabelnetwerk. De resultaten worden op dezelfde manier geïnterpreteerd als die van het 150 kV kabelnetwerk (Figuur 33).



Figuur 34: B-veld statistieken versus horizontale afstand voor het 70 kV kabelnetwerk

De resultaten worden op dezelfde manier geïnterpreteerd als die van het 150 kV kabelnetwerk (Figuur 33).

Figuur 34 toont het verloop van de B-veld (μT) statistieken van het 36 kV kabelnetwerk.



Figuur 35: B-veld statistieken versus horizontale afstand voor het 36 kV kabelnetwerk

De resultaten worden op dezelfde manier geïnterpreteerd als die van het 150 kV kabelnetwerk (Figuur 33).

Uit de figuren van de drie spanningsniveaus blijkt dat, het B-veld berekend op basis van de jaargemiddelde stroombelasting ongeveer de helft bedraagt van het B-veld berekend op basis van het gemiddeld jaarlijkse maximum dat op zijn beurt ongeveer de helft bedraagt van het B-veld berekend op basis van de piekstroom..

Tabel 7 geeft een samenvatting van de gemeten stroombelasting per spanningsniveau van het kabelnet.

Tabel 7: Typische stroombelastingen in het ondergrondse kabelnetwerk van Elia

Spanning (kV)	Nominaal (A)	Maximum (A)	Gemiddeld Maximum.. (A)	Jaargemiddelde (A)
150	1200	433	296	137
70	916	421	198	91
36	624	477	245	115

Om de betekenis van “maximum”, “gemiddeld maximum” en “jaargemiddelde” te verduidelijken worden de resultaten voor het ondergrondse 150 kV net in detail besproken. De maximale stroom die in een 150 kV kabel kan vloeien hangt af van de karakteristieken (doorsnede, aanlegmethode, grondkarakteristiek) van het kabelnet. Door gebruik van de nieuwste technologieën schommelt de maximale stroom rond 1200 A (aanleg in klaverblad).

Dit is wat men noemt de “nominale stroom”. Voor alle types 150kV kabels (oud en nieuw) van het net bedraagt de nominale stroom gemiddeld 788 A. Een kabel wordt echter nooit op zijn nominale stroom uitgebaat want hij moet in staat zijn de belasting van een andere kabel (of lijn) ogenblikkelijk over te nemen in geval van defect in het net. Daardoor is normaliter de maximum stroom (*maximum*) ongeveer gelijk aan de helft van de nominale stroom. Het *maximum* dat in 2003 in het 150kV net werd gemeten is inderdaad 433 A (niet rekening gehouden met uitzonderlijke gevallen zoals kabelfouten). Dit komt overeen met de 100 % belasting van de zogenaamde “worst case situatie”. Het gemiddelde maximum (*gemid. max.*), dus het gemiddelde van alle piekstromen over het volledige 150kV net bedroeg 279 A (zie Figuur 33)³.

Als men de jaargemiddelde stromen (*jaargemiddelde*) bekijkt, vindt men een waarde van 137 A wat in goede mate overeenstemt met de 50% stroombelasting (het 50% percentiel). Voor berekening van de blootstellingsniveaus op lange termijn is dit 50% percentiel het meest relevant.

De redenering voor het 150 kV net geldt eveneens voor dit van 70 en 36 kV.

³ Deze figuur (alsook de volgende) wordt in logaritmische schaal weergegeven om de breedtes van de corridors bij lage veldniveaus (0,2 – 0,4 – 1 μ T) beter aan te kunnen tonen.

11 GIS-TOEPASSING VOOR HET UITTEKENEN VAN DE 0,1, 0,2, , 0,3 EN 0,4 μ T BLOOTSTELLINGSGANGEN

Deze uittekening gebeurt voor ieder kabeltype op basis van de berekende veldsterkte i.f.v. de beïnvloedingsfactoren (stroom, kabelkenmerken, diepteligging van kabels, horizontale en verticale afstand tot ondergrondse kabels). Voor het berekenen van de stroombelasting van de kabels wordt uitgegaan van een belasting van respectievelijk 25%, 30% (ter vergelijking met Nederland), 50%, 75% en 100% van de piekbelasting die per lijntype over één jaar door ELIA waargenomen werd.

11.1 Ondergronds kabelnetwerk in GIS

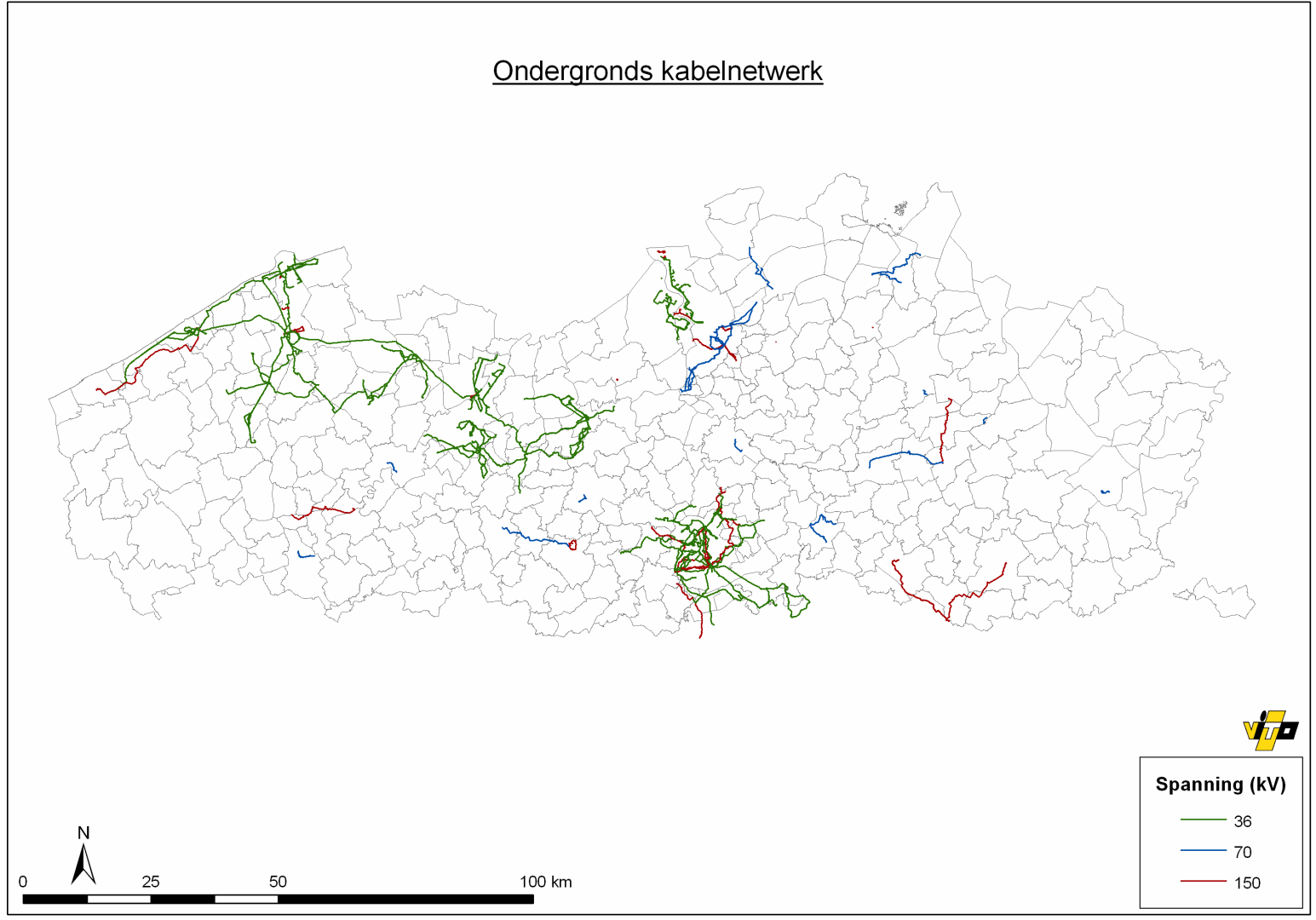
In het kader van dit project bezorgde ELIA de ligging van de ondergrondse kabels in shape-formaat, zodat deze eenvoudig in een GIS-omgeving geïmplementeerd kunnen worden.

Tabel 8: Kenmerken van het ondergrondse hoogspanningsnet (in km)

Kabel		
Type	Aantal	Lengte (in km)
36 kV	817	2.044
70 kV	86	208
150 kV	119	319
totaal	1.022	2.571

Naast de spanning bezit elke kabel ook kenmerken over de diameter, het metaal waaruit de kabel is opgebouwd en het isolatiemateriaal. In de verdere GIS-verwerking wordt voor deze laatste drie factoren met een gemiddelde gewerkt, waardoor de spanning van de kabel het enige differentiërende kabelcriterium is in het uittekenen van de corridors in GIS.

Figuur 36 toont het ondergronds kabelnetwerk op kaart.



Figuur 36: Het ondergronds kabelnetwerk in Vlaanderen en Brussel

11.2 Corridors van het ondergronds kabelnetwerk

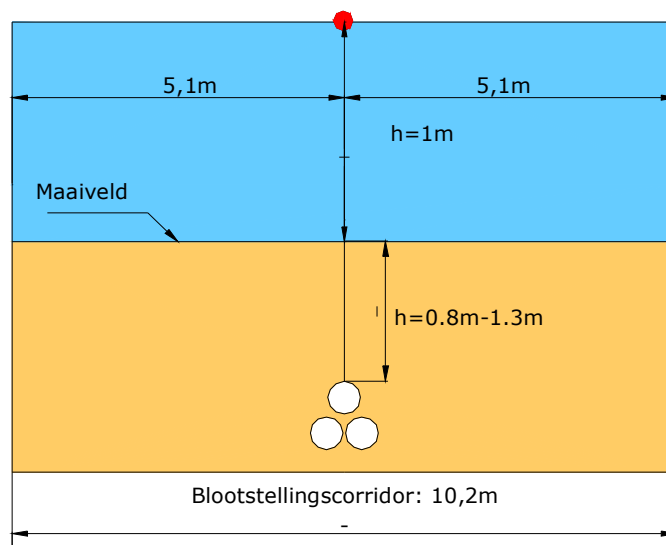
Er werden 60 corridors afgebakend in functie van het lijntype, de stroombelasting en de sterkte van de magnetische fluxdichtheid (B-veld in μT).

Er werd vooropgesteld dat de corridors zouden uitgezet worden voor een B-veld van:

- 0,2 μT en 10 μT omwille van de kwaliteitsnorm voor het binnenmilieu [Ref. 12]
- 0,4 μT omwille van de epidemiologische problematiek rond de eventuele associatie tussen het magnetisch veld en kinderleukemie

Door middel van het strooidiagram van de individuele meetgegevens (figuur 22) werd aangetoond dat een B-veld van 10 μT in 4 van de 155 meetplaatsen overschreden werd bij metingen die op het maaiveld uitgevoerd werden. Daar noch bij de metingen die op 1 m boven het maaiveld loodrecht op de ondergrondse kabels uitgevoerd werden, noch bij de berekende gehele lichaamsblootstelling (figuur 23) een B-veld van 10 μT gemeten werd kan voor deze drempel geen corridor opgesteld worden. Bijgevolg kan dus gesteld worden dat er geen kinderen verblijven in een 10 μT corridor. Omdat deze corridor niet in GSI uitgezet kon worden werd ter compensatie een verfijning doorgevoerd voor de kleinere B-velddrempels en werden ook de corridors van het 0,1 en 0,3 μT B-veld in kaart gebracht.

Figuur 37 illustreert het principe van de “0,4 μT corridorbreedte” aan de hand van een concreet voorbeeld.



Figuur 37: Voorbeeld van 0,4 μT corridor van 150 kV-kabel met 100% stroombelasting

Tabel 9 geeft de corridorbreedte van elke situatie weer.

Tabel 9: Corridorbreedtes in functie van kabeltype, stroombelasting en B-veld (μT)

Kabeltype	Stroombelasting	Corridorbreedte (m)			
		0,1 μT	0,2 μT	0,3 μT	0,4 μT
150 kV	100%	21,2	15,2	12,2	10,2
	75%	15,9	11,4	9,1	7,7
	50%	10,6	7,6	6,1	5,1
	30%	6,4	4,6	3,7	3,1
	25%	5,3	3,8	3,0	2,6
70 kV	100%	16,8	11,6	8,9	7,2
	75%	12,6	8,7	6,7	5,4
	50%	8,4	5,8	4,5	3,6
	30%	5,0	3,5	2,7	2,2
	25%	4,2	2,9	2,2	1,8
36 kV	100%	12,4	8,4	6,4	5,1
	75%	9,3	6,3	4,8	3,8
	50%	6,2	4,2	3,2	2,5
	30%	3,7	2,5	1,9	1,5
	25%	3,1	2,1	1,6	1,3

Uit Tabel 9 leiden we af dat de corridorbreedte varieert tussen 1,3 en 21,2 m. 21,2 m is de breedte berekend uit de meest ongunstige situatie waarbij:

- 100% van de piekstroom over 1 jaar door de 150 kV kabel vloeit
- de breedte geldt voor een B-veld van 0,1 μT .

De breedste corridor voor het 0,4 μT B-veld bedraagt 10,2 m of 5,1 m aan weerszijden van de loodrechte projectielijn van de ondergrondse 150 kV kabel.

Tabel 10 toont wat deze corridorbreedtes voor Vlaanderen en Brussel betekenen naar oppervlakte toe. Het gaat immers telkens om zeer smalle stroken, maar door ook de lengte van het netwerk in rekening te brengen (36 kV: 2.044 km – 70 kV: 208 km – 150 kV: 319 km) varieert de oppervlakte van de corridor tussen 0,4 en 15,5 km².

Tabel 10: Oppervlakte van de corridors van het ondergronds kabelnetwerk

Lijntype (kV)	Stroombelasting	Oppervlakte (km ²)			
		0,1μT	0,2μT	0,3μT	0,4μT
150	100%	5,799	4,207	3,399	2,877
	75%	4,392	3,189	2,582	2,189
	50%	2,973	2,167	1,761	1,498
	30%	1,832	1,347	1,101	0,941
	25%	1,546	1,140	0,935	0,795
70	100%	2,974	2,064	1,603	1,305
	75%	2,246	1,561	1,215	0,991
	50%	1,515	1,057	0,825	0,675
	30%	0,928	0,652	0,513	0,420
	25%	0,781	0,551	0,432	0,354
36	100%	15,492	10,879	8,533	7,014
	75%	11,954	8,417	6,635	5,487
	50%	8,322	5,918	4,717	3,943
	30%	5,357	3,897	3,166	2,694
	25%	4,611	3,387	2,773	2,377

Tabel 11 maakt een abstractie van de verschillende kabeltypes en geeft bijgevolg de oppervlakte weer in functie van de stroombelasting en het B-veld.

In het worst case scenario van 100% stroombelasting en een drempel van 0,1 μT komt dit neer op 24 km² of 0,18% van de oppervlakte van het Vlaams en Brussels grondgebied (totale oppervlakte = 13.787 km²).

Tabel 11: Geaggregeerde oppervlakte in functie van stroombelasting en B-veld

Stroombelasting	Oppervlakte (km ²)			
	0,1μT	0,2μT	0,3μT	0,4μT
100%	24,265	17,149	13,536	11,196
75%	18,592	13,166	10,432	8,667
50%	12,810	9,142	7,303	6,116
30%	8,118	5,896	4,780	4,056
25%	6,938	5,078	4,141	3,526

11.3 Blootstelling van de jongeren binnen de B-veld corridors

Deel 11.3.1 heeft tot doel om een spreidingskaart te maken van de jongeren in Vlaanderen en Brussel, zodat in deel 11.3.2 kan berekend worden hoeveel jongeren woonachtig zijn in de corridors rond de ondergrondse kabels.

11.3.1 Spreidingskaart jongeren

Statistieken over het aantal jongeren in Vlaanderen en Brussel zijn beschikbaar bij de F.O.D. Economie, K.M.O., Middenstand en Energie. In deze studie werd gewerkt met de bevolkingscijfers van 1/1/2003 en werden de jongeren met een leeftijd van 0 tot en met 14 jaar weerhouden. Voor Vlaanderen werden 998.756 jongeren gerapporteerd, voor Brussel 180.034.

De hierboven beschreven statistiek geeft het aantal jongeren weer per statistische sector. Dit is de kleinste administratieve entiteit waarvoor socio-economische gegevens beschikbaar zijn en het stelt een afbakening voor op “buurniveau”.

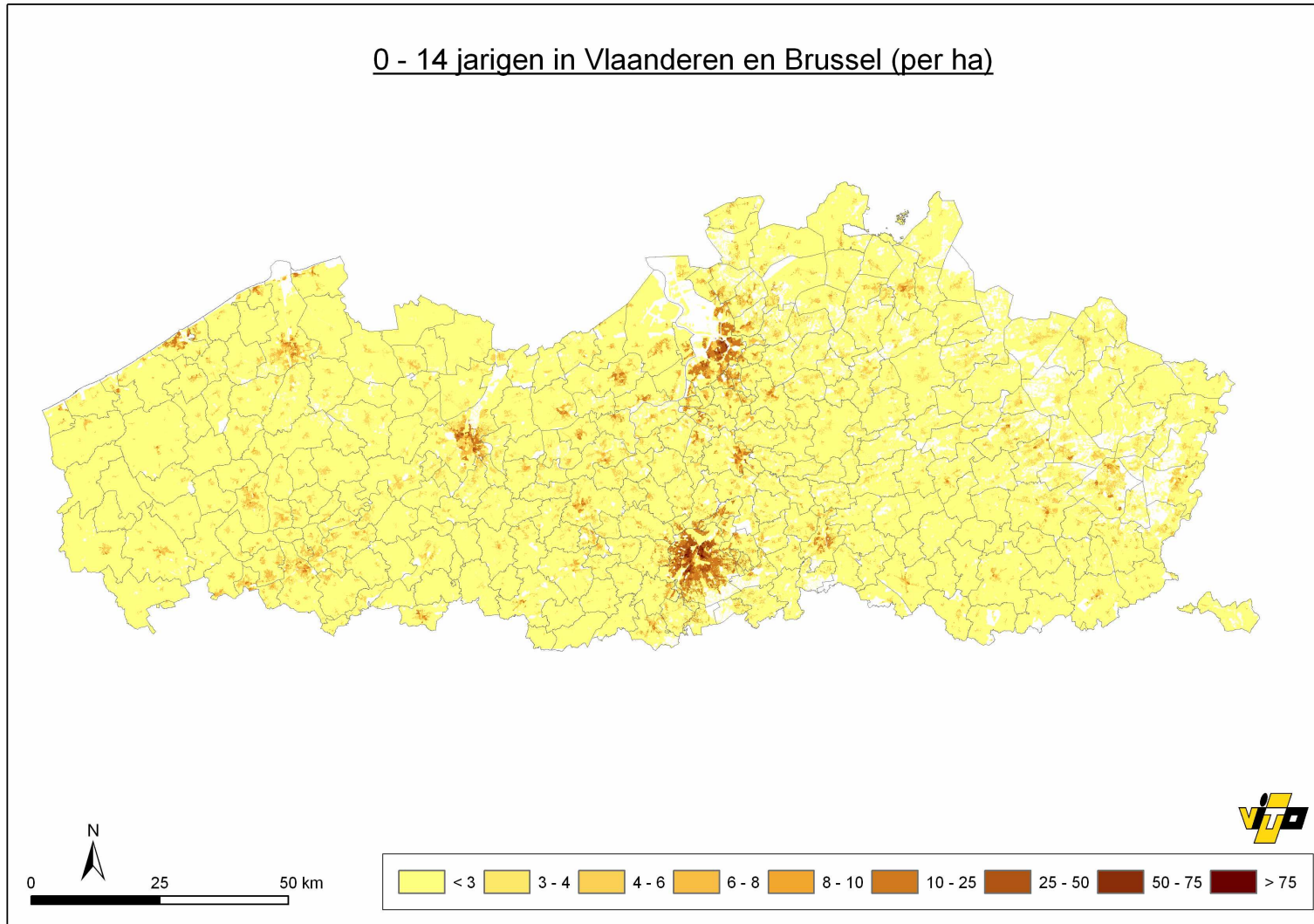
Men kan dan het aantal jongeren per sector gelijkmatig gaan spreiden over deze ruimtelijke entiteit (het opstellen van een zogenaamde choropletenkaart). Maar deze techniek houdt geen rekening met het feit dat de concentratie aan jongeren binnenin een statistische sector grote verschillen kan vertonen.

Bijgevolg wordt de dasymetrische karteringstechniek toegepast bij het lokaliseren van deze jongeren op kaart. Hierbij wordt het aantal jongeren binnenin een statistische sector verdeeld aan de hand van een steunkaart, in dit geval de Bodemgebruiksk kaart van Vlaanderen en Brussel van het jaar 2001 (Op 't Eyndt et al., 2002). Deze steunkaart bevat informatie die relevant is om te komen tot een meer accurate geografische verdeling van de jongeren. Men kan inderdaad veronderstellen dat de concentratie aan jongeren in bijvoorbeeld de landgebruikscategorie “kernstad” groter is dan die in de categorie “landbouw”. Men leidt met andere woorden de karakteristieke, meest geëigende lokalisatie van het gegeven af uit de steunkaart terwijl de hoeveelheden die toe te wijzen zijn (hier: het aantal jongeren) gehaald worden uit de statistiek per grotere administratief geografische eenheid.

Van de Bodemgebruiksk kaart worden die landgebruiken geselecteerd die fungeren als mogelijke woonplaats voor jongeren. De 20 oorspronkelijke landgebruiksklassen werden herleid tot vier relevante landgebruiken: “kernstad”, “bebouwing”, “industrie en handel” en “landbouw”. De jongeren worden in verschillende proporties verdeeld over deze vier landgebruiken op een rasterkaart met cellen van 15x15m. Dit impliceert een zeer groot detailniveau bij het toewijzen.

De berekening van de proporties waarmee de jongeren over de verschillende landgebruiken in elke statistische sector worden verdeeld, steunt op de techniek uitgewerkt door Gallego en Peedell (2001) [Ref. 22]. Zij werkten een methodologie uit om de bevolkingsdichtheid in Europa in kaart te brengen. Voor de gedetailleerde uitwerking met formules wordt dan ook verwezen naar het artikel van Gallego en Peedell.

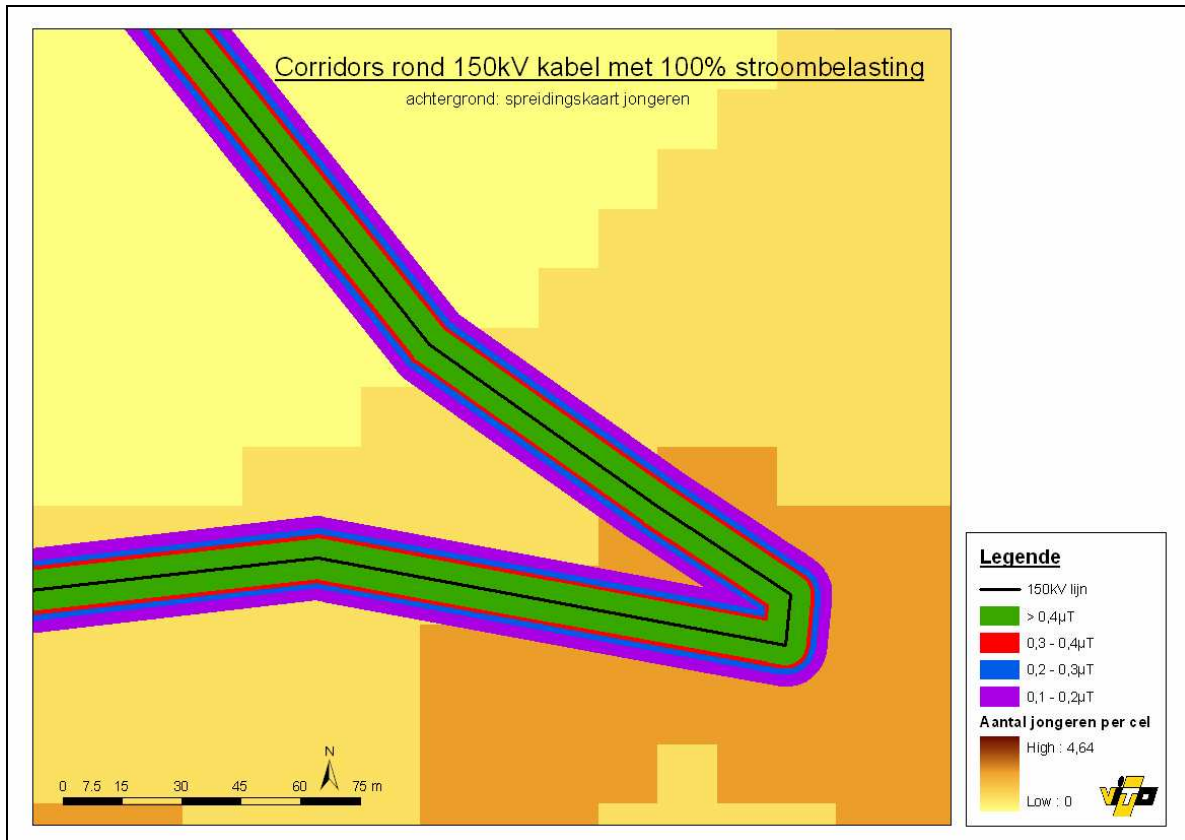
Figuur 38 toont de spreidingskaart van de jongeren in Vlaanderen en Brussel, uitgedrukt in aantal jongeren per hectare (resolutie van de kaart: 15x15m).



Figuur 38: Spreidingskaart van de jongeren in Vlaanderen en Brussel

11.3.2 Berekening blootstelling

De hoeveelheid jongeren die woonachtig zijn binnen de corridors wordt berekend aan de hand van een overlay-analyse in een GIS-omgeving. Deze overlay wordt in Figuur 39 geïllustreerd. Het gaat hier om een 150 kV kabel met een stroombelasting van 100% (worst case). Voor de vier B-veldrempels wordt een corridor uitgezet op de spreidingskaart van de jongeren. De overlay laat toe om te berekenen hoeveel jongeren in elke corridor wonen.



Figuur 39: Overlay-analyse ter berekening van de blootstelling

Het resultaat van deze overlay-analyse wordt samengevat in Tabel 12. Hier wordt voor elke situatie (in functie van lijntype, stroombelasting en magnetisch veld) uitgedrukt hoeveel jongeren blootgesteld worden. Dit aantal varieert tussen 166 en 6.780. Het grootste aantal jongeren wordt verkregen bij de meest voorkomende kabel (36 kV), de worst case-stroombelasting (100%) en de kleinste magnetische veldsterkte (0,1 μ T). Wanneer een abstractie gemaakt wordt van het lijntype, dan varieert het aantal jongeren dat blootgesteld wordt tussen 1.583 en 10.740. Het gaat hier maximaal om 0,9% van het aantal jongeren die in Vlaanderen en Brussel wonen (zie Tabel 13).

Tabel 12: Blootstelling van jongeren in de verschillende corridors

Lijntype (kV)	Stroombelasting	Aantal jongeren (0 - 14 jaar)			
		0,1 μ T	0,2 μ T	0,3 μ T	0,4 μ T
150	100%	2.667	1.927	1.550	1.306
	75%	2.013	1.451	1.168	984
	50%	1.350	974	785	663
	30%	818	592	478	405
	25%	685	496	402	340
70	100%	1.293	905	707	579
	75%	983	689	540	443
	50%	669	472	371	306
	30%	416	296	235	195
	25%	352	252	200	166
36	100%	6.780	4.757	3.734	3.075
	75%	5.227	3.683	2.911	2.414
	50%	3.642	2.600	2.082	1.749
	30%	2.358	1.729	1.416	1.213
	25%	2.036	1.510	1.247	1.077

Tabel 13: Geaggregeerd absoluut en relatief aantal blootgestelde jongeren, in functie van de stroombelasting en het B-veld

Stroombelasting	Aantal jongeren (0 - 14 jaar)			
	0,1 μ T	0,2 μ T	0,3 μ T	0,4 μ T
100%	10.740	7.588	5.990	4.960
75%	8.223	5.823	4.618	3.841
50%	5.661	4.046	3.238	2.718
30%	3.592	2.617	2.129	1.812
25%	3.073	2.259	1.849	1.583
100%	0,9%	0,6%	0,5%	0,4%
75%	0,7%	0,5%	0,4%	0,3%
50%	0,5%	0,3%	0,3%	0,2%
30%	0,3%	0,2%	0,2%	0,2%
25%	0,3%	0,2%	0,2%	0,1%

12 BIJKOMEND EPIDEMIOLOGISCH RISICO DOOR BLOOTSTELLING AAN HET ONDER- EN BOVENGRONDS NETWERK

12.1 Inleiding

Ofschoon in een aantal epidemiologische onderzoeken (Ref. 2) een oorzakelijk verband wordt beschreven tussen de blootstelling aan een gemiddelde magnetische fluxdichtheid (B-veld) van 0,4 μT in de woonomgeving en leukemie bij kinderen tot 15 jaar, bestaat er tot nog toe geen sluitend biologisch bewijs voor een dergelijk verband. Vandaar is in de huidige context het gebruik van de term 'epidemiologisch risico' meer gerechtvaardigd dan 'risico' dat in de brede zin van het woord steeds wordt gekoppeld aan een bewezen biologisch of gezondheidsrisico - hoe klein dit ook mag zijn.

12.2 Aantal jongeren binnen de 0,4 μT corridors van het boven- en ondergronds hoogspanningsnet

De 0,4 μT corridors van het boven- en ondergronds hoogspanningsnet waarbinnen jongeren wonen die voor Vlaanderen werden berekend, zijn afkomstig van:

- de 70, 150 en 380 kV bovengrondse hoogspanningslijnen [Ref. 7];
- de 36, 70 en 150 ondergrondse hoogspanningskabel van het huidig rapport.

Indien abstractie wordt gemaakt van:

- het feit dat de corridors van de boven- en ondergrondse verbindingen elkaar niet overlappen;
- de verschillende spanningstypes van de hoogspanningsverbindingen;

kunnen we uitgaan van de 'worst case' situatie – met name, wanneer zowel alle boven- als ondergrondse verbindingen op 100% van de jaarlijkse piekbelasting zouden werken – en per stroombelasting de som maken van het aantal jongeren dat binnen de 0,4 μT corridors van beide soorten hoogspanningsverbindingen woont.

Hierbij moet op basis van stroommetingen (cfr Hst. 10) opgemerkt worden dat 100% stroombelasting, die als de "worst case" situatie aangeduid wordt, een éénmalige gebeurtenis is op één van de verbindingen. Het B-veld dat op dat moment gegenereerd wordt is viermaal sterker dan het B-veld dat voorkomt bij een gemiddelde belasting, zijnde het 50% stroombelastingsniveau. Dit betekent dat de 0.4 μT corridor bij 100% belasting van korte duur en zeer lokaal is. Voor het bepalen van het aantal jongeren dat op lange termijn binnen de 0.4 μT woont, is 50% stroombelasting het meest relevant. In Nederland wordt hiervoor het 30% belastingsniveau toegepast.

Tabel 14 toont grootte van de stroombelasting de procentuele verdeling van de jongeren die binnen de 0,4 μT corridor wonen van beide hoogspanningsnetten.

Tabel 14: Percentage jongeren wonende binnen de 0,4 μ T corridor van onder- en bovengrondse lijnen

Stroom	Hoogspanningsnet		Totaal	Verhouding	
	Ondergronds (OG)	Bovengronds* (BG)		OG/BG	BG/OG
100%	0,40%	1,40%	1,80%	0,29	3,50
75%	0,30%	1,06%	1,36%	0,28	3,53
50%	0,20%	0,70%	0,90%	0,29	3,50
25%	0,10%	0,35%	0,45%	0,29	3,50

*: bron zie Ref. 7

Uit Tabel 14 blijkt dat het aantal jongeren dat binnen de 0,4 μ T corridor van het ondergronds net woont ongeveer 29% (1/3,5) vormt van het aantal kinderen dat binnen de 0,4 μ T corridor van het bovengronds net woont. In de ‘worst case’ situatie, zou in totaal 1,8% van de jongeren binnen de 0,4 μ T corridors wonen of, met andere woorden, tijdens het thuisverblijf worden blootgesteld aan een gemiddelde B-veldsterkte van 0,4 μ T. In de meest gunstige situatie – d.i. bij een stroombelasting van 25% van de jaarlijkse piekstroom – zou dit een vierde van het aantal van de ‘worst case’ situatie betekenen.

12.3 Bijkomend epidemiologisch risico

In 1997, 1998 en 1999 werden in Vlaanderen respectievelijk 48, 43 en 48 leukemies (lymfatische leukemie, myeloïde leukemie, monocyttaire leukemie en overige leukemies) voor kinderen tussen 0 en 15 jaar door het Vlaams kankerregistratienetwerk geregistreerd [Ref. 8]. Dit komt overeen met een gemiddelde registratie van 46,3 kinderleukemies per jaar en ongeveer 93 per twee jaar. In dit geval zouden dus 1,3 op 93 kinderleukemies of ongeveer 1,4% per twee jaar of 0,7% per jaar toe te schrijven zijn aan de gemiddelde blootstelling van 0,4 μ T binnen de corridors die door het gehele hoogspanningsnet in Vlaanderen wordt geproduceerd.

Een andere benadering is gestoeld op gegevens van bijlage 8 van de publicatie “*Cancer Incidence and Survival in Flanders 2000 – 2001*” [Ref. 22]. Voor de periode 1997 – 2001 werden 95 leukemies (lymfatische (73), acute niet-lymfatische (16), andere gespecificeerde (1) en niet-gespecificeerde (5) leukemies) door het Vlaams kankerregistratienetwerk geregistreerd. Dit zou betekenen dat gedurende deze periode 2,6 van de 95 leukemie zouden kunnen worden toegeschreven aan het magnetisch veld van het totale hoogspanningsnet in Vlaanderen. In dit geval zouden dus 2,73% kinderleukemies over 4 jaar of 0,68% per jaar door het ganse hoogspanningsnet worden geproduceerd.

In de epidemiologische veronderstelling dat er (i) een oorzakelijk verband bestaat tussen de blootstelling aan een magnetisch veld in de woonomgeving en kinderleukemie en (ii) in Vlaanderen 1 kinderleukemie om de twee jaar zou worden veroorzaakt door de blootstelling aan gemiddeld 0,4 μ T van het bovengronds net en ongeveer 1/3de hiervan door het ondergronds net, zou dit voor het totale hoogspanningsnet in Vlaanderen oplopen tot 1,3 bijkomende kinderleukemies per twee jaar.

12.4 Onzekerheid en variabiliteit op blootstellings- en risicoschatting

Vaak worden de begrippen variabiliteit en onzekerheid zonder onderscheid door elkaar gebruikt. Variabiliteit is een natuurlijke eigenschap die het gevolg is van de heterogeniteit van een subject of een waarde in ruimte en/of tijd. Onzekerheid is daarentegen een gebrek aan kennis over de werkelijke blootstelling aan en/of het risico van een agentia die toe te schrijven zijn aan meetfouten of andere factoren die hiervoor bepalend zijn.

De belangrijkste factoren die de onzekerheid en de variabiliteit in de huidige studie bepalen zijn:

- onvoldoende zicht op de stroomschommelingen van het boven- en ondergronds hoogspanningsnet
- onvoldoende inzicht in de clusterspreiding van de woningen en de bevolking rond het gehele hoogspanningsnet
- geen zicht op de diepteligging van de ondergrondse kabels: in hoeverre komt de werkelijke diepte overeen met de diepte op plan
- hoogtevariatië van de hoogspanningslijnen van het bovengronds net
- tijdspercentielen van het verblijf van jongeren in de blootstellingscorridors

De belangrijkste onzekerheid in heel de risicoproblematiek rond het hoogspanningsnet is de onzekerheid over het verband tussen oorzaak en gevolg: wordt kinderleukemie door het 50 Hz magnetisch veld van hoogspanningslijnen en andere bronnen veroorzaakt of niet?

De epidemiologische onderzoeken in woningen nabij hoogspanningslijnen die in de huidige context werden uitgevoerd, wijzen op een consistente statistische associatie tussen magnetische veldsterkten en kinderleukemie met een relatief risico van 2. Momenteel heeft men echter geen zekerheid of de statistische coherentie werkelijk te wijten is aan de blootstelling van het magnetisch veld dan wel dat de associatie is gestoeld op statistische bias of 'confounders'.

13 BESLUIT

Uit de tijdsreeksen kunnen we besluiten dat de toename van de belasting van het milieu door het magnetisch veld van de ondergrondse hoogspanningskabels in de laatste 10 jaar niet spectaculair gestegen is. De totale jaarlijkse toename over de periode 1995 – 2006 bedroeg gemiddeld 20 $\mu\text{T}\cdot\text{km}$ en is vooral te wijten aan het plaatsen van bijkomende ondergrondse 150 kV-kabels.

De metingen van het magnetisch inductieveld dat boven het maaiveld door het ondergronds net geproduceerd wordt, wijzen uit dat de veldsterkte onder alle omstandigheden conform en bovendien veel zwakker is dan de blootstellingslimieten die door ICNIRP (1998) en respectievelijk de Raad van Europa (1999) voor het algemene publiek aanbevolen worden. De gehele lichaamsblootstelling aan het magnetisch inductieveld is voor de “worst case situatie (recht boven de ondergrondse kabels waarbij continue 100% stroombelasting van de ondergrondse kabel wordt verondersteld) kleiner dan 3 μT of $1/30^{\text{ste}}$ van de 100 μT blootstellingslimiet (zie tabel 1).

De goede overeenkomst tussen de resultaten die bekomen werden door het analytisch model, de meetgegevens en de methode van de eindige elementen tonen aan dat het analytisch model een betrouwbare methode is voor het inschatten van de sterkte van het B-veld waaraan een persoon in een willekeurig punt in de ruimte kan blootgesteld worden.

De GIS-toepassing die de blootstellingscorridors visualiseren tonen aan dat de corridors die door middel van het analytische model onder gelijk welke omstandigheden berekend werden afhankelijk van de stroombelasting (100% - 25%) en de veldsterkte binnen de corridor (0,1 – 0,4 μT) variëren van 3,5 tot 24,3 km^2 . Voor wat de 0,4 μT blootstelling betreft varieert de oppervlakte tussen 3,5 (25% stroombelasting) en 11,2 km^2 (100% stroom). Door middel van GIS kunnen we ook besluiten dat, in de worst case situatie (100% stroombelasting), 4960 (0,4%) jongeren (0 - 14 jaar) in de 0,4 μT blootstellingscorridors wonen, dat dit er 1583 (0,1%) zijn in de meest gunstige situatie (25% stroombelasting) en 2780 (0,2%) bij een 50% stroombelasting. Dit 50 % niveau is het meest in overeenstemming met de werkelijk gemiddelde stroombelasting van het net, bekomen op basis van stroommetingen (bemonstering).

In het kader van de kwaliteitsnorm voor het binnenmilieu kan besloten worden dat in de “worst case” en in de meest gunstige situatie respectievelijk 7588 (0,6%) en 2259 (0,2%) jongeren (0-14 jaar) in de 0,2 μT corridor van het ondergrondse hoogspanningsnet wonen. Bij de gemiddelde stroombelasting bedraagt dit 4046 (0,3%).

Omdat de metingen uitwezen dat de 10 μT corridor verwaarloosbaar klein is, zullen er geen jongeren in dergelijke corridors wonen.

Het aantal jongeren dat binnen de 0,4 μT corridor van het ondergronds net woont is ongeveer 30% (1/3de) van het aantal kinderen dat binnen de 0,4 μT corridor van het bovengronds net woont. In de “worst case” situatie (bovengrens die ongeveer vier maal hoger is dan het gemiddelde B-veld op lange termijn) woont 1,8% van de jongeren binnen de

0,4 μ T corridors die door de som van het onder- en bovengrondse hoogspanningsnet in Vlaanderen geproduceerd worden.

Naar risico toe en indien een verband bestaat tussen oorzaak en gevolg is het belangrijkste besluit dat in Vlaanderen 0,7% van de kinderleukemies per jaar toe te schrijven is aan het wonen in de 0,4 μ T corridors die door het gehele (onder- + bovengronds) hoogspanningsnet in het Vlaamse Gewest geproduceerd worden

14 BELEIDSAANBEVELINGEN

Daar globaal gezien de epidemiologische risicocorridors van de ondergrondse hoogspanningskabels ongeveer drie keer kleiner zijn dan die van de bovengrondse lijnen wordt aanbevolen om de elektriciteitsdistributie in woonkernen zoveel mogelijk via het ondergronds net te laten verlopen. Ondergrondse kabels brengen geen visuele hinder met zich mee zodat de risicoperceptie i.v.m. het hoogspanningsnet in woonkernen misschien een andere wending zou aannemen. Vogelsterfte zou ook afnemen.

Noteer dat de aanbeveling geen rekening houdt met economische noch andere aspecten (opsporen en depanneren van mogelijke).

De analytische modellen die respectievelijk ontwikkeld werden voor bovengrondse lijnen (Ref. 7) en ondergrondse kabels (huidig model) zijn gebruiksvriendelijke modellen die door alle overheden kunnen gebruikt worden om in het kader van ruimtelijke ordening en volksgezondheid de reikwijdte van de grenzen van de epidemiologische risicocorridors op een betrouwbare manier te schatten.

15 REFERENTIES

Ref. 1 Wertheimer N. and Leeper E. (1979), *Electrical wiring configurations and childhood cancer. Am. J. Epidemiol.* 1979; 109(3):273-84.

Ref. 2 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

Ref. 3 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.

Ref. 4 van der Plas M. et al. (2001), *Magnetische velden van hoogspanningslijnen en leukemie bij kinderen. RIVM-rapport 610050 007 april 2001.*

Ref. 5 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.*

Ref. 6 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.

Ref. 7 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&&>)

Ref. 8 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>

Ref. 9 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

Ref. 10 Janet Lathrop, (2007), *Experts testify on ELF EMF science at Connecticut hearing. ELF Gateway News Brief, January 12, 2007.*

Ref. 11 WHO (2007) *Extremely Low Frequency Fields Environmental Health Criteria Monograph No. 238. Published under the joint sponsorship of International Labour*

Organization, the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, and the World Health Organization.

Ref. 12 Kelfkens G., Pennders RMJ en Pruppers MJM. (2003), Plannen voor nieuwbouwwoningen bij bovengrondse hoogspanningslijnen. RIVM rapport 610150004/2003.

Ref. 13 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).

*Ref. 14 Tilborghs G. Medeling. Milieugezondheidszorg, Vlaams Agentschap Zorg en Gezondheid, Ellipsgebouw, Koning Albert II-laan 35, bus 33, B-1030 Brussel
<http://www.gezondmilieu.be>*

Ref. 15 IRPA/INIRC (1990) 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.

Ref. 16 UNEP/WHO/IRPA (1987) United Nations Environment Programme/World Health Organization/International Radiation Protection Association. Environmental Health criteria 69. Magnetic fields. Geneva: World Health Organization: 1987

Ref. 17 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.

Ref. 18 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>

Ref. 19 EC Council Recommendation (1999), [COUNCIL RECOMMENDATION of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields \(0 Hz to 300 GHz\) \(1999/519/EC\)](#)

Ref. 20 ELIA (2005) Activiteitsverslag: netlengtes per gewest/Januari 2005

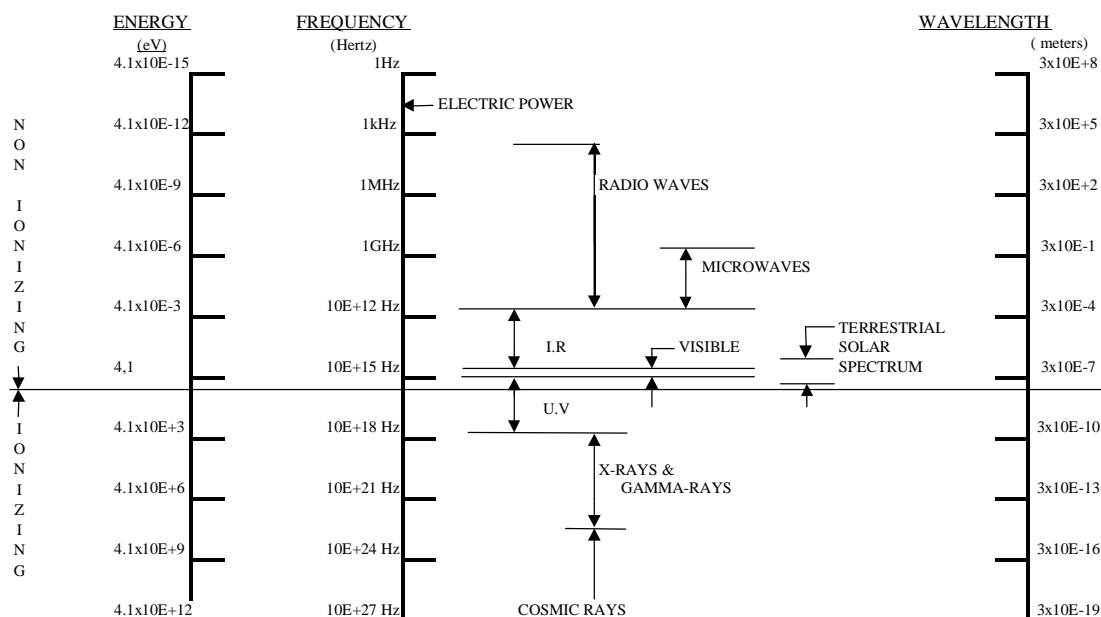
Ref. 21 ELIA (2007) Verdeling van de geografische lengte van de ondergrondse kabels (e-in Vlaanderen t.o.v. die in België (e-mail JM van 8/10/2007)

Ref. 22 Gallego J., S. Peedell. 2001. Using CORINE Land cover to map population density. Towards agri-environmental indicators. EEA Topic report 6/2001:94-105.

Ref. 23 E. Van Eycken, N. De Wever, Cancer Incidence and Survival in Flanders, 2000 – 2001.

16 BIJLAGE 1: BELANGRIJKSTE EIGENSCHAPPEN VAN NIET-IONISERENDE STRALING

Figuur 40 toont het elektromagnetische frequentiespectrum.



Figuur 40: Elektromagnetisch frequentiespectrum

Samenvattend kan gesteld worden dat in het kader van de gezondheidsfysica het elektromagnetische spectrum op basis van de fotonenergie verdeeld wordt in twee brede stralingsgebieden, nl. ioniserende (fotonenergie $12,4 \text{ eV} \cong 1,987 \cdot 10^{-18} \text{ J}$) en niet-ioniserende straling (NIS). Zonder op de ioniserende straling verder in te gaan is het vermeldenswaardig dat ultraviolette straling (UV), bij een frequentie van 3 Petahertz ($1 \text{ PHz} = 10^{15} \text{ Hz}$), de overgang vormt tussen ioniserende en niet-ioniserende straling. Ofschoon UV-C deel uitmaakt van het ioniserende spectrum wordt het in de praktijk niet als deel van dit spectrum beschouwd omdat golflengtes kleiner dan 295 nm (10^{-6} mm) in de bovensten lagen van de atmosfeer geabsorbeerd (uitgefilterd) worden en omdat er daarenboven maar enkele UV-bronnen (sommige lasersoorten) zijn die bij ioniserende golflengtes werken.

Tabel 15: Belangrijkste algemene eigenschappen van niet-ioniserende straling

Golflengtes (λ)	100 nm tot 300 000 km
Frequenties (f)	3,0 PHz tot 1 Hz
Fotonenergie (Joule)	$1,987 \cdot 10^{-18}$ J – $6,6 \cdot 10^{-34}$ J

Extreme lage frequentiegolven (ELF), radiofrequentiegolven (RF) en microgolven (MG) hebben een relatief lange golflengte (λ) die afneemt met toenemende frequentie, een lage frequentie (f) en een lage fotonenergie (eV of J). Hetgeen vaak verwarrend overkomt is dat de indeling van het NIS-spectrum op twee conventies gebaseerd is: de ene conventie beschouwt de microgolven als een subset van het RF-spectrum en de andere als twee onafhankelijk golfsoorten.

Tabel 16: Fundamentele kenmerken per frequentiegebied.

Gebied	Golflengte	Frequentie	Fotonenergie
Microgolven	1 mm – 1 m	300 GHz – 300 MHz	1,2 – 0,0012 meV
Radiogolven	1 m – 100 km	300 MHz – 3 kHz	1200 – 0,12 neV
ELF	1000 – 10 000 km	300 – 30 kHz	1,2 – 0,12 peV

meV: milli-elektronvolt, neV: nano-eV (1 n = 10^{-6} mm), peV: pico-eV (1 p = 10^{-9} eV)

Uitgaande van deze kenmerken heeft men aan de MG, RF en ELF verschillende frequentiebanden toegekend die vaak betrekking hebben op de toepassingsgebieden.

17 BIJLAGE 2: SPECIFICATIES MEETAPPARATUUR

Tabel 17 toont de specificatie van de EMDEX LITE monitor voor het meten van de ELF (extreme low frequency) magnetische fluxdichtheid in het frequentiegebied van 16 2/3 Hz – 1000 Hz.

Tabel 17: Specificaties van EMDEX LITE ELF Monitor

EMDEX LITE ELF Monitor (Enertech Consultans)
Frequency response: 16 2/3 Hz tot 1000 Hz en 40 – 1000 Hz; flat response $\pm 30\%$
Magnetic sensor: 3 orthogonal coils
Magnetic field range: 0,0 – 70 μT (700 mG)
Typical measurement accuracy @ calibrated frequency of 50/60 Hz (27°C): 0,1 – 700 mG: $\pm 8\%$
Measurement method: True RMS measurement
Maximum sample rate: 4 seconds

Tabel 19 toont de specificatie van de *PMM 8053 meter* die kan gecombineerd worden met meetsondes van 5 Hz tot 18 GHz. Voor de frequentie-analyse van het B-veld van de ondergrondse kabels werd de PMM 8053 meter gecombineerd met de EHP50A waarvan de specificaties in Tabel 20 worden weergegeven

Tabel 19: Specificaties van PMM 8053 meter

PMM 8053 portable field strength meter	
Frequency range	5 Hz – 18 GHz
Dynamic range	>100 dB
Operation range	E-field: 0.03 V/m to 100 kV/m H-field: 10 nT tot 10 mT
Resolution	0.01 tot 100 V/m / 0.1 nT to 0.1 mT
Sensitivity	0.1 to 1 V/m / 10 nT to 0.1 mT
Sample rate	1, 10, 100 sec. every 6 minutes
Units	V/m, kV/m, $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, mW/cm^2 , W/m^2 , A/m, nT, mT

Tabel 20: Specificaties van sonde EHP50A

PMM probe: electric and magnetic field analyzer EHP50A		
	Electric field	Magnetic field
Frequency range	5 Hz tot 100 kHz	
Level range	0,1 V/m – 100 kV/m	10 nT – 10 mT
Dynamic	>120 dB	
Resolution	0,001 V/m	1 nT
Sensibility	0,1 V/m	10 nT
Absolute error	$\pm 0,8$ dB (@ 50 Hz and 1 kV/m)	$\pm 0,8$ dB (@ 50 Hz and 0,1 mT)
Flatness (40 Hz – 10 kHz)	$\pm 0,5$ dB	$\pm 0,5$ dB
Isotropy	± 1 dB	
Electric field rejection		> 20 dB
Magnetic field rejection	> 20 dB	
Calibration	Internal into E^2 prom	
Temperature error	0,05 dB / °C	

18 BIJLAGE 3: LIJST MET RELEVANT WEBSITES

Algemene informatie over niet-ioniserende elektromagnetische straling:

- <http://www.vito.be/milieu/milieustudies7.htm>
- <http://www.intec.rug.ac.be>
- <http://www.bbemg.ulg.ac.be>
- <http://www.who.int/peh-emf/en/>
- [Base stations & wireless networks: Exposures & health consequences](#)
- [Fact sheet: Electromagnetic fields and public health: Electromagnetic Hypersensitivity](#)
- [WHO handbook on "Establishing a Dialogue on Risks from Electromagnetic Fields"](#)
- [2006 WHO Research Agenda for Radio Frequency Fields \[pdf 791kb\]](#)
- <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs299/en/index.html>

Instellingen voor telecommunicatie:

- <http://www.bipt.be> (België)
- <http://www.anfr.fr> (Frankrijk)
- <http://www.ofcom.org.uk> (Verenigd Koninkrijk)

19 BIJLAGE: RECENT WHO FACT SHEET N°322 ELECTROMAGNETIC FIELDS AND PUBLIC HEALTH: EXPOSURE TO EXTREMELY LOW FREQUENCY FIELDS

The use of electricity has become an integral part of everyday life. Whenever electricity flows, both electric and magnetic fields exist close to the lines that carry electricity, and close to appliances. Since the late 1970s, questions have been raised whether exposure to these extremely low frequency (ELF) electric and magnetic fields (EMF) produces adverse health consequences. Since then, much research has been done, successfully resolving important issues and narrowing the focus of future research.

In 1996, the World Health Organization (WHO) established the International Electromagnetic Fields Project to investigate potential health risks associated with technologies emitting EMF. A WHO Task Group recently concluded a review of the health implications of ELF fields (WHO, 2007).

This Fact Sheet is based on the findings of that Task Group and updates recent reviews on the health effects of ELF EMF published in 2002 by the International Agency for Research on Cancer (IARC), established under the auspices of WHO, and by the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) in 2003.

19.1 ELF field sources and residential exposures

Electric and magnetic fields exist wherever electric current flows - in power lines and cables, residential wiring and electrical appliances. **Electric** fields arise from electric charges, are measured in volts per metre (V/m) and are shielded by common materials, such as wood and metal. **Magnetic** fields arise from the motion of electric charges (i.e. a current), are expressed in tesla (T), or more commonly in millitesla (mT) or microtesla (μ T). In some countries another unit called the gauss, (G), is commonly used (10,000 G = 1 T). These fields are not shielded by most common materials, and pass easily through them. Both types of fields are strongest close to the source and diminish with distance.

Most electric power operates at a frequency of 50 or 60 cycles per second, or hertz (Hz). Close to certain appliances, the magnetic field values can be of the order of a few hundred microtesla. Underneath power lines, magnetic fields can be about 20 μ T and electric fields can be several thousand volts per metre. However, average residential power-frequency magnetic fields in homes are much lower - about 0.07 μ T in Europe and 0.11 μ T in North America. Mean values of the electric field in the home are up to several tens of volts per metre.

19.2 Task group evaluation

In October 2005, WHO convened a Task Group of scientific experts to assess any risks to health that might exist from exposure to ELF electric and magnetic fields in the frequency range >0 to 100,000 Hz (100 kHz). While IARC examined the evidence regarding cancer in

2002, this Task Group reviewed evidence for a number of health effects, and updated the evidence regarding cancer. The conclusions and recommendations of the Task Group are presented in a WHO Environmental Health Criteria (EHC) monograph (WHO, 2007).

Following a standard health risk assessment process, the Task Group concluded that there are no substantive health issues related to ELF electric fields at levels generally encountered by members of the public. Thus the remainder of this fact sheet addresses predominantly the effects of exposure to ELF magnetic fields.

19.3 Short-term effects

There are established biological effects from acute exposure at high levels (well above 100 μT) that are explained by recognized biophysical mechanisms. External ELF magnetic fields induce electric fields and currents in the body which, at very high field strengths, cause nerve and muscle stimulation and changes in nerve cell excitability in the central nervous system.

19.4 Potential long-term effects

Much of the scientific research examining long-term risks from ELF magnetic field exposure has focused on childhood leukaemia. In 2002, IARC published a monograph classifying ELF magnetic fields as "possibly carcinogenic to humans". This classification is used to denote an agent for which there is limited evidence of carcinogenicity in humans and less than sufficient evidence for carcinogenicity in experimental animals (other examples include coffee and welding fumes). This classification was based on pooled analyses of epidemiological studies demonstrating a consistent pattern of a two-fold increase in childhood leukaemia associated with average exposure to residential power-frequency magnetic field above 0.3 to 0.4 μT . The Task Group concluded that additional studies since then do not alter the status of this classification.

However, the epidemiological evidence is weakened by methodological problems, such as potential selection bias. In addition, there are no accepted biophysical mechanisms that would suggest that low-level exposures are involved in cancer development. Thus, if there were any effects from exposures to these low-level fields, it would have to be through a biological mechanism that is as yet unknown. Additionally, animal studies have been largely negative. Thus, on balance, the evidence related to childhood leukaemia is not strong enough to be considered causal.

Childhood leukaemia is a comparatively rare disease with a total annual number of new cases estimated to be 49,000 worldwide in 2000. Average magnetic field exposures above 0.3 μT in homes are rare: it is estimated that only between 1% and 4% of children live in such conditions. If the association between magnetic fields and childhood leukaemia is causal, the number of cases worldwide that might be attributable to magnetic field exposure is estimated to range from 100 to 2400 cases per year, based on values for the year 2000, representing 0.2 to 4.95% of the total incidence for that year. Thus, if ELF magnetic fields actually do increase the risk of the disease, when considered in a global context, the impact on public health of ELF EMF exposure would be limited.

A number of other adverse health effects have been studied for possible association with ELF magnetic field exposure. These include other childhood cancers, cancers in adults, depression, suicide, cardiovascular disorders, reproductive dysfunction, developmental disorders, immunological modifications, neurobehavioural effects and neurodegenerative disease. The WHO Task Group concluded that scientific evidence supporting an association between ELF magnetic field exposure and all of these health effects is much weaker than for childhood leukaemia. In some instances (i.e. for cardiovascular disease or breast cancer) the evidence suggests that these fields do not cause them.

19.5 International exposure guidelines

Health effects related to short-term, high-level exposure have been established and form the basis of two international exposure limit guidelines (ICNIRP, 1998; IEEE, 2002). At present, these bodies consider the scientific evidence related to possible health effects from long-term, low-level exposure to ELF fields insufficient to justify lowering these quantitative exposure limits.

19.6 WHO's guidance

For high-level short-term exposures to EMF, adverse health effects have been scientifically established (ICNIRP, 2003). International exposure guidelines designed to protect workers and the public from these effects should be adopted by policy makers. EMF protection programs should include exposure measurements from sources where exposures might be expected to exceed limit values.

Regarding long-term effects, given the weakness of the evidence for a link between exposure to ELF magnetic fields and childhood leukaemia, the benefits of exposure reduction on health are unclear. In view of this situation, the following recommendations are given:

- Government and industry should monitor science and promote research programmes to further reduce the uncertainty of the scientific evidence on the health effects of ELF field exposure. Through the ELF risk assessment process, gaps in knowledge have been identified and these form the basis of a new research agenda.
- Member States are encouraged to establish effective and open communication programmes with all stakeholders to enable informed decision-making. These may include improving coordination and consultation among industry, local government, and citizens in the planning process for ELF EMF-emitting facilities.
- When constructing new facilities and designing new equipment, including appliances, low-cost ways of reducing exposures may be explored. Appropriate exposure reduction measures will vary from one country to another. However, policies based on the adoption of arbitrary low exposure limits are not warranted.

19.7 Further reading

WHO - World Health Organization. Extremely low frequency fields. Environmental Health Criteria, Vol. 238. Geneva, World Health Organization, 2007.

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).

ICNIRP - International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Exposure to static and low frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (0-100 kHz). Bernhardt JH et al., eds. Oberschleissheim, International Commission on Non-ionizing Radiation Protection, 2003 (ICNIRP 13/2003).

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 Physics 74(4), 494-522.

IEEE Standards Coordinating Committee 28. IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to electromagnetic fields, 0-3 kHz. New York, NY, IEEE - The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2002 (IEEE Std C95.6-2002).

20 DANKWOORD

Wij bedanken de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM) die ons deze opdracht toekende, de leden van de stuurgroep voor hun bijsturing van het rapport en ELIA voor het aanleveren van de technische gegevens die nodig waren voor het uitvoeren van deze studie.