

Eindrapport

Uitwerking van de resultaten van het consultatietraject ELF: uitwerking en doorrekening van mogelijke beleidsscenario's over bronnen van extreem laag frequente straling

Leen Van Esch (VITO), Klaartje Verbeeck (VITO), Inge Uljee (VITO), Gilbert Decat (GD-EMF-Consulting),
en Guy Engelen (VITO)

Studie uitgevoerd in opdracht van: het departement Leefmilieu, Natuur en Energie
2014/RMA/R/43

April 2014



VITO NV

Boeretang 200 - 2400 MOL - BELGIE
Tel. + 32 14 33 55 11 - Fax + 32 14 33 55 99
vito@vito.be - www.vito.be

BTW BE-0244.195.916 RPR (Turnhout)
Bank 375-1117354-90 ING
BE34 3751 1173 5490 - BBRUBEBB

Alle rechten, waaronder het auteursrecht, op de informatie vermeld in dit document berusten bij de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek NV ("VITO"), Boeretang 200, BE-2400 Mol, RPR Turnhout BTW BE 0244.195.916. De informatie zoals verstrekt in dit document is vertrouwelijke informatie van VITO. Zonder de voorafgaande schriftelijke toestemming van VITO mag dit document niet worden gereproduceerd of verspreid worden noch geheel of gedeeltelijk gebruikt worden voor het instellen van claims, voor het voeren van gerechtelijke procedures, voor reclame of antireclame en ten behoeve van werving in meer algemene zin aangewend worden

INHOUD

Inhoud	I
Lijst van tabellen	IV
Lijst van figuren	VI
HOOFDSTUK 1. Inleiding	1
1.1 Aanleiding van de opdracht	1
1.2 Doelstelling	1
HOOFDSTUK 2. Inventarisatie van de bronnen van B-veld	4
2.1. Luchtlijnen	4
2.1.1. Locatie	4
2.1.2. Spanning	6
2.1.3. Kabeltype	6
2.1.4. Nominale stroom	6
2.1.5. Geografische lengte	7
2.1.6. Oorsprong van de data	7
2.2. Ondergrondse kabels	8
2.2.1. Locatie	8
2.2.2. Spanning	9
2.2.3. Kabeltype	9
2.2.4. Nominale stroom	9
2.2.5. Geografische lengte	9
2.2.6. Oorsprong van de data	10
2.3. Transformatiesites	10
2.3.1. Locatie	11
2.3.2. Spanning	11
2.3.3. Maximaal vermogen/jaargemiddeld vermogen	11
2.3.4. Oppervlakte	11
2.3.5. Oorsprong van de data	11
2.4. Cabines in (of in de buurt van) gebouwen, appartementen of woningen	12
2.4.1. Invoermodule voor cabines	12
2.4.2. Dataset met de cabines die door Infrax en Eandis werden aangeleverd	13
2.4.3. Dataset met de cabines die zijn opgenomen in het Grootchalig ReferentieBestand (GRB)	14
HOOFDSTUK 3. Allocatiemodel voor cabines	16
3.1. Selectie van de cabines voor calibratie en validatie	16
3.1.1. Ontvangen data	16
3.2. Selectie van gemeenten voor validatie en calibratie	20
3.3. Calibratie van het statistisch model	22
3.3.1. Grensvoorwaarden voor de plaatsing van cabines	22
3.3.2. Toelevergebied van de cabines	25

3.3.3.	Elektriciteitsverbruik per Thiessen-polygoon _____	28
3.3.4.	Elektriciteitsverbruik per Thiessen-polygoon afhankelijk van de locatie van de cabine 30	
3.3.5.	Elektriciteitsverbruik per Thiessen-polygoon afhankelijk van de locatie van de cabine en het vermogen van de cabines _____	32
3.4.	<i>Overzicht van de problemen en moeilijkheden</i>	33
3.4.1.	Geleverde adressenlijsten van de cabines door Infrax en Eandis _____	33
3.4.2.	Problemen bij de calibratie van het model _____	34
3.5.	<i>Mogelijke te volgen pistes op basis van deze moeilijkheden</i>	37
3.5.1.	Werken met de cabines waarvan de locatie wel exact gekend is _____	38
3.5.2.	Werken met de cabines waarvan de locatie gekend is in combinatie met een allocatie op straatniveau _____	38
3.5.3.	Werken met een blootstellingsmodel _____	38
3.5.4.	Conclusie _____	39
HOOFDSTUK 4.	De lokalisatie van de verschillende blootstellingsgroepen _____	40
4.1.	<i>Inwoners</i>	40
4.2.	<i>Kinderopvang</i>	45
4.3.	<i>Scholen</i>	49
4.4.	<i>Zorgcentra</i>	50
4.5.	<i>Onbebouwde woonpercelen</i>	50
HOOFDSTUK 5.	Rekenmodule om de blootstelling aan het 50 Hz magnetisch veld van ELF bronnen te berekenen _____	53
5.1.	<i>Gebruikte formules en parameters per ELF-brontype</i>	53
5.1.1.	Ondergrondse kabels _____	53
5.1.2.	Luchtlijnen _____	54
5.1.3.	Cabines _____	56
5.1.4.	Transformatiesites _____	57
5.2.	<i>Rekenmodule</i>	57
5.2.1.	Berekening van het magnetisch inductieveld _____	57
5.2.2.	Berekening van het aantal blootgestelde inwoners/kinderen/... _____	59
HOOFDSTUK 6.	Resultaten _____	62
6.1.	<i>Grootte van het magnetisch veld</i>	62
6.1.1.	Algemeen _____	62
6.1.2.	Gevoeligheid aan de blootstellingshoogte (BH) _____	65
6.1.3.	Gevoeligheid aan de B-veldsterkte _____	68
6.1.4.	Gevoeligheid aan de stroombelasting (SB) _____	71
6.2.	<i>Blootstelling aan het magnetisch veld</i>	74
6.2.1.	Algemeen _____	74
6.2.2.	Gevoeligheid aan de blootstellingshoogte (BH) _____	77
6.2.3.	Gevoeligheid aan de B- veldsterkte _____	78
6.2.4.	Gevoeligheid aan de stroombelasting (SB) _____	78
6.2.5.	Onbebouwde woonpercelen _____	78
6.3.	<i>Enkele eenvoudige scenario's</i>	80

6.3.1.	Minimale hoogte luchtlijnen op 40m brengen	80
6.3.2.	Ondergronds brengen van luchtlijnen	80
6.3.3.	Bovengronds brengen van ondergrondse kabels	81
HOOFDSTUK 7.	Toekomstscenario's	83
7.1.	<i>Inleiding</i>	83
7.1.1.	Omschrijving BAU en de vier Wereldbeelden	83
7.1.2.	De indicator woondichtheid en kinderendichtheid	87
7.2.	<i>Resultaten</i>	89
7.2.1.	Geplande kabels en luchtlijnen (Elia)	89
7.2.2.	Berekening blootstelling	90
7.2.3.	Voor het BAU-scenario	91
7.2.4.	Voor de vier Wereldbeelden	92
7.2.5.	Vergelijking met de globale ontwikkeling	94
HOOFDSTUK 8.	Besluit	95
HOOFDSTUK 9.	Beleidsaanbevelingen	98
9.1.	<i>Luchtlijnen en ondergrondse kabels</i>	98
9.2.	<i>Sites</i>	98
9.3.	<i>Cabines</i>	99
9.4.	<i>Beleidsondersteunend instrument</i>	99
9.5.	<i>Ruimtelijke beleid</i>	99
Literatuurlijst		101
Bijlage		102
BIJLAGE A		102
BIJLAGE B		106
BIJLAGE C		113
BIJLAGE D		114
BIJLAGE E		115

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 2.1: Gemiddelde hoogte t.o.v. het maaiveld van de onderste steunarm, per masttype waarvoor niet geïnterpoleerd kon worden. _____	5
Tabel 2.2: Theoretische aanname van de lengte van de isolatorketting op basis van de spanning op de luchtlijn (Elia, 2006). _____	5
Tabel 2.3: Typische waarden voor de doorhang van luchtlijnen o.b.v. de spanning op de luchtlijn (Engelbrecht & Lundquist, 2011). _____	5
Tabel 2.4: Typische diepte van ondergrondse kabels, in functie van hun spanning (Elia, 2011). ____	8
Tabel 3.1: Aantal paalposten per gemeente _____	18
Tabel 3.2: Procentueel aandeel cabines die binnen een bepaalde bufferzone rond openbare wegen gelegen zijn, met de totale en procentuele oppervlaktes van deze bufferzones. _____	22
Tabel 3.3: Aantal cabines per type landgebruik _____	24
Tabel 3.4: Elektriciteitsverbruik per sector per are in het jaar 2012. _____	28
Tabel 3.5: Ligging van de bestudeerde cabines _____	30
Tabel 3.6: Minimale en maximale waardes van oppervlakten en elektriciteitsverbruik (GJ en GJ/are) van de toelevergebieden van cabines binnen industriële, residentiële en overige zones. ____	31
Tabel 4.1: Het selectieproces van onbebouwde woonpercelen in cijfers. _____	51
Tabel 5.1: Afstanden waarbij enkele norm- of afkapwaarden van magnetische veldsterkte worden waargenomen _____	56
Tabel 6.1: Oppervlakte van de doorsneden van het B-veld met een minimale veldsterkte van 0,4 μ T en een stroombelasting van 50%, op een blootstellingshoogte van 1,5m. _____	62
Tabel 6.2: Gemiddelde hoogte van de bronnen _____	63
Tabel 6.3: Gemiddelde corridorbreedtes (afstandsgewogen) van het B-veld met een minimale veldsterkte van 0,4 μ T en een stroombelasting van 50%, op een hoogte van 1,5m. _____	63
Tabel 6.4: Maximale corridorbreedte ¹ van het B-veld met een minimale veldsterkte van 0,4 μ T en een stroombelasting van 50%, op een hoogte van 1,5m. _____	64
Tabel 6.5: Oppervlaktes van de doorsneden van de B-velden met een minimale veldsterkte van 0,4 μ T en een stroombelasting van 50%, bij een variabele blootstellingshoogte. _____	65
Tabel 6.6: Gemiddelde corridorbreedtes (afstandsgewogen) van de B-velden met een minimale veldsterkte van 0,4 μ T en een stroombelasting van 50%, bij een variabele blootstellingshoogte. _____	65
Tabel 6.7: Oppervlaktes van de doorsneden van de B-velden op een blootstellingshoogte van 1,5m, met een stroombelasting van 50% en met een variabele minimale B-veldsterkte. _____	69
Tabel 6.8: Gemiddelde corridorbreedtes (afstandsgewogen) van de B-velden op een hoogte van 1,5m, met een stroombelasting van 50% en met een variabele minimale magnetische veldsterkte. _____	69
Tabel 6.9: Oppervlaktes van de doorsneden van het B-veld op een hoogte van 1,5m en met een minimale veldsterkte van 0,4 μ T met variabele stroombelastingen van de geleiders. _____	72
Tabel 6.10: Gemiddelde corridorbreedtes ¹ (afstandsgewogen) van het B-veld op een hoogte van 1,5m en met een minimale veldsterkte van 0,4 μ T met variabele stroombelastingen van de geleiders. _____	72
Tabel 6.11: Aantal blootgesteld en voor een B-veld met een minimale veldsterkte van 0,4 μ T, op 1,5m hoogte en met een stroombelasting van 50%, zowel voor de individuele bronnen als de som, met een onderscheid tussen de verschillende rekenwijzen. _____	74

Tabel 6.12: Aantal blootgestelde instellingen voor een B-veld met een minimale veldsterkte van 0,4 μ T, op 1,5m hoogte en met een stroombelasting van 50%, zowel voor de individuele bronnen als de som.	75
Tabel 6.13: Aantal blootgesteld en voor een B-veld met een minimale veldsterkte van 0,4 μ T en met een stroombelasting van 50% voor kabels en luchtlejnen, op variabele blootstellingshoogten.	77
Tabel 6.14: Aantal blootgestelde personen/bedden voor een B-veld op een hoogte van 1,5m en met een stroombelasting van 50% voor kabels en luchtlejnen, met een variabele minimale veldsterkte.	78
Tabel 6.15: Aantal blootgestelde personen/bedden voor een B-veld op een hoogte van 1,5m en met een minimale veldsterkte van 0,4 μ T en met een variabele stroombelasting voor kabels en luchtlejnen.	78
Tabel 6.16: Aantal en oppervlakte van de onbebouwde woonpercelen die blootgesteld worden aan B-velden met een variabele veldsterkte en stroombelasting, berekend met de rekenmethode "tussenvorm".	79
Tabel 6.17: Vergelijking tussen de huidige situatie en het scenario van de oppervlakte van de doorsnede van het B-veld ten gevolge van luchtlejnen met een minimale veldsterkte van 0,4 μ T en een stroombelasting van 50%, op een blootstellingshoogte van 1,5m.	80
Tabel 6.18: Vergelijking tussen de huidige situatie en het scenario van het aantal blootgestelde inwoners, kinderen en huishoudens aan het B-veld ten gevolge van luchtlejnen met een minimale veldsterkte van 0,4 μ T en een stroombelasting van 50% op een blootstellingshoogte van 1,5m.	80
Tabel 6.19: Vergelijking van de oppervlaktes van het B-veld in de huidige situatie en het scenario "ondergronds brengen van luchtlejnen". Het B-veld werd berekend voor volgende parameters: stroombelasting 50%, minimale veldsterkte: 0,4 μ T, blootstellingshoogte: 1,5m.	81
Tabel 6.20: Vergelijking van het aantal blootgestelde huishoudens, inwoners en kinderen aan het totale B-veld in de huidige situatie en in het scenario "ondergronds brengen van luchtlejnen". Het B-veld werd berekend voor volgende parameters: stroombelasting 50%, minimale veldsterkte: 0,4 μ T, blootstellingshoogte: 1,5m.	81
Tabel 6.21: Vergelijking van de oppervlaktes van het B-veld in de huidige situatie en het scenario "bovengronds brengen van ondergrondse kabels". Het B-veld werd berekend voor volgende parameters: stroombelasting 50%, minimale veldsterkte: 0,4 μ T, blootstellingshoogte: 1,5m.	81
Tabel 6.22: Vergelijking van het aantal blootgestelde huishoudens, inwoners en kinderen aan het totale B-veld in de huidige situatie en in het scenario "bovengronds brengen van ondergrondse kabels". Het B-veld werd berekend voor volgende parameters: stroombelasting 50%, minimale veldsterkte: 0,4 μ T, blootstellingshoogte: 1,5m	82
Tabel 7.1: Lengte van de actuele en geplande luchtlejnen en ondergrondse kabels.	90
Tabel 7.2: Aantal blootgestelde inwoners (in absolute en relatieve cijfers) aan een magnetisch veld van 0,4 μ T op een blootstellingshoogte van 1,5m voor de verschillende scenario's.	93
Tabel 7.3: Ontwikkeling van het aantal blootgesteld en de totale bevolking in de periode 2013-2050	94
Tabel A.0.1: Karakteristieken van de lijngeleiders en overeenkomstige stromen (Elia, 2014).	102
Tabel A.0.2: Karakteristieken van de ondergrondse kabelgeleiders en overeenkomstige stromen (Elia, 2014).	104

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 2.1: Locatie van de bestaande en geplande luchtlijnen in Vlaanderen(versie 2013)	4
Figuur 2.2: Locatie van de bestaande en geplande ondergrondse kabels in Vlaanderen	8
Figuur 2.3: Locatie van de hoogspanningssites en transformatieposten Vlaanderen	10
Figuur 2.4: Invoermodule voor het aanmaken van een nieuw punt in het cabinebestand.	13
Figuur 2.5: Spreiding van de cabines die werden aangeleverd door Infrax en Eandis.	14
Figuur 2.6: Spreiding van de cabines die voorkomen in het Vlaams Grootschalig Referentiebestand.	15
Figuur 3.1: Grafiek van het aantal paalposten en het aantal andere cabines per specifiek vermogen.	17
Figuur 8: Voorbeeld van een paalpost te Diksmuide (bron foto: Google StreetView, 2014)	18
Figuur 3.3: Cabines uit de lijst die paalposten blijken te zijn (aangeduid in het roze).	19
Figuur 3.4: Frequentiedistributie van het aandeel klantcabines in de gemeenten beheerd door Infrax.	19
Figuur 3.5: Geografische opdeling van Gent in een calibratie- en validatiezone.	20
Figuur 3.6: Overzicht van de gemeenten waarbinnen de cabines ter calibratie of ter validatie van het model gebruikt werden.	21
Figuur 3.7: Cabines die wel en niet (aangeduid in het geel) binnen de buffer van 10m rond de openbare wegen gelegen zijn.	23
Figuur 3.8: Resulterende Thiessen-polygonen met een frequentie-distributie van de oppervlaktes van de polygonen.	25
Figuur 3.9: De verstedelijkingsindicator op een resolutie van 1ha.	26
Figuur 3.10: Puntdiagram waarbij de oppervlakte van de Thiessenpolygonen rondom een distributiecabine werd uitgezet ten opzichte van de verstedelijkingsgraad op de locatie van de cabine.	27
Figuur 3.11: Potentieel elektriciteitsverbruik per cel van 1ha. De donkere grenzen duiden de calibratiegemeenten aan.	29
Figuur 3.12: Elektriciteitsverbruik per toelevergebied van de cabines (in GJ per Thiessen-polygoon) met een frequentie-distributie van het verbruik per polygoon.	29
Figuur 3.13: Uitgemiddeld elektriciteitsverbruik per are van de toelevergebieden van de cabines (in GJ per are) met de frequentiedistributie van het uitgemiddelde verbruik per polygoon en dus cabine.	30
Figuur 3.14: Ligging van de calibratiecabines in bedrijventones, woonzones of overige zones.	31
Figuur 3.15: Frequentieverdeling, minima en maxima en gemiddelde van het vermogen van cabines gelegen binnen woongebied	32
Figuur 3.16: Frequentieverdeling, minima en maxima en gemiddelde van het vermogen van cabines gelegen binnen bedrijventerreinen	32
Figuur 3.17: Frequentieverdeling, minima en maxima en gemiddelde van het vermogen van cabines gelegen binnen bedrijventerreinen én woonzones	33
Figuur 3.18: Frequentieverdeling, minima en maxima en gemiddelde van het vermogen van cabines gelegen binnen overige zones	33
Figuur 3.19: Links: Foto met electriciteitscabine met transformatorhuisje in de gemeente Koekelare; Rechts: Foto met elektriciteitscabine in de gemeente Ichtegem(Bron: Inventaris Onroerend erfgoed)	36
Figuur 3.20: Foto's van kapellen waar in de achterzijde (links) of in het interieur (rechts) een elektriciteitscabine gelegen is, gemeente Izegem (Bron: Inventaris Onroerend erfgoed)	36
Figuur 3.21: Google Streetview beeld van een cabine op een speelplein aan de Tovenarsstraat te Gistel (Google, 2013)	37

Figuur 4.1: Ruimtelijke spreiding van het aantal inwoners, in aantal per hectare (2013)	41
Figuur 4.2: Detailbeeld van de ruimtelijke spreiding van het aantal inwoners, regio Antwerpen.	41
Figuur 4.3: Positionering van het puntenbestand met inwoners ten opzichte van de gebouwen en de perceelsranden	42
Figuur 4.4: Twee GRB-hoofdgebouwen boven mekaar.	43
Figuur 4.5: Inwonerpunt bevindt zich op de raaklijn tussen twee GRB-hoofdgebouwen.	43
Figuur 4.6: Verschil tussen een DSM en een DTM	44
Figuur 4.7: Hoogtegegevens per gebouw voor de regio Leuven (uitgedrukt in cm)	44
Figuur 4.8: Berekening van het aantal huishoudens, inwoners en kinderen op drie verschillende manieren	45
Figuur 4.9. Selectie van onbebouwde woonpercelen op basis van de datasets Kadastrale percelen (GRB+CADMAP),Kadastrale gebouwen(GRB) en de Ruimteboekhouding	52
Figuur 5.1: Schematische voorstelling van het B-veld rond een ondergrondse kabel en de parameters die in rekening worden gebracht bij de berekening ervan.	53
Figuur 5.2 Schematische voorstelling van de opstelling en het B-veld rond luchtlijnen en de parameters die in rekening worden gebracht bij de berekening ervan.	54
Figuur 5.3: Schematische voorstelling van de doorhang bij twee verschillende masthoogten.	55
Figuur 5.4 Schematische voorstelling van het B-veld rond een cabine en de parameters die in rekening worden gebracht bij de berekening ervan.	56
Figuur 5.5: Schematische voorstelling van het B-veld rond een transformatiesite en de parameters die in rekening worden gebracht bij de berekening ervan.	57
Figuur 5.6: Weergave van de rekenmodule voor het berekenen van het B-veld rondom bepaalde bronnen.	58
Figuur 5.7: Invoerscherm voor het berekenen van de blootstelling van schoolgaande kinderen aan de opgegeven B-velden (ELF-buffers). De invoerschermen voor woningen, kinderdagopvang en zorgcentra hebben dezelfde opbouw.	59
Figuur 5.8: Resultatentabel voor de blootstelling van scholen aan een B-veld met een maximale sterkte van 0,4 μ T op maaiveldhoogte voor de bronnen luchtlijnen, ondergrondse kabels en transformatiesites gecombineerd en met een veronderstelling van een stroombelasting van 50% voor de luchtlijnen en ondergrondse kabels.	60
Figuur 5.9: (Deel van een) Attribuentabel van de geproduceerde blootstellingsshapefile voor de blootstelling van scholen aan een magnetisch veld met kenmerken 0,4 μ T; 0m; kabels/luchtlijnen/sites).	61
Figuur 6.1: Contouren van het B-veld rond twee parallelle luchtlijnen waarbij een stroombelasting van 50% wordt verondersteld en met een minimale veldsterkte van 0,4 μ T op variabele blootstellingshoogten.	67
Figuur 6.2: Contouren van het B-veld rond een ondergrondse kabel waarbij een stroombelasting van 50% wordt verondersteld en met een minimale veldsterkte van 0,4 μ T op variabele blootstellingshoogten.	67
Figuur 6.3: Contouren van het B-veld rond twee transformatiesites met een minimale veldsterkte van 0,4 μ T op variabele blootstellingshoogten.	68
Figuur 6.4: Contouren van het B-veld rond een distributiecabine met een minimale veldsterkte van 0,4 μ T op variabele blootstellingshoogten.	68
Figuur 6.5: Contouren van het B-veld rond luchtlijnen, waarbij een stroombelasting van 50% wordt verondersteld, op 1,5m hoogte en met variabele minimale veldsterkten.	70
Figuur 6.6: Contouren van het B-veld rond een ondergrondse kabel, waarbij een stroombelasting van 50% wordt verondersteld, op 1,5m hoogte en met variabele minimale veldsterkten.	70
Figuur 6.7: Contouren van het B-veld binnen een transformatorsite op 1,5m hoogte en met variabele minimale veldsterkten.	71

Figuur 6.8: Contouren van het B-veld rond twee distributiecabines op 1,5m hoogte en met variabele minimale veldsterkten. _____	71
Figuur 6.9: Contouren van het B-veld rond een ondergrondse kabel op 1,5m blootstellingshoogte met een minimale stroomsterkte van 0,4 μ T en variabele stroombelastingen. _____	73
Figuur 6.10: Contouren van het B-veld rond luchtlijnen op 1,5m blootstellingshoogte met een minimale stroomsterkte van 0,4 μ T en variabele stroombelastingen. _____	73
Figuur 6.11: Situatieplan van het B-veld veroorzaakt door luchtlijnen en de ligging van de schoolgebouwen en buitenterreinen die hieraan blootgesteld worden. De luchtlijnen zouden zich ongeveer op 40m boven het maaiveld bevinden. _____	75
Figuur 6.12: Twee StreetView beelden (Google, 2014) van de betreffende school, waarbij de luchtlijnen zichtbaar aanwezig zijn. _____	76
Figuur 6.13: Situatieplan van B- veld veroorzaakt door ondergrondse kabels en de ligging van de schoolgebouwen en buitenterreinen die hieraan blootgesteld worden. _____	77
Figuur 7.1: De vier Wereldbeelden voor Vlaanderen gepositioneerd in de vier kwadranten van het assenstelsel van de WLO-studie _____	84
Figuur 7.2: Ontwikkeling van de Vlaamse bevolking volgens het BAU-scenario en de vier Wereldbeelden _____	86
Figuur 7.3: Evolutie van het aantal 0-14 jarigen tussen 2013 en 2060 per arrondissement (2013 = referentiejaar) _____	87
Figuur 7.4: Methodologie van de berekening van de startkaart van de woondichtheid _____	88
Figuur 7.5: Ruimtelijke spreiding van het aantal kinderen in Vlaanderen (2013) _____	88
Figuur 7.6: Berekening van het aantal blootgestelde kinderen binnen een contour rond actuele en geplande luchtlijnen _____	91
Figuur 7.7: Aantal blootgestelde inwoners en kinderen voor de zichtjaren 2013, 2030 en 2050 volgens het BAU-scenario (magnetisch veld van 0,4 μ T op een blootstellingshoogte van 1,5m) _____	92
Figuur 7.8: Aantal blootgestelde inwoners aan een magnetisch veld van 0,4 μ T voor een blootstellingshoogte van 1,5m en een stroombelasting van 25% _____	93

HOOFDSTUK 1. INLEIDING

1.1 AANLEIDING VAN DE OPDRACHT

In een door het departement Leefmilieu, Natuur en Energie georganiseerde studie en workshop (zie <http://www.lne.be/themas/milieu-en-gezondheid/hogspanning/hogspanning/#resultaat>) werd er door een groep experts en maatschappelijke belangengroepen voor gepleit om gemiddelde waarden van het magneetveld van meer dan enkele tienden van een microtesla te vermijden omdat er een statistisch verband gevonden is tussen wonen in de omgeving van hoogspanningslijnen en het frequenter voorkomen van leukemie bij kinderen. Magnetische velden van hoogspanningslijnen werden daarom reeds in 2002 door het Internationaal Agentschap voor Onderzoek naar Kanker als mogelijk kankerverwekkend geklasseerd (klasse 2B).

Het resultaat van het consultatietraject gaf aanleiding tot een beleidsvisie over het omgaan met nieuwe hoogspanningslijnen in Vlaanderen die werd opgenomen in een mededeling aan de Vlaamse regering. De mededeling aan de Vlaamse regering was een gezamenlijk initiatief van de minister van Welzijn, Volksgezondheid en Gezin, de minister van Energie, Wonen, Steden en Sociale Economie, de minister van Leefmilieu, Natuur en Cultuur en de minister van Financiën, Begroting, Werk, Ruimtelijke Ordening en Sport.

Voor nieuwe, nog te bouwen, hoogspanningslijnen wil de Vlaamse overheid ervoor zorgen om bij voorkeur geen bestaande scholen en kinderopvangvoorzieningen en om zo weinig mogelijk woningen of bouwgronden te overspannen. Voor bestaande hoogspanningslijnen beveelt de Vlaamse overheid aan om geen nieuwe scholen of kinderopvangvoorzieningen in de magneetveldzone van bestaande hoogspanningslijnen te plaatsen.

Deze mededeling gaat enkel over hoogspanningslijnen, maar wat blootstelling van de bevolking aan magnetische velden betreft, moeten op langere termijn ook andere bronnen van extreem laagfrequente elektromagnetische velden (ELF) in rekening gebracht worden. Om dat beleid te voeren (niet enkel hoogspanningslijnen) is het belangrijk om de ligging van de verschillende bronnen en de sterkte van het magnetische veld rond deze bronnen te kennen zodat de blootstelling van gevoelige groepen berekend kan worden. Momenteel is die informatie nog niet beschikbaar.

Met deze opdracht wil LNE een aanvang nemen met de integrale inventarisatie van de bronnen, de berekening van de magnetische velden en de potentiële blootstelling in kaart brengen (letterlijk). Het doel is niet alleen om een gedetailleerd beeld te krijgen van de huidige toestand, maar tevens te kunnen beschikken over een flexibel rekeninstrument dat toelaat om, als onderdeel van scenario's, technische en beleidsmaatregelen door te rekenen op hun effectiviteit, zowel economisch als sociaal.

1.2 DOELSTELLING

De doelstellingen van deze studie zijn:

- Inventarisatie van de verschillende bronnen van ELF magnetische velden die voor milieublootstelling relevant zijn;

- Het opstellen van een rekenmodel dat het mogelijk maakt om de blootstelling aan magnetische velden van ELF bronnen zoals hoog- en middenspanningslijnen, transformatieposten en cabines te berekenen, waarbij magnetische veldsterkte, stroombelasting en blootstellingshoogte flexibel in te stellen parameters zijn;
- Bij gebrek aan kennis over de exacte locaties van de cabines, zal in het rekenmodel een module voorzien worden om cabines handmatig in te voeren. De blootstelling van omwonenden en andere bestemmingen errond kan dan berekend worden door het invoeren van relevante parameters.
- De output van het rekenmodel moet in een GIS-viewer ingevoerd kunnen worden om voor elke bron de blootstelling te visualiseren in 3D.
- De output moet ook in GIS ingevoerd worden zodat de opdrachtgever er analyses mee kan uitvoeren. De output moet ook een hoogte-component bevatten.
- Uitvoeren van scenarioberekeningen. Als toekomstscenario wordt gekozen voor het 'Business as usual' – scenario, met zichtjaren 2030 en 2050. Er wordt gefocust op kinderen waarbij het aantal kinderen in de toekomst geschat wordt aan de hand van de mogelijke uitbreiding van woongebied met het RuimteModel Vlaanderen. Ook wordt de ontwikkeling van de totale bevolking onderzocht voor vier Wereldbeelden voor dezelfde zichtjaren.
- Er wordt input geleverd voor de ontwikkeling van een fiche voor de map 'Bouw Gezond' over de inplanting van cabines in de buurt van woningen/appartementsgebouwen en kantoorgebouwen. De fiche worden opgemaakt in overeenstemming met de opmaak van de al bestaande fiches en het doet aanbevelingen over de plaatsing van cabines.
- Er wordt inhoud geleverd voor de ontwikkeling van een 'code van goede praktijk' die de netbeheerders kunnen gebruiken bij de inplanting en inrichting van cabines. Die code kan gebruikt worden door de distributienetbeheerders en hun partners en aannemers.

Hieruit blijkt een onderzoek- en ontwikkeltraject dat aanleiding is tot:

1. een database die een zo nauwkeurig mogelijke inventaris bevat van de verschillende bronnen van ELF. Het betreft een GIS-gebaseerde database die het mogelijk maakt om de locatie van verschillende bronnen geografisch erg gedetailleerd in beeld te brengen (met een GIS-viewer), maar ook de invoer is voor berekeningen die geografisch gedetailleerd en in de 3 dimensies (3D) van de geografische ruimte uitgevoerd worden (incl. de blootstellingsberekeningen). Het aanpassen van bepaalde parameters in deze database kan onderdeel zijn van een scenario-oefening.
2. het ontwikkelen van een rekenmodule, en de noodzakelijke ondersteunende software, dat de toestand met betrekking tot ELF vandaag in beeld kan brengen (grootte magnetisch veld en selectie blootgestelde groepen), maar ook, en vooral inzetbaar is als een beleidsondersteunend instrument waarmee de effectiviteit van potentiële technische ingrepen en beleidsmaatregelen gespecificeerd als onderdeel van scenario's kan doorrekenen.
3. het uitvoeren van scenarioberekeningen die voor een BAU-scenario en vier Wereldbeelden de blootstelling berekend.
4. het voorgaande moet aanleiding zijn tot een eerste reeks gedragsaanbevelingen.

De rekenmodule en de GIS-database worden samen met een uitgebreide handleiding integraal opgeleverd bij de eindgebruiker. Tijdens de ontwikkeling is er rekening gehouden met het feit dat de eindgebruiker deze zelfstandig zal kunnen gebruiken en aanpassen. Dit stelt speciale eisen aan de graad van afwerking en het niveau van gebruiksvriendelijkheid.

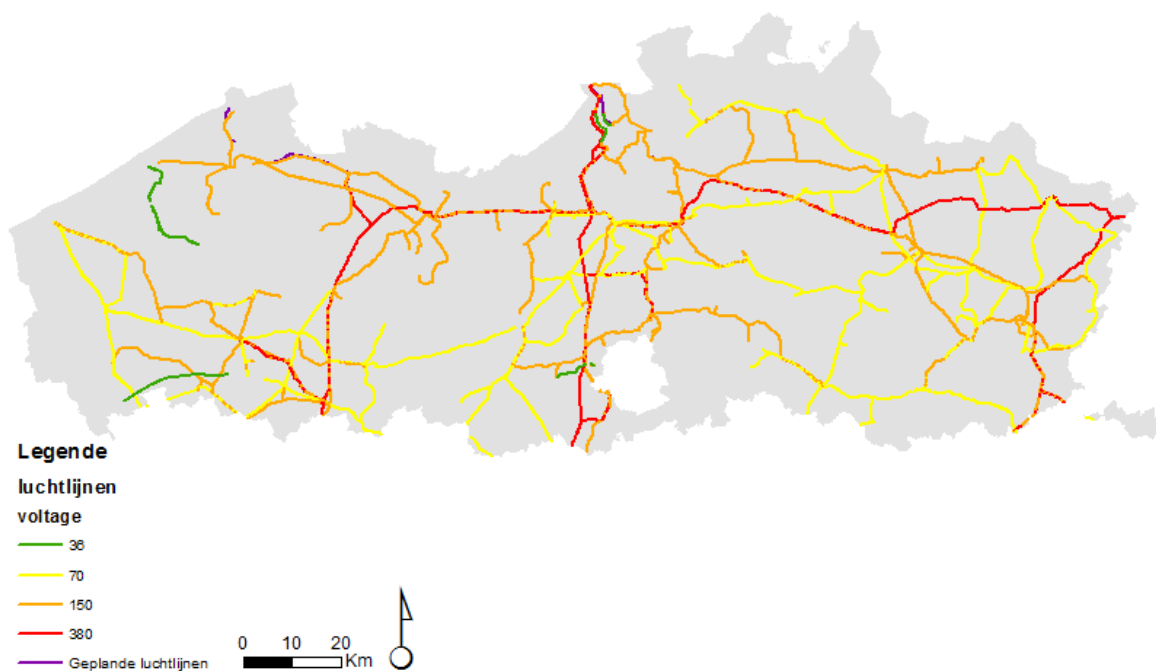
Dit eindrapport beschrijft de inventarisatie van de ELF-bronnen, het in kaart brengen van de blootstellingsbronnen, het rekenmodel met resultaten, een scenario-oefening en

beleidsaanbevelingen. De modellen die gebruikt worden om het magnetisch veld rond de verschillende ELF-bronnen te berekenen, zijn gebaseerd op een uitgebreide meetcampagne uitgevoerd door GD-EMF-Consulting. De meetcampagne en modellering voor cabines en transformatieposten maakten deel uit van deze studie. Dit wordt beschreven in bijlage C, D en E.

HOOFDSTUK 2. INVENTARISATIE VAN DE BRONNEN VAN B-VELD

In deze fase van de studie wordt een zo accuraat en volledig mogelijke inventaris gemaakt van de belangrijkste bronnen van B-veld, met name luchtlijnen, ondergrondse kabels, elektriciteitscabines en transformatoren. De inventaris wordt technisch opgebouwd in een GIS-gebaseerde database. Het betreft een vector-GIS database. De bronnen worden bijgevolg weergegeven als punten, lijnen of polygonen al naargelang het fysisch voorkomen van de bron en de beschikbare informatie. Elke bron wordt gedocumenteerd op basis van een aantal kenmerken die opgenomen worden in de corresponderende attributentabel. Het bestand is aanpasbaar en uitbreidbaar en wordt ingezet voor de rekenmodule die de blootstellingscontouren berekend (zie hoofdstuk 5).

2.1. LUCHTLIJNEN



Figuur 2.1: Locatie van de bestaande en geplande luchtlijnen in Vlaanderen (versie 2013)

2.1.1. LOCATIE

De geografische 2 dimensionale ligging van alle luchtlijnen werd geleverd door ELIA. Deze informatie bevatte echter geen informatie betreffende de hoogte (z-waarde) van de specifieke lijnsegmenten. Deze z-waarden werden afgeleid uit een extra geleverde dataset die de hoogte van de onderste mastarm van alle steunmasten bevat. Deze hoogte werd toegekend aan het begin- of eindstuk van elk lijnsegment. Wanneer de hoogtewaarde van een mastarm echter ontbrekend of onbekend bleek te zijn, werd deze geïnterpoleerd tussen de twee aansluitende hoogtemasten. Indien deze lineaire interpolatie niet mogelijk was, werd de gemiddelde hoogte van het specifieke masttype toegepast, die werd afgeleid uit de oorspronkelijke dataset betreffende de steunmasten.

Tabel 2.1: Gemiddelde hoogte t.o.v. het maaiveld van de onderste steunarm, per masttype waarvoor niet geïnterpoleerd kon worden.

Masttype	Gemiddelde hoogte (m)
AMS 228	39
BFI2	24
HP	33
TD_22	63
TFI21	40
TFO21	41
TP	31
TT_11	30

Om de effectieve hoogte van de lijnen ter hoogte van de steunarmen te kennen, moet van de hoogte van de onderste mastarm nog de lengte van de isolator verminderd worden. Er wordt immers verondersteld dat alle luchtlijnen opgehangen zijn met behulp van een isolatorketting. De lengte van deze isolatorketting is afhankelijk van de spanning op de luchtlijn (tabel 2.2). Deze lengte is echter onbekend voor masten met een spanning van 36kV. Hierbij werd de hoogte van de onderste mastarm dan ook genomen als de hoogte van de lijn zelf.

Tabel 2.2: Theoretische aanname van de lengte van de isolatorketting op basis van de spanning op de luchtlijn (Elia, 2006).

Spanning (kV)	Lengte isolatorketting (m)
36	onbekend
70	1,75
150	2,66
380	4,26

De configuratie van luchtlijnen tussen twee steunarmen wordt beschreven aan de hand van een paraboolfunctie, waarvan het verschil tussen het hoogste en het laagste punt (doorhang) afhankelijk is van de spanning op de specifieke lijn (tabel 2.3). In de shapefile is er per luchtlijn slechts één parameter mogelijk om de variabele hoogte langs de lijn te beschrijven, en dit is dan de doorhang in het midden van de lijn. Deze parameter werd vermeld in de attributentabel onder de naam “doorhang” en zal gebruikt worden bij de berekening van het magnetisch veld. In het rekenmodel zelf wordt elke luchtlijn vertaald in segmenten van telkens 25m met elk een unieke hoogte (op basis van die paraboolfunctie).

Tabel 2.3: Typische waarden voor de doorhang van luchtlijnen o.b.v. de spanning op de luchtlijn (Engelbrecht & Lundquist, 2011).

Spanning (kV)	Doorhang (m)
36	10
70	10
150	12
380	16

In de databank over luchtlijnen werd nog extra informatie toegevoegd per luchtlijn aangaande de betrouwbaarheid van toegekende gegevens over de (x,y,z) positie:

- Bbh_L: betrouwbaarheid van de 2D locatie
 - 1 = locatie aangeleverd en betrouwbaar

- Bbh_Z: betrouwbaarheid van de hoogtelocatie
 - 2 = hoogte gebaseerd op theoretische aannames (dit geldt voor de aanwezigheid en lengte isolator en de doorhang)
 - 5 = hoogte zou gebaseerd moeten zijn op theoretische aanname, maar kennis over het verband met de andere parameter ontbreekt (dit geldt voor de lengte van de isolatorketting bij 36kV)

Extra attributen in de shapefile:

- Z_s_mast : z-hoogte van de onderste mastarm bij het startpunt van het lijnsegment
- Z_e_mast : z-hoogte van de onderste mastarm bij het eindpunt van het lijnsegment
- Z_s_lijn : z-hoogte van de onderste luchtlijn bij het startpunt van het lijnsegment
- Z_e_lijn : z-hoogte van de onderste luchtlijn bij het eindpunt van het lijnsegment
- Doorhang: maximale doorhang, gebaseerd op de spanning van de luchtlijn

2.1.2. SPANNING

De spanning werd per lijnsegment aangeleverd en betreft 36, 70, 150 of 380 kV. Een aantal aangeleverde lijnsegmenten kenden een spanning lager dan 36kV, deze werden niet weerhouden voor deze studie.

2.1.3. KABELTYPE

Het maximaal vermogen en het jaargemiddeld vermogen kan theoretisch bepaald worden op basis van het kabeltype. Daarom bevat deze dataset nog een extra attribuut, nl. het kabeltype. De code van het kabeltype bevat doorgaans het aantal fasen, de doorsnede van de kabel en het materiaal waaruit de kabel is opgebouwd.

In de oorspronkelijke dataset werden de kabeltypes meegeleverd, maar ontbreekt deze informatie voor een aantal segmenten (222 segmenten, waarvan 171 geplande). De ontbrekende kabeltypes van de bestaande lijnen werden aangevuld op basis van aansluitende lijnsegmenten of lijnsegmenten in de directe omgeving. De ontbrekende kabelsegmenten van geplande kabeltypes staan aangeduid als “? Unknown”, in het model wordt voor dit type gerekend met een standaardwaarde voor de nominale stroom (Zie paragraaf 5.1.2).

Betrouwbaarheid (bbh_K):

- 1: aangeleverd kabeltype, betrouwbaar
- 2: aangeleverd kabeltype, onbetrouwbaar (dit komt voor wanneer de spanning in het kabeltype niet overeenkomt met de spanning onder “voltage”, of wanneer het kabeltypes zijn die normaal gezien enkel gebruikt worden voor ondergrondse kabels)
- 3: kabeltype gebaseerd op kabeltype die aansluiten of in de omgeving van het kabelsegment voorkomen
- 4: gepland kabeltype, onbekend

2.1.4. NOMINALE STROOM

De lijncapaciteit kan theoretisch toegekend worden op basis van het kabeltype en de spanning (Zie tabel A.1 in Bijlage). De lijncapaciteit bepaalt het maximum wat in theorie door de lijn kan gaan en wordt nominale stroom genoemd. Een lijn wordt echter nooit op zijn nominale stroom uitgebaat want hij moet in staat zijn om de belasting van een andere lijn ogenblikkelijk over te nemen in

geval van defect in het net. Daardoor is normaliter de maximum stroom ongeveer gelijk aan de helft van de nominale stroom (Decat 2007). De waarde voor nominale stroom wordt in het rekenmodel gebruikt, waarbij de keuze kan gemaakt worden tussen een stroombelasting van 25% (jaargemiddelde stroom volgens Elia, 2011), 50%, 75% en 100%. Indien het kabeltype niet gelinkt kon worden aan een nominale stroom of onbekend is, werd de waarde in de attributentabel op 0 gehouden en zal door het rekenmodel een standaardwaarde gebruikt worden (Zie paragraaf 5.1.2).

Betrouwbaarheid (Bbh_I):

- 3: nominale stroom afgeleid uit het kabeltype
- 4: default nominale stroom gebaseerd op de spanning (wanneer de nominale stroom niet afgeleid kon worden uit het kabeltype)

2.1.5. GEOGRAFISCHE LENGTE

De totale geografische lengte van de luchtlijnen werd bepaald door de lengte te berekenen van de trajecten waar één of meerdere lijnen lopen. Wanneer meerdere lijnen op minder dan 5m afstand parallel van elkaar gelegen zijn, worden deze beschouwd als liggende binnen hetzelfde traject en werd hun lengte maar éénmaal in rekening gebracht.

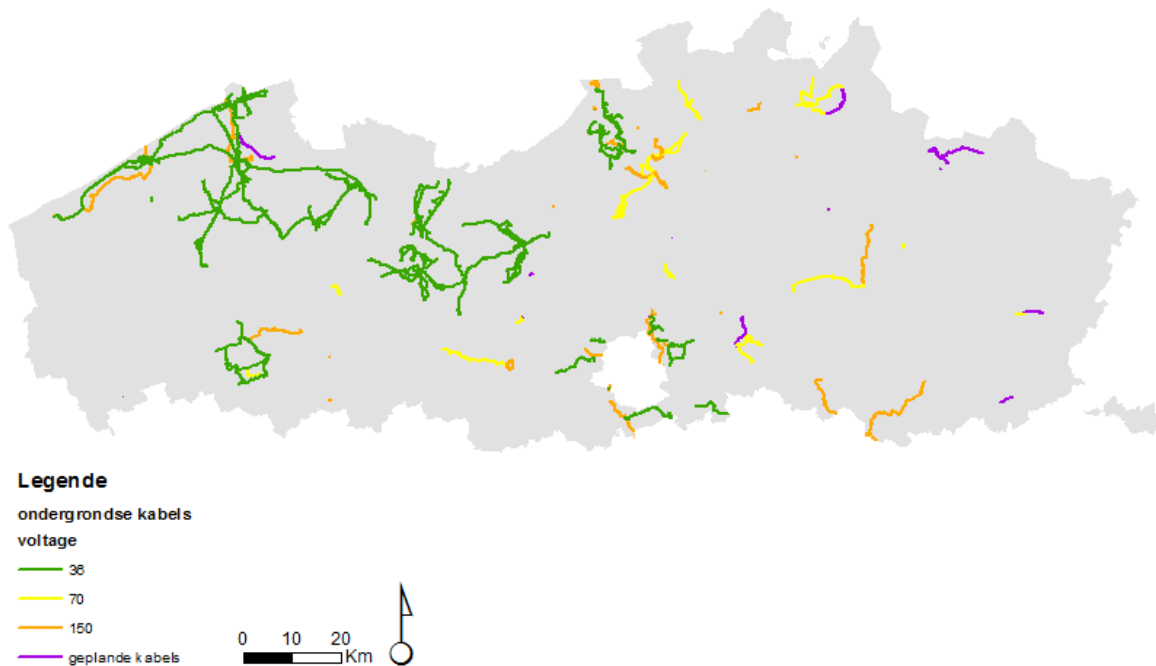
Er wordt een onderscheid gemaakt tussen de toestand in 2013 en de geplande toestand, waarbij de geplande lijnen werden toegevoegd en de lijnen die in een verwijderingsproject zitten werden uitgesloten.

- Toestand in 2013: 2789 km
- Geplande toestand : 2829 km

2.1.6. OORSPRONG VAN DE DATA

ELIA, aangeleverd in mei 2013.

2.2. ONDERGRONDSE KABELS



Figuur 2.2: Locatie van de bestaande en geplande ondergrondse kabels in Vlaanderen

2.2.1. LOCATIE

De geografische 2 dimensionale ligging van alle ondergrondse kabels werd geleverd door ELIA. ELIA heeft aangegeven dat deze informatie echter niet zeer betrouwbaar is doordat de effectieve locatie van de kabels soms enkele meters afwijkt van deze dataset. De effectieve locatie wordt doorgaans nauwkeuriger geïnventariseerd op gedetailleerd plannen, maar deze zijn niet geografisch gedigitaliseerd. De diepte van de kabels werd bovendien niet aangeleverd, daarom wordt een standaarddiepte aangenomen op basis van de spanning op de kabel (zie tabel 2.4).

Tabel 2.4: Typische diepte van ondergrondse kabels, in functie van hun spanning (Elia, 2011).

Spanning (kV)	Diepte (m)
36	0,9
70	1,45
150	1,50
380	1,8

Betrouwbaarheid van de toegekende waarden:

- Bbh_L: betrouwbaarheid van de 2D locatie
 - 2 = locatie aangeleverd en onbetrouwbaar
- Bbh_Z: betrouwbaarheid van de hoogtelocatie
 - 2 = hoogte gebaseerd op theoretische aannames, verband met een andere parameter

2.2.2. SPANNING

De spanning werd per lijnsegment aangeleverd en betreft 36, 70, 150 of 380 kV.

2.2.3. KABELTYPE

Het maximaal vermogen en het jaargemiddeld vermogen kan theoretisch bepaald worden op basis van het kabeltype. Daarom bevat deze dataset nog een extra attribuut, nl. het kabeltype. De code van het kabeltype bevat doorgaans het aantal fasen, de doorsnede van de kabel en het materiaal waaruit de kabel is opgebouwd.

In de oorspronkelijke dataset werden de kabeltypes meegeleverd, maar ontbreekt deze informatie voor een aantal segmenten (24 uit de 629 kabelsegmenten, waarvan 6 geplande). De ontbrekende kabeltypes van de bestaande lijnen werden aangevuld op basis van aansluitende lijnsegmenten of lijnsegmenten in de directe omgeving. De ontbrekende kabelsegmenten van geplande kabeltypes staan aangeduid als “? Unknown”, in het model wordt voor dit type gerekend met een standaardwaarde voor de nominale stroom (Zie paragraaf 5.1.1).

Betrouwbaarheid (Bbh_K):

- 1: aangeleverd kabeltype, betrouwbaar
- 2: aangeleverd kabeltype, onbetrouwbaar (spanning in kabeltype komt niet overeen met cijfer onder “voltage”).
- 3: kabeltype gebaseerd op kabeltype die aansluiten of in de omgeving van het kabelsegment voorkomen
- 4: gepland kabeltype, onbekend

2.2.4. NOMINALE STROOM

De lijncapaciteit kan theoretisch toegekend worden op basis van het kabeltype en de spanning (Zie tabel A.2 in Bijlage). De lijncapaciteit bepaalt het maximum wat in theorie door de kabel kan gaan en wordt nominale stroom genoemd. Een kabel wordt echter nooit op zijn nominale stroom uitgebaat want hij moet in staat zijn om de belasting van een andere kabel ogenblikkelijk over te nemen in geval van defect in het net. Daardoor is normaliter de maximum stroom ongeveer gelijk aan de helft van de nominale stroom (Decat 2007). Indien het kabeltype niet gelinkt kan worden aan een nominale stroom, werd de waarde in de attributentabel op 0 gehouden en zal door het rekenmodel een standaardwaarde gebruikt worden (Zie paragraaf 5.1.1)..

Betrouwbaarheid (Bbh_I):

- 3: nominale stroom afgeleid uit het kabeltype
- 4: default nominale stroom gebaseerd op de spanning (wanneer de nominale stroom niet afgeleid kon worden uit het kabeltype)

2.2.5. GEOGRAFISCHE LENGTE

De totale geografische lengte van de ondergrondse kabels werd bepaald door de lengte te berekenen van de trajecten waar één of meerdere kabels lopen. Wanneer meerdere kabels op minder dan 5m afstand parallel van elkaar gelegen zijn, worden deze beschouwd als liggende binnen hetzelfde traject en werd hun lengte maar éénmaal in rekening gebracht.

Er wordt een onderscheid gemaakt tussen de toestand in 2013 en de geplande toestand, waarbij de geplande ondergrondse kabels werden toegevoegd en de kabels die in een verwijderingsproject zitten werden uitgesloten.

- Toestand in 2013: 1847 km
- Geplande toestand: 1889 km

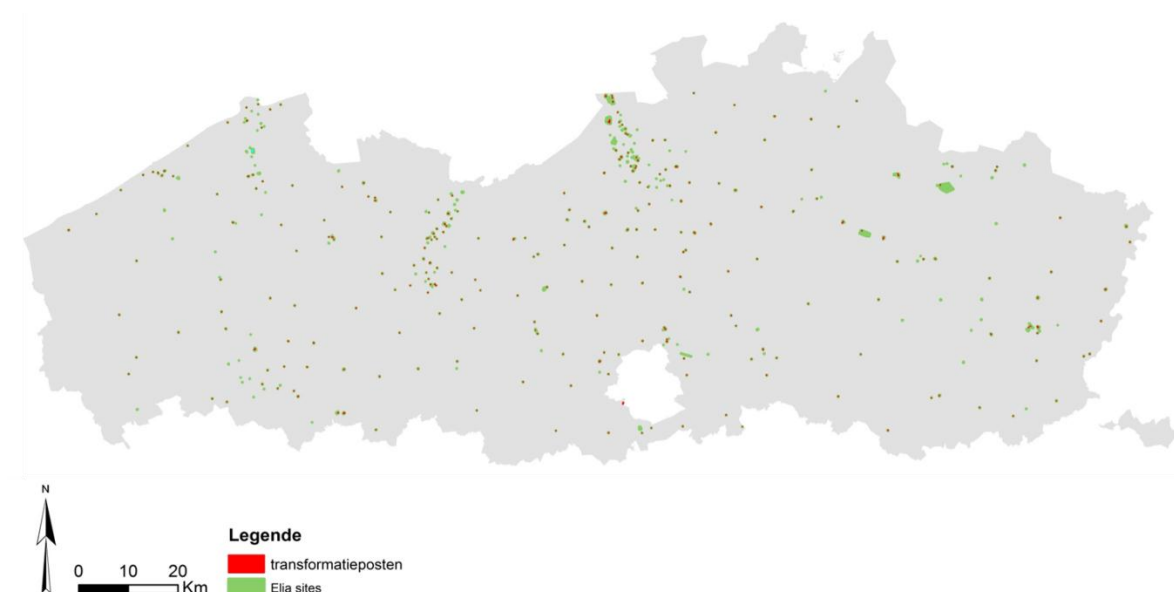
2.2.6. OORSPRONG VAN DE DATA

ELIA, aangeleverd in mei 2013.

2.3. TRANSFORMATIESITES

Onder de noemer hoogspanningsstation vallen vier soorten stations (zie ook bijlage E1):

- **Transformatiestations of Transfostation:** op transfostations wordt geschakeld, bewaakt en getransformeerd. Het zijn doorgaans grote stations waar twee of meer hoogspanningsnetten (verschillende netspanning) aan elkaar zijn verbonden. Strikt genomen kan men altijd van een trafostation spreken zodra er tenminste een transformator aanwezig is.
- **Verdeelstation:** een verdeelstation is niet heel duidelijk gedefinieerd. Meestal wordt er voornamelijk geschakeld, maar het kan ook zijn dat er enkele transfo's staan opgesteld.
- **Schakelstation:** in dit station wordt alleen geschakeld en niet getransformeerd.
- **Onderstation:** vormt het eindpunt van een hoogspanningsverbinding. Op dit uiteinde staan een of meer transformatoren die de elektrische spanning aan de secundaire zijde omlaag transformeren naar middenspanning, zodat er na het station geen sprake meer is van hoogspanning. Onderstations zijn talrijk en ze hebben (bijna) nooit een bedrijfsspanning van 220- of 380 kV.



Figuur 2.3: Locatie van de hoogspanningssites en transformatieposten Vlaanderen

2.3.1. LOCATIE

De geografische 2 dimensionale ligging van alle transformatiesites werd geleverd door ELIA. Aangezien de verschillende infrastructuur op de sites doorgaans zeer diverse hoogtes hebben die niet beschreven staan in het bronbestand, werd er geen hoogtewaarde (z-waarde) aan de sites toegekend. Deze waarde is ook onbelangrijk bij het berekenen van het magnetisch veld.

Voor een 16-tal sites roept de aangeleverde locatie enkele vragen op, aangezien ze op meer dan 20m van een luchtlijn of ondergrondse kabels liggen, deze kregen betrouwbaarheidscode "2".

Betrouwbaarheid (Bbh_L):

- 1: aangeleverde locatie, betrouwbaar
- 2: aangeleverde locatie, onbetrouwbaar

2.3.2. SPANNING

Gezien de verscheidenheid aan infrastructuur en transformaties aanwezig op de sites, is het zeer moeilijk bepaalde spanningswaarden toe te kennen aan sites. Daarom vervalt dit attribuut bij deze bron. Bovendien is de spanning geen relevante parameter in de berekening van het magnetisch veld (zie HOOFDSTUK 5).

2.3.3. MAXIMAAL VERMOGEN/JAARGEMIDDELD VERMOGEN

Gezien de verscheidenheid aan infrastructuur en transformaties aanwezig op de sites, is het zeer moeilijk het maximale en jaargemiddeld vermogen toe te kennen aan sites. Daarom vervalt dit attribuut bij deze bron. Bovendien is het vermogen geen relevante parameter in de berekening van het magnetisch veld (zie HOOFDSTUK 5).

2.3.4. OPPERVLAKTE

De totale geografische oppervlakte van de sites werd bepaald op basis van de aangeleverde shapefile.

- Oppervlakte: 1275 ha.

2.3.5. OORSPRONG VAN DE DATA

Elia, aangeleverd in mei 2013.

2.4. CABINES IN (OF IN DE BUURT VAN) GEBOUWEN, APPARTEMENTEN OF WONINGEN

Terwijl het hoogspanningsstation de hoogspanning naar middenspanning transformeert, wordt in de hoogspanningscabine (ook distributie- of klantenpost genoemd) de overgang gemaakt tussen het middenspanningsnet en het laagspanningsnet. De cabine is de laatste schakel in het distributienet van elektriciteit van waaruit de energie naar de uiteindelijke gebruikers van het elektriciteitsnet gestuurd wordt.

Eandis en Infrax zijn niet bereid gevonden om de exacte locatie van alle bestaande hoogspanningscabines vrij te geven. Daarom werd onderzocht of het mogelijk was om een inplantingsmodel van cabines op te stellen, uitgaande van een beperkte steekproef. Dit proces wordt beschreven in Hoofdstuk 3 “Allocatiemodel voor cabines”.

2.4.1. INVOERMODULE VOOR CABINES

Aangezien het niet mogelijk bleek om een allocatiemodel voor de distributiecabines te realiseren, werd een module ontwikkeld waarmee handmatig nieuwe cabines aan een bestaande shapefile toegevoegd kunnen worden. Volgende informatie wordt hiermee ingevoerd:

- Locatie: x en y-coördinaat in het Lambert '72 projectiesysteem
- Hoogte van het verdeelbord in de cabine (z). Standaard wordt aangenomen dat het verdeelbord zich op een hoogte van 1m bevindt.
- Datum van invoer: parameter die automatisch toegevoegd wordt bij invoeren
- Beschrijving: metadataveld voor eventuele opmerkingen (optioneel veld)
- Bron: databron die de locatie van de cabine aanleverde (optioneel veld)
- BBh_L: betrouwbaarheid van de locatiegegevens van de cabine, keuze uit:
 - L01: aangeleverde shapefile met locatie, betrouwbaar
 - L02: aangeleverde shapefile met locatie, onbetrouwbaar
 - L03: locatie gebaseerd op geocodering van een adres
 - L04: locatie gebaseerd op een veldopname
- Bbh_Z: betrouwbaarheid van de hoogtegegevens van de cabine, keuze uit:
 - Z01: hoogte gekend
 - Z02: hoogte gebaseerd op theoretische aannames (verband met een andere parameter)
 - Z03: default hoogte
 - Z04: default hoogte met aanpassing

Figuur 2.4: Invoermodule voor het aanmaken van een nieuw punt in het cabinebestand.

Aangezien andere technische aspecten van de cabine (spanning, materiaal van afscherming, etc.) niet in rekening gebracht worden bij het berekenen van het magnetische veld veroorzaakt door de cabine (zie HOOFDSTUK 5), worden deze ook niet opgevraagd. Het staat natuurlijk vrij om deze toe te voegen onder het veld 'Beschrijving' of een nieuw veld aan te maken om dit te specificeren. Nieuwe cabines worden steeds toegevoegd aan een bestaande shapefile. Deze bestaande shapefile bevat nog geen cabines, maar kan wel stelselmatig uitgebreid worden tot een grote databank, door nieuwe cabines hieraan toe te voegen. Er is ook steeds een lege bestaande shapefile beschikbaar, zodat voor elke cabine indien gewenst ook een aparte shapefile kan opgesteld worden. Deze lege databank moet voldoen aan een bepaalde structuur (zie handleiding).

2.4.2. DATASET MET DE CABINES DIE DOOR INFRAX EN EANDIS WERDEN AANGELEVERD

Een tweede dataset werd voorbereid met de cabines in de gemeenten waarvan Eandis en Infrax bereid waren de locaties van de cabines aan te leveren. Deze dataset kan gebruikt worden om de blootstelling in deze gemeenten voor het geheel van ELF-bronnen te bestuderen als indicatie voor andere gemeenten. Deze dataset kan ook als basis dienen waaraan nieuwe cabines toegevoegd kunnen worden.

De dataset bestaat uit 2.728 cabines, verspreid over volgende gemeenten:

- Voor Eandis: Gent en Scherpenheuvel-Zichem
- Voor Infrax: Diksmuide, Gistel, Harelbeke, Hooghelede, Jabbeke, Koekelare, Kortemark, Lendeledede, Middelkerke, Oudenburg, Torhout en Wevelgem

Van deze cabines zijn buiten de x,y-locatie ook het adres, de spanning en enkele extra kenmerken gekend, afhankelijk van de netbeheerder:

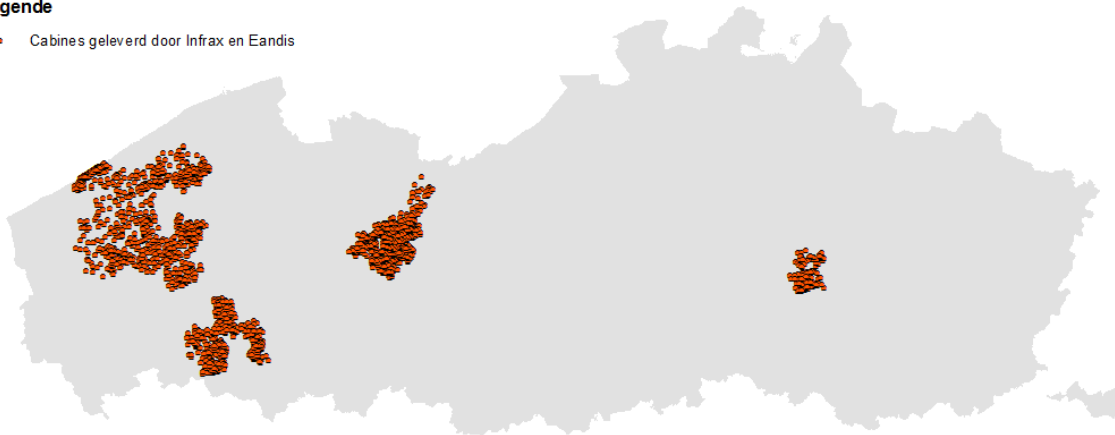
- Voor Eandis:
 - Hoogte: in de databank van Eandis wordt aangegeven of de cabines gelegen zijn op "gelijkvloers", "ondergronds", "verhoogd" of "niet van toepassing". Aan deze

verschillende categoriën werd respectievelijk de hoogte van het verdeelbord ingeschat op 1, -2, 4 en 1m.

- Nr_databank: via dit uniek nummer voor elke cabine kan een link gemaakt worden met de databank van Eandis, waarbij een koppeling mogelijk is met volgende informatie:
 - Materiaal van de cabine: metselwerk, verschillende types metaal, aluminium of beton
 - Soort cabine: vrijstaand/aangebouwd, betreedbaar/niet betreedbaar
- Voor Infrax:
 - Hoogte is ongekend, bijgevolg wordt met de standaardhoogte van 1m gewerkt.
 - Opmerking: in dit veld wordt soms aangegeven of het een paalpost betreft of niet. Paalposten hebben waarschijnlijk een ander magnetisch veld dan de standaard cabines.
 - Nr_databank: via dit uniek nummer voor elke cabine kan een link gemaakt worden met de databank van Infrax, waarbij een koppeling mogelijk is met volgende informatie:
 - Perceelsnummer (afdeling, sectie, perceel)

Legende

- Cabines geleverd door Infrax en Eandis

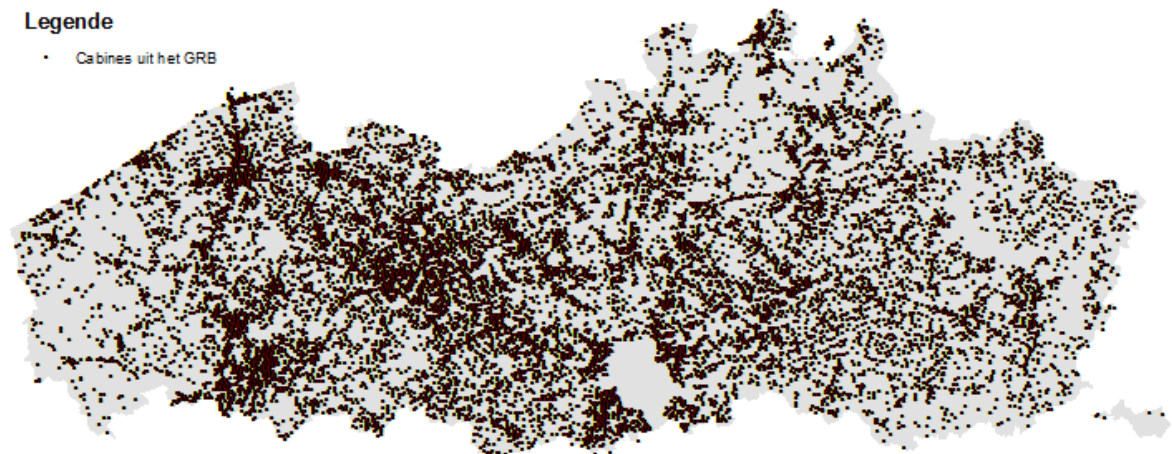


Figuur 2.5: Spreiding van de cabines die werden aangeleverd door Infrax en Eandis.

2.4.3. DATASET MET DE CABINES DIE ZIJN OPGENOMEN IN HET GROOTSCHALIG REFERENTIEBESTAND (GRB)

Afzonderlijk werd ook een derde dataset voorbereid met de cabines die geïnventariseerd zijn in het Grootschalig ReferentieBestand (GRB). In het GRB werden enkel cabines geïnventariseerd op basis van uiterlijke herkenbaarheid vanaf het openbaar domein. Cabines gelegen binnen (appartementen)- gebouwen of in kelders én cabines die in een speciaal daarvoor opgetrokken gebouw geplaatst zijn (bakstenen cabines) komen in deze dataset niet voor. Toch is deze dataset een zeer waardevolle databron aangezien de locatie van de cabines die wél opgenomen zijn zeer nauwkeurig is.

De dataset bestaat uit 17.026 cabines, waarvan enkel de locatie gekend is. De hoogte van het verdeelbord wordt daarom standaard op 1m geschat.



Figuur 2.6: Spreiding van de cabines die voorkomen in het Vlaams Grootschalig Referentiebestand.

HOOFDSTUK 3. ALLOCATIEMODEL VOOR CABINES

3.1. SELECTIE VAN DE CABINES VOOR CALIBRATIE EN VALIDATIE

3.1.1. ONTVANGEN DATA

→ Eandis

Eandis is bereid gevonden om de adressenlijst van cabines in de gemeentes Gent en Scherpenheuvel vrij te geven. Deze adressenlijst is goed voor respectievelijk 945 en 133 cabines, waarvan de locatie (straatnaam en huisnummer), de beheerder, het materiaal waaruit de cabine is opgebouwd, het niveau (gelijkvloers, kelder of verhoogd), de datum van indienstname, de eigenaar en het vermogen gekend is. Op basis van deze adressenlijst werden de cabines gegeocodeerd. Bij deze transformatie gebeurden kleine onregelmatigheden indien:

- a) Het huisnummer niet werd teruggevonden in het geolocatiebestand, de locatie werd toegekend aan het dichtst aanleunende huisnummer op dezelfde straat dat wel voorkwam in het geolocatiebestand.
- b) Het huisnummer niet opgegeven werd. In deze gevallen werd de cabine gelokaliseerd op een willekeurig huisnummer.

Verder was Eandis bereid om het totaal aantal cabines die zij in beheer hebben te delen, per gemeente. Deze lijst bevat verder geen details over het vermogen, materiaal, de locatie, en dergelijk. Volgens de lijst heeft Eandis in totaal 28.913 cabines in beheer, verdeeld over 242 gemeenten. Er dient wel opgemerkt te worden dat in de gemeenten die onder het beheer van Eandis vallen, we enkel de cijfers of gegevens kennen van de cabines waarvan zij eigenaar zijn. Informatie over zogenaamde privé- of klantencabines kon niet aangeleverd worden. In tegenstelling tot de dataset van Infrax wordt er ook geen melding gemaakt van zogenaamde "paalposten".

→ Infrax

Infrax is bereid gevonden om bepaalde gegevens over alle cabines in hun beheer voor dit onderzoek te delen. Infrax beheert 7.356 distributienet cabines, verspreid over 101 gemeenten. Voor alle netcabines is de locatie geleverd tot op de hoogte van de straatnaam. Voor 14 gemeenten, beheerd onder Infrax-West, waren consequent zowel de straatnaam en het huisnummer aanwezig. Deze gemeenten zijn: Diksmuide, Gistel, Harelbeke, Hooglede, Izegem, Jabbeke, Koekelare, Kortemark, Ledegem, Lendelede, Middelkerke, Oudenburg, Torhout en Wevelgem. In andere gemeenten is de huisnummerlocatie van de cabine slechts bekend voor minder dan 3% van het totaal aantal cabines.

Op basis van deze adressenlijst werden de cabines in de 14 bovenstaande gemeentes gegeocodeerd. Bij deze transformatie gebeurden eveneens kleine onregelmatigheden indien:

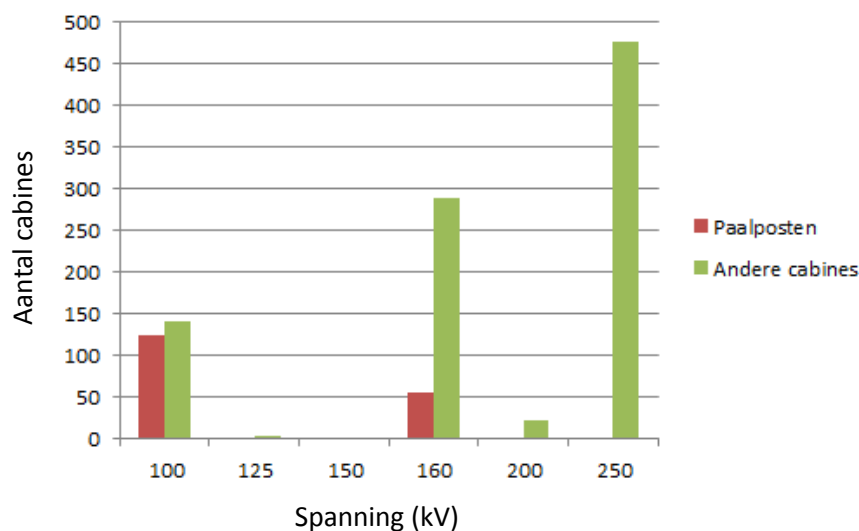
- a) Het huisnummer niet werd teruggevonden in het geolocatiebestand
- b) Het huisnummer niet opgegeven werd

- c) De straatnaam niet automatisch herkend werd omwille van een verschillende schrijfwijze (vb. A. Van Cailliestraat kan eveneens geschreven worden als A. Vancailliestraat of Antoine Van Cailliestraat)

Omwille van een vroegere levering van deze adressenbestanden en ter verkenning van de locaties waar cabines voorkomen, werden - in tegenstelling tot de dataset opgeleverd door Eandis - bij deze onregelmatigheden de locaties van de cabines handmatig gecorrigeerd. Hierbij werd gebruik gemaakt van het GRB (Grootschalig Referentiebestand) en Google Streetview. Indien in het GRB een cabine geregistreerd stond op de straat van de te corrigeren cabine, werd de cabine naar deze locatie (op basis van x- en y-coördinaten) verplaatst. Een visuele controle met behulp van Google Streetview bevestigde doorgaans de accurateheid van deze dataset. Toch was deze niet altijd volledig, voornamelijk in het geval van cabines die zich in bakstenen gebouwen bevinden. Deze worden namelijk in het GRB geregistreerd als een “gebouw aan de grond” zonder dat hieraan een functie wordt toegekend.

Deze uitgebreide en kostbare handmatige correctie zorgt voor een grotere betrouwbaarheid van de locaties van cabines in deze gemeenten.

Maar liefst 11% (183 van de 1654) van de aangeleverde adressen van cabines aangeleverd door Infrac bevatten de opmerking “paalpost”. Deze paalposten hebben een vermogen van maximaal 250 kVA, maar zijn enkel op basis van het vermogen niet direct te onderscheiden van andere cabines (zie figuur 3.1).



Figuur 3.1: Grafiek van het aantal paalposten en het aantal andere cabines per specifiek vermogen.



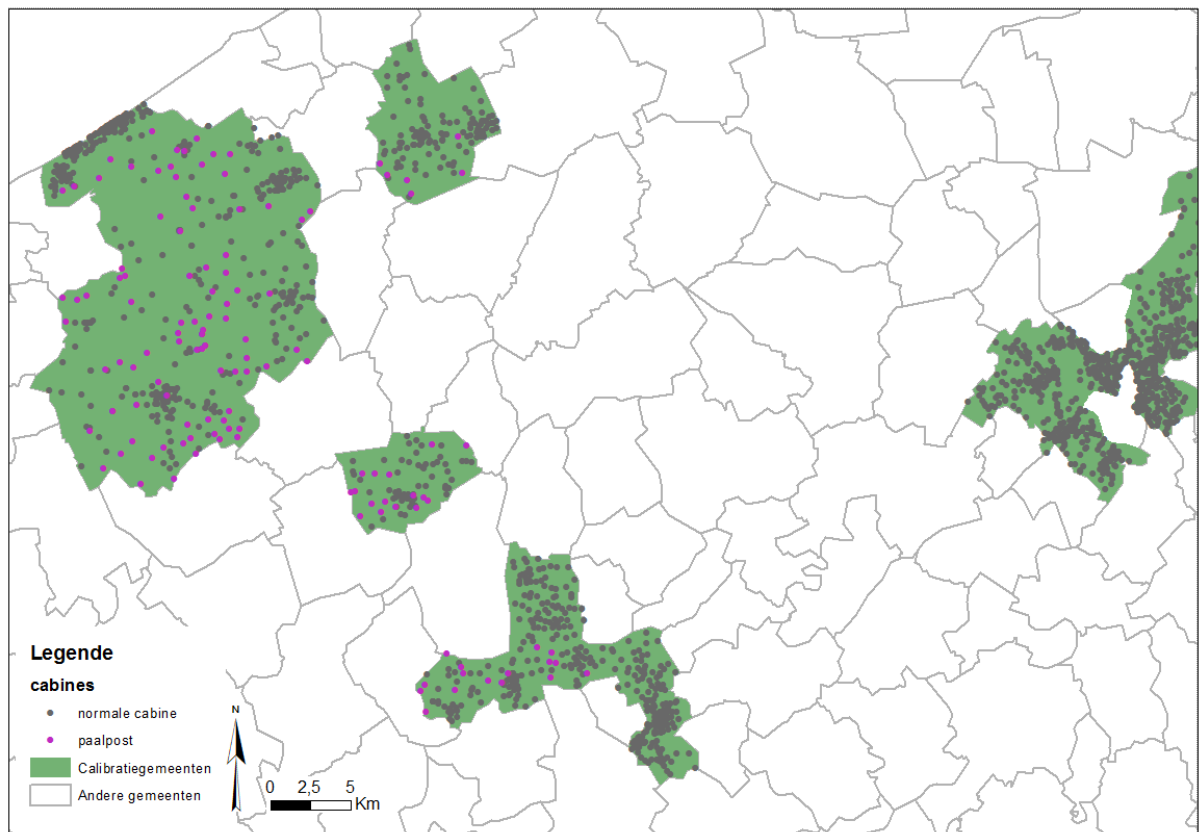
Figuur 2: Voorbeeld van een paalpost te Diksmuide (bron foto: Google StreetView, 2014)

Er wordt verondersteld dat het ELF-veld in de buurt van deze paalposten significant verschillend is van andere cabines. Bovendien dat paalposten voorkomen in dunbevolkt gebied en verder afgelegen landelijke plekken. Bijgevolg zijn deze paalposten niet te bestuderen binnen de blootstellingsstudie en verwijderd uit de dataset op basis van de opmerking “paalpost” in het opmerkingenveld van de dataset. Doordat paalposten dezelfde transformatiefunctie vervullen als cabines, is de aanwezigheid van een paalpost voor de opmaak van het allocatiemodel op basis van toelevergebieden hoogstwaarschijnlijk wel van groot belang aangezien het de structuur van het netwerk aan cabines zal beïnvloeden. Daarom blijven deze paalposten wel in de dataset ter calibratie van het model.

Er valt bovendien vast te stellen dat het aandeel paalposten per gemeenten zeer sterk varieert tussen 0 en 32% (zie tabel 3.1) en voor enkele gemeenten de paalposten een substantieel deel uitmaken van het transformatie- en verdelingsnetwerk van elektriciteit.

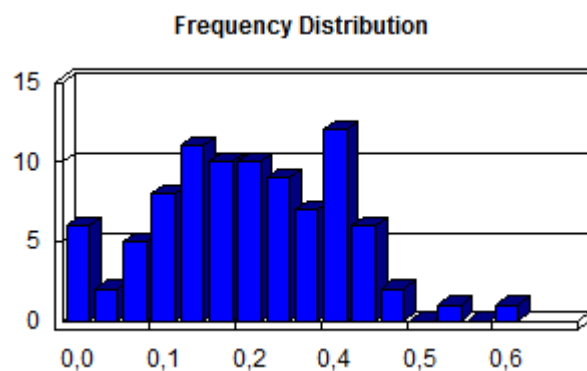
Tabel 3.1: Aantal paalposten per gemeente

	Aantal paalposten in deze gemeente	Procentueel aandeel paalposten in deze gemeente
Diksmuide	58	32 %
Gistel	1	1 %
Harelbeke	0	0 %
Hooglede	15	19 %
Izegem	0	0 %
Jabbeke	5	4 %
Koekelare	5	8 %
Kortemark	30	26 %
Ledegem	11	14 %
Lendelede	5	15%
Middelkerke	25	9 %
Oudenburg	9	12 %
Torhout	1	1 %
Wevelgem	10	5 %



Figuur 3.3: Cabines uit de lijst die paalposten blijken te zijn (aangeduid in het roze).

Infrax werd bereid gevonden om het aantal klantcabines per gemeente aan te leveren, data over de exacte locatie ontbreekt echter. In Vlaanderen beheert Infrax 3678 klantcabines bovenop de 7356 netcabines die eerder besproken werden. Het aandeel klantcabines mag dus zeker niet onderschat worden. In de gemeentes die beheerd worden door Infrax is dit aandeel klantcabines gelegen tussen 0,2 en 65% (zie ook Figuur 3.3). Dit wijst op mogelijk grote onderschattingen in de gemeenten beheerd door Eandis, aangezien zij deze cijfers niet kunnen aanleveren.

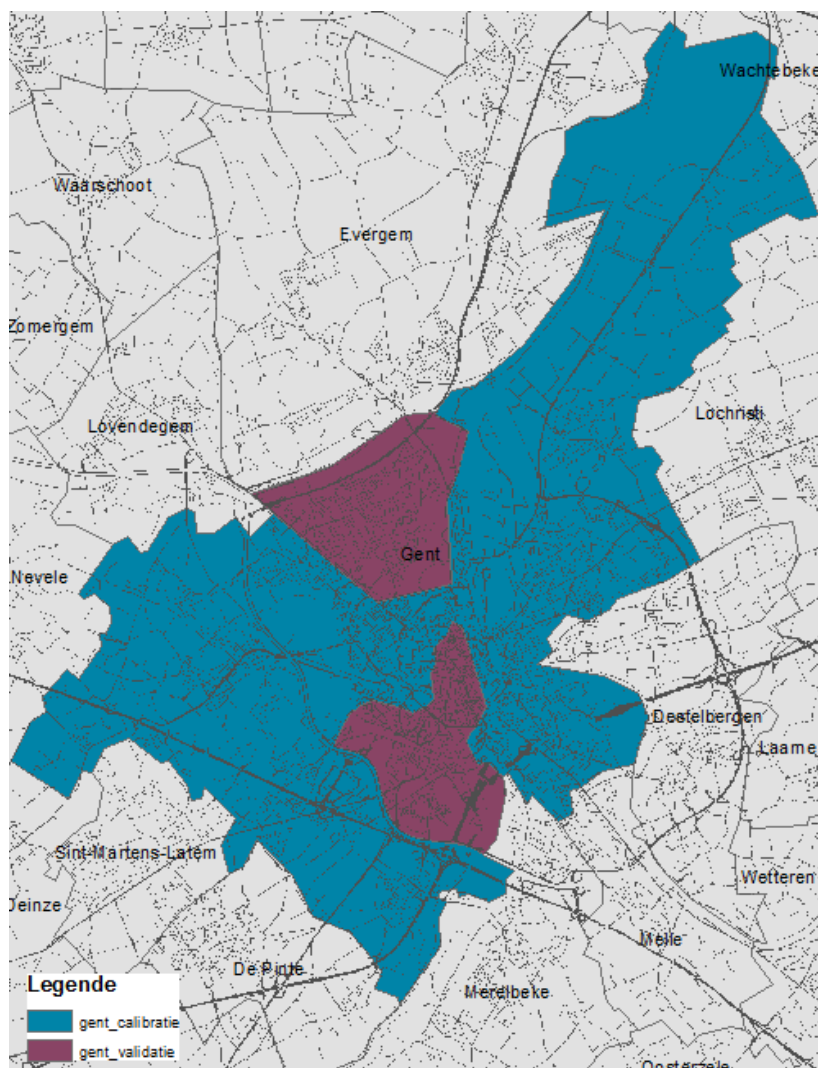


Figuur 3.4: Frequentiedistributie van het aandeel klantcabines in de gemeenten beheerd door Infrax.

3.2. SELECTIE VAN GEMEENTEN VOOR VALIDATIE EN CALIBRATIE

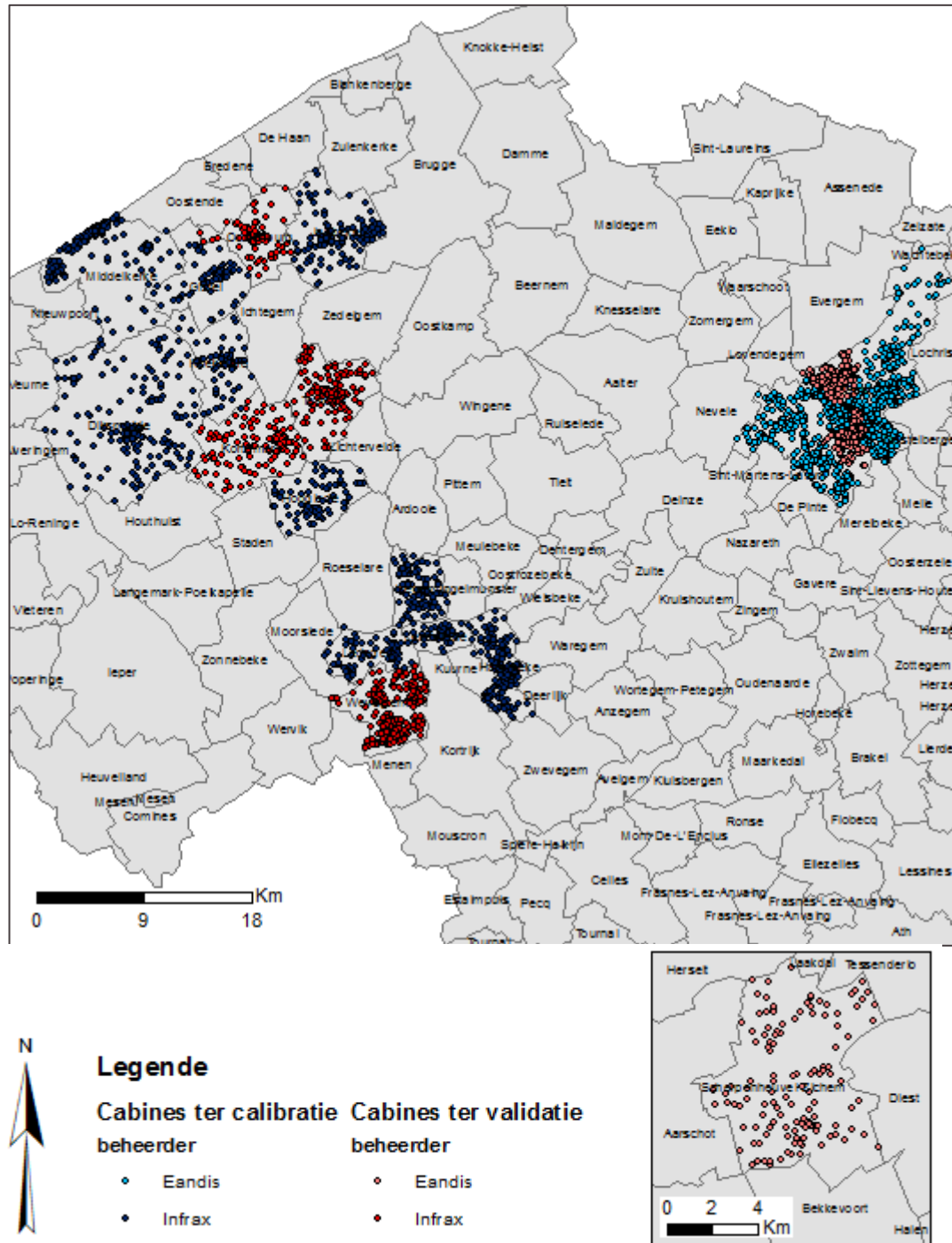
In het totaal zijn de locaties gekend van cabines in 16 gemeenten. Hiervan wordt een deel geselecteerd ter calibratie van het model, terwijl andere gemeenten zullen dienen ter validatie. 'Calibratie' wordt hier gebruikt als synoniem voor 'bouw' van het model. Er wordt voor gekozen 10 volledige gemeenten onder beheer van Infrax te gebruiken ter calibratie (Diksmuide, Gistel, Harelbeke, Hoogdele, Izegem, Jabbeke, Koekelare, Ledegem, Lendelede, Middelkerke en Oudenburg) terwijl 4 gebruikt worden ter validatie (Kortemark, Oudenburg, Torhout en Wevelgem).

De overige 2 gemeenten zijn deze onder beheer van Eandis. Omdat Gent de enige grootstad is die in de bruikbare dataset zit, werd ervoor gekozen het grondgebied van Gent op te delen in een calibratiezone en een validatiezone. De calibratiezone bedraagt ongeveer 15% van de geografische oppervlakte van Gent en snijdt zowel door het stadscentrum als door buitengebieden (zie figuur 3.4). De grenzen van deze zones werden zo geselecteerd dat ze overeenkwamen met kanalen en rivieren, wat mogelijke natuurlijke buffers zijn die toevoerzones van cabines begrenzen.



Figuur 3.5: Geografische opdeling van Gent in een calibratie- en validatiezone.

De overige gemeente die door Eandis werd aangeleverd, Scherpenheuvel, wordt volledig geselecteerd ter validatie.



Figuur 3.6: Overzicht van de gemeenten waarbinnen de cabines ter calibratie of ter validatie van het model gebruikt werden.

3.3. CALIBRATIE VAN HET STATISTISCH MODEL

Op basis van de locaties van cabines geselecteerd voor de calibratie werd getracht een geografisch statistisch model te creëren dat de locatie van de cabines kan voorspellen in de gemeenten waarvoor de data niet werden aangeleverd. Het model gaat daarom op zoek naar een aantal significante relaties of regels die bepalend zijn voor de aanwezigheid van een cabine.

3.3.1. GRENSVOORWAARDEN VOOR DE PLAATSIING VAN CABINES

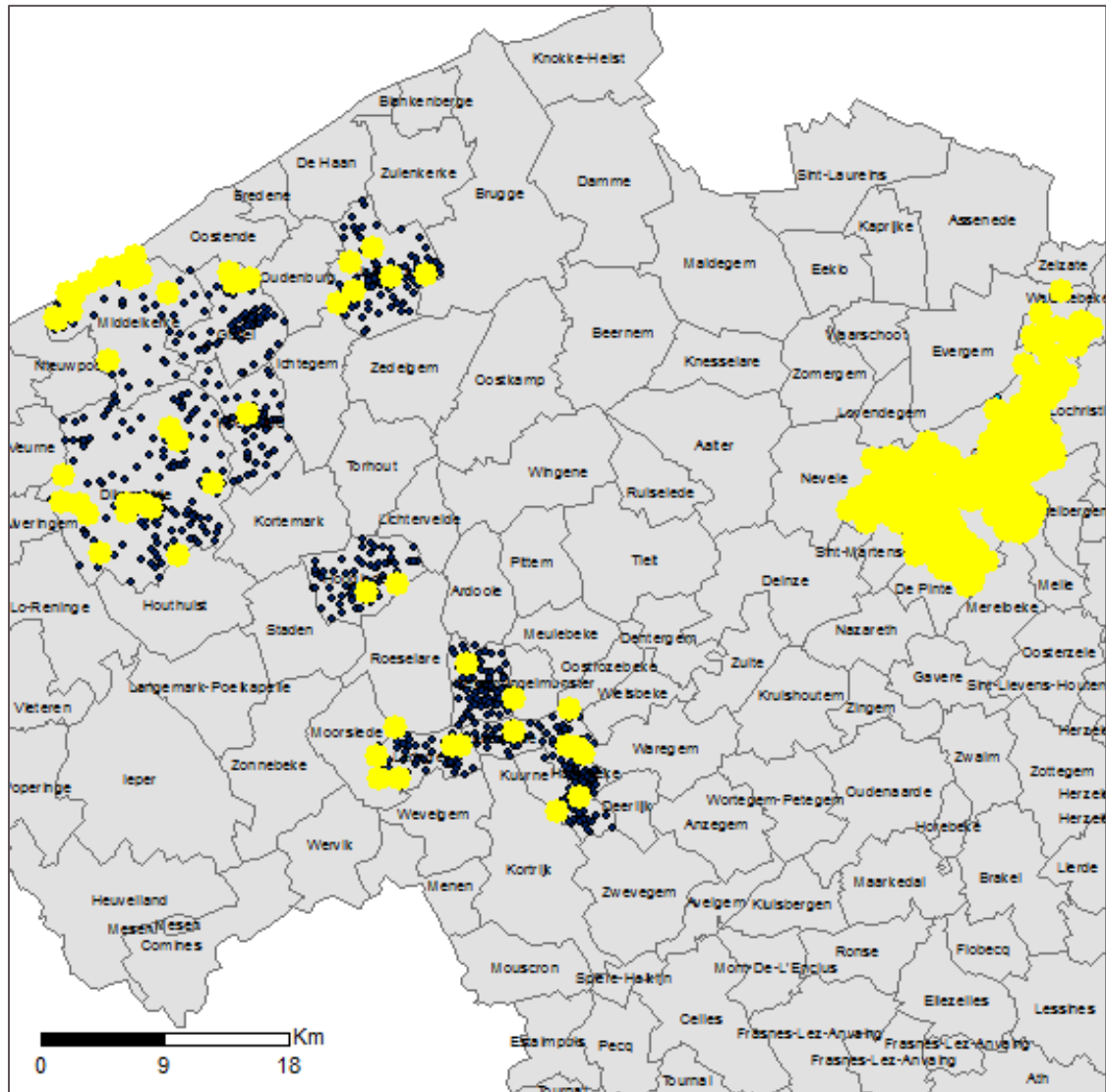
→ Aanwezigheid van een weg in de nabijheid

Een belangrijke grensvoorwaarde voor de locatie van een cabine is dat deze via een openbare weg bereikbaar is. Daarom wordt verondersteld dat een cabine gelegen is binnen een maximale afstand van de openbare weg. Alle wegen (categorie “wn”) binnen het Grootschalige Referentiebestand (GRB) werden daarom geselecteerd. In de tabel hieronder wordt gespecificeerd hoeveel cabines terug te vinden zijn binnen een bepaalde maximale afstand tot de openbare weg.

Tabel 3.2: Procentueel aandeel cabines die binnen een bepaalde bufferzone rond openbare wegen gelegen zijn, met de totale en procentuele oppervlaktes van deze bufferzones.

Maximale afstand (m)	Procentueel aantal cabines binnen deze afstand van de weg	Grootte van de zoekbuffer rond de wegen in de gehele calibratiezone (ha)	Aandeel van de zoekbuffer ten opzichte van de gehele calibratiezone (%)
10	66%	8781	13,9
15	76%	11134	17,7
20	84%	13368	21,3

Bij deze selectie valt op dat vooral in Gent de cabines niet dicht tegen een weg gelegen zijn (zie figuur 3.3). Dit kan veroorzaakt zijn door een andere methode van geocodering, waarbij de cabines in het midden van een perceel werden geplaatst in plaats van aan de straatkant. Deze vaststelling wijst er al op dat deze grensvoorwaarde moeilijk geverifieerd kan worden met behulp van deze dataset van cabines omdat niet de exacte locatie van de cabines werd opgegeven, maar een straatnaam en huisnummer. Door deze wijze van oplevering was een geocodering noodzakelijk, maar blijft de informatie over de exacte ligging van de cabine binnen het perceel ongekend.



Figuur 3.7: Cabines die wel en niet (aangeduid in het geel) binnen de buffer van 10m rond de openbare wegen gelegen zijn.

Op basis van deze resultaten kan gesteld worden dat een voldoende significant aantal cabines binnen 20m afstand van een openbare weg gelegen zijn. Het te creëren model zal dan ook alle cabines plaatsen binnen een afstand van 20m tot de weg.

→ Type van landgebruik op de locatie van de cabine

Er wordt verondersteld dat cabines voornamelijk geplaatst worden in sterk industriële en residentiële gebieden. Deze randvoorwaarde kan ook een mogelijk verband leveren tussen het landgebruik en het al dan niet aanwezig zijn van een cabine. Hiervoor werd gebruik gemaakt van de Landgebruikskaat Vlaanderen voor het jaar 2010 op 10m resolutie (Van Esch et al., 2011). Uit de frequentie-analyse (zie Tabel 3.3) blijkt dat het grootste deel van de cabines wel degelijk gelegen is in residentiële gebied (55%), gevolgd door “overig industrieel/commercieel/residentiële” (15%). De overige 30% zijn echter vrij divers verdeeld over infrastructuur (5%), akker (4%), niet geregistreerde landbouwgrond (4%) en nog een tiental andere landgebruiken (3% of kleiner per landgebruik).

Tabel 3.3: Aantal cabines per type landgebruik

Aantal cabines	Procentueel aandeel	Landgebruik
51	3%	Overig
13	1%	Niet geregistreerd grasland met natuurwaarde
69	4%	Niet geregistreerde landbouwgrond
2	0%	Moeras zonder natuurbeheer
2	0%	Kustduin zonder natuurbeheer
975	55%	Residentieel
260	15%	Overig industrieel/commercieel/residentieel
4	0%	Voeding
1	0%	Textiel
1	0%	Papier
1	0%	Chemie
6	0%	Metaalnijverheid
16	1%	Houtindustrie, verv. meubelen & overige en bouwnijverheid
3	0%	Verv. producten van rubber of kunststof en verv. andere niet-metaalhoudende minerale producten
17	1%	Groothandel
2	0%	Transport & verkeer
24	1%	Detailhandel
18	1%	Horeca
48	3%	Kantoren & administratie
1	0%	Onderwijs
6	0%	Gezondheidszorg
15	1%	Overige diensten
24	1%	Zeehaven
3	0%	Productiegrasland met natuur- en milieudoelen
34	2%	Productiegrasland
1	0%	Akker met milieudoelen
66	4%	Akker
7	0%	Bos met bosbeheer
2	0%	Kustduin met natuurbeheer
17	1%	Recreatie- en sportterrein
2	0%	Park
89	5%	Infrastructuur
7	0%	Water

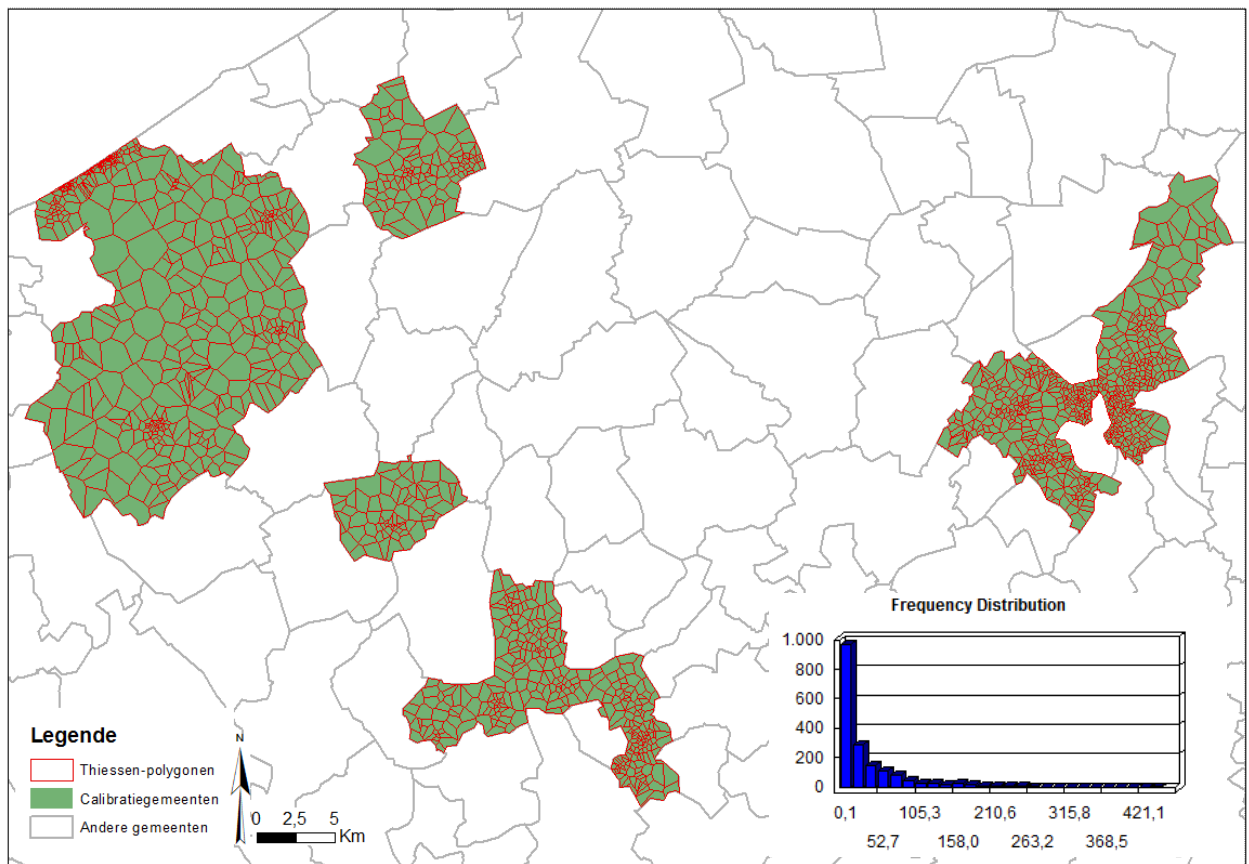
De landgebruiken “residentieel” en “overig industrieel/commercieel/residentieel” maken samen 21% uit van het Vlaamse grondgebied en het plaatsen van cabines beperken tot deze twee landgebruiken zou het aantal mogelijke locaties drastisch kunnen beperken. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat slechts 70% van de cabines in deze landgebruiken geobserveerd werden, wat eerder een zwakke relatie is. Cabines zijn namelijk ook te verwachten in een landbouwomgeving (intensieve veeteelt, serres, ...) en langs grote infrastructuurassen (sluizencomplexen, verlichting autosnelwegen, ...).

In overweging nemen van deze twee zones en in aanvulling ervan “infrastructuur”, “akker” en “niet geregistreerde landbouwgrond” omvat weliswaar 83% van de geobserveerde cabines, maar de combinatie van deze landgebruiken omvat dan ook 57% van het Vlaamse grondgebied. Indien het landgebruik dus toegepast zou worden als randvoorwaarde, moet er een keuze gemaakt worden tussen deze twee opties.

3.3.2. TOELEVERGEBIED VAN DE CABINES

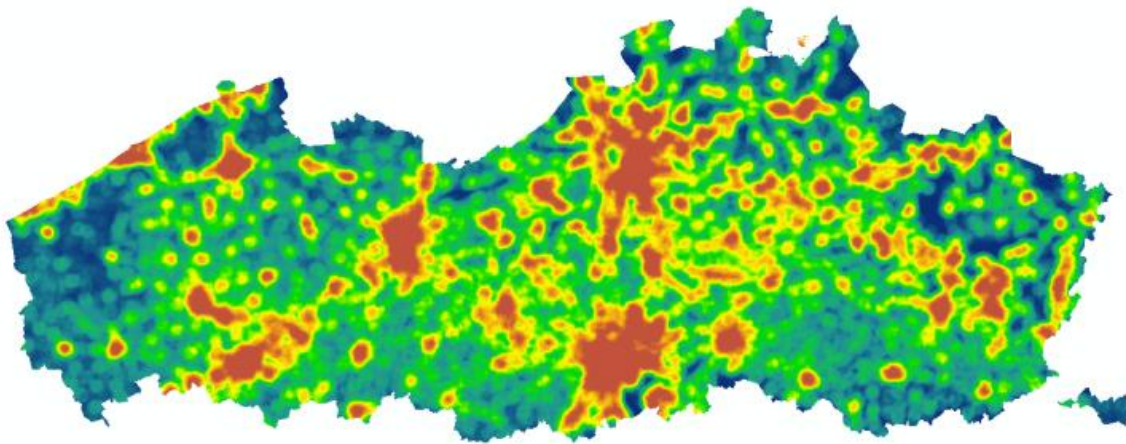
Om een allocatiemodel voor cabines te ontwikkelen, werd getracht het toelevergebied van cabines te karakteriseren. Omdat de reële toelevergebieden ongekend zijn, werd er gekozen om met Thiessen-polygonen te werken. Deze polygonen begrenzen het gebied rond een punt (in dit geval een cabine) waarvan de afstand tot dit punt kleiner is dan de afstand tot eender ander punt in de dataset. Men kan dus zeggen dat de grenzen van Thiessen-polygonen de lijnen zijn waarop de afstand tot 2 of meerdere punten die de lijn scheidt even groot is.

Deze creatie van Thiessenpolygonen resulteerde in polygonen meer zeer uiteenlopende oppervlaktes van 0,06 tot 454 ha. De gemiddelde oppervlakte bedraagt 35,2 ha. Het is opvallend dat de kleine polygonen zich dicht tegen de stads- en dorpscentra begeven (zie Figuur 3.7), wat duidt op een mogelijk verband tussen het aantal afnemers in deze centra en het aantal cabines daar aanwezig.



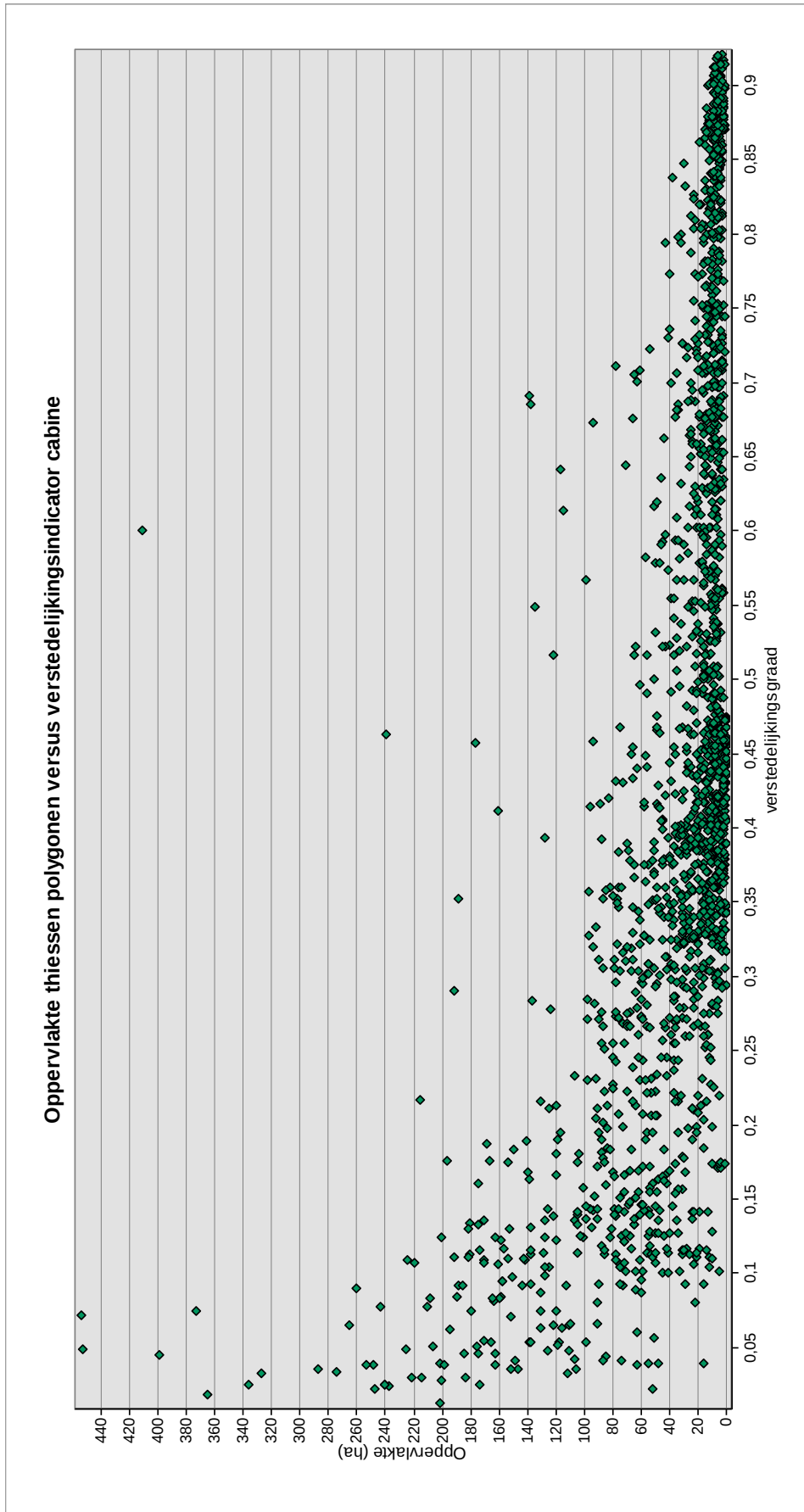
Figuur 3.8: Resulterende Thiessen-polygonen met een frequentie-distributie van de oppervlaktes van de polygonen.

Om dit verband verder te onderzoeken, wordt er gebruik gemaakt van de verstedelijkingsindicator. Deze drukt het aandeel verstedelijkte landgebruiken in een straal van 1,5km uit voor elke 100x100m rastercel binnen Vlaanderen.



Figuur 3.9: De verstedelijkingsindicator op een resolutie van 1ha.

Het spreidingsdiagram in Figuur 3.9 bevestigt de trend van kleine Thiessenpolygonen rondom cabines gelegen in een sterk verstedelijkt gebied en Thiessenpolygonen met een grotere oppervlakte in minder verstedelijkte omgevingen. Ook dient hier wel vermeld te worden dat deze spreiding niet gelijk verdeeld is; er worden veel meer cabines aangetroffen in omgevingen met een verstedelijkingsgraad van 0,35 tot 0,45 en opnieuw bij een verstedelijkingsgraad van 0,85 tot 0,90.



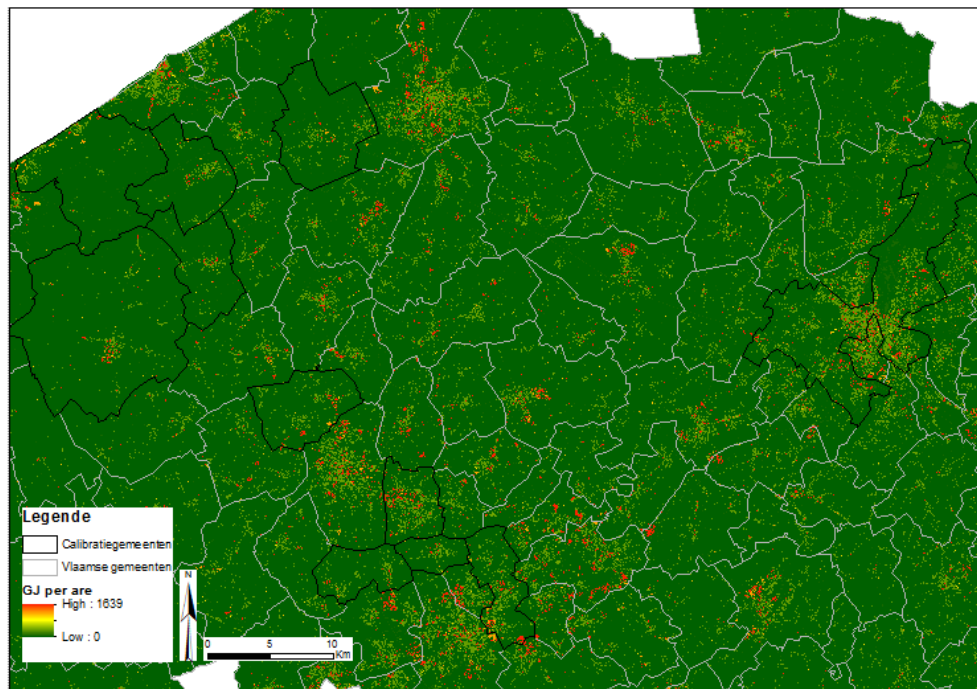
Figuur 3.10: Puntdiagram waarbij de oppervlakte van de Thiessenpolygoenen rondom een distributiecabine werd uitgezet ten opzichte van de verstedelijkingsgraad op de locatie van de cabine.

3.3.3. ELEKTRICITEITSVERBRUIK PER THIESSEN-POLYGOON

Aangezien de oppervlaktes van de Thiessen-polygoonen zo sterk verschillend zijn, werd de hypothese geopperd dat elke cabine garant staat voor een gelijkaardig potentieel elektriciteitsverbruik in zijn omgeving. Dit potentieel elektriciteitsverbruik in het toevoergebied van de cabine (afgebakend door het Thiessen-polygoon) werd ingeschat op basis van het landgebruik in de omgeving. Op basis van het elektriciteitsverbruik per sector van het jaar 2012 (op te vragen via <http://emis.vito.be/cijferreeksen>) werd een verbruik per are toegekend (tabel 3.4).

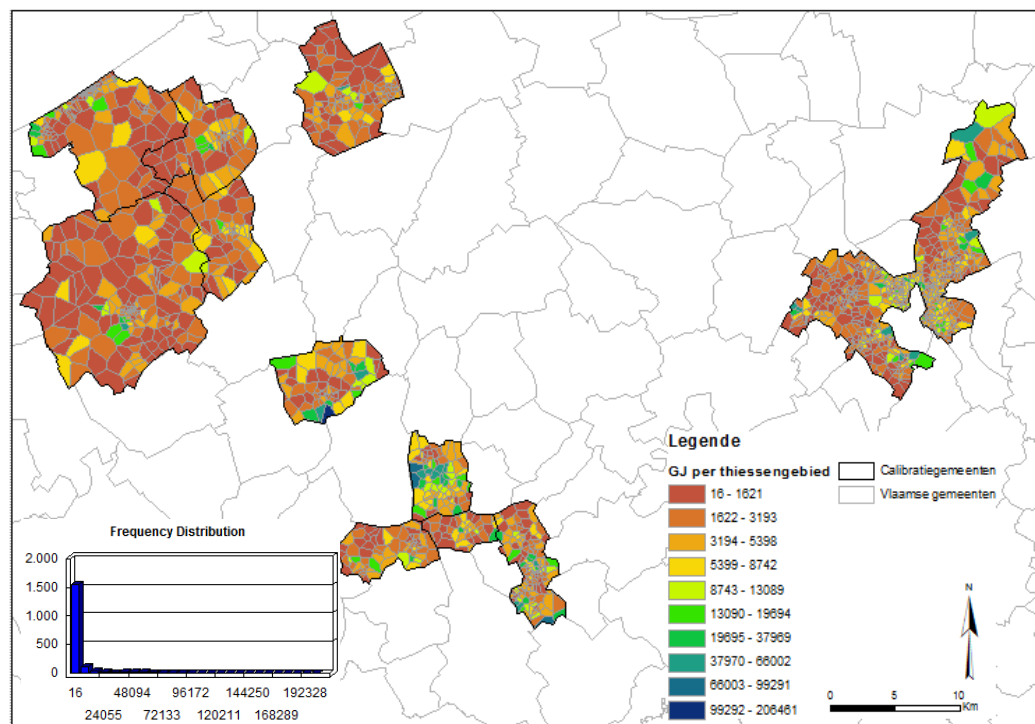
Tabel 3.4: Elektriciteitsverbruik per sector per are in het jaar 2012.

Sectoren	GJ totaal	oppervlakte (are)	GJ per are
Metaalindustrie	22000000	317813	69,2
Chemie	38400000	102263	375,5
Voeding, dranken en tabak	12500000	70976	176,1
Papier en uitgeverijen	7000000	29929	233,9
Minerale niet-metaalprodukten	3300000	150646	21,9
Textiel, leder en kleding	3300000	58481	56,4
Andere industrieën	10700000	1623307	6,6
hotels en restaurants	3500000	155233	22,5
gezondheidszorg	2800000	59779	46,8
onderwijs	2200000	71397	30,8
kantoren en administraties	17600000	193156	91,1
handel	15200000	395208	38,5
andere diensten	4200000	103353	40,6
Huishoudens	41400000	6740441	6,1
akkerbouw + intensieve veehouderij	2000000	23509	85,1
graasdierhouderij	700000	37048	18,9
groenvoorziening	49,69642	155211	0,0
Transport	2800000	1896754	1,5
Elektriciteit en warmte	8300000	37196	223,1
Raffinaderijen	1900000	1396	1361,0
Andere transformatie	200000	122	1639,3



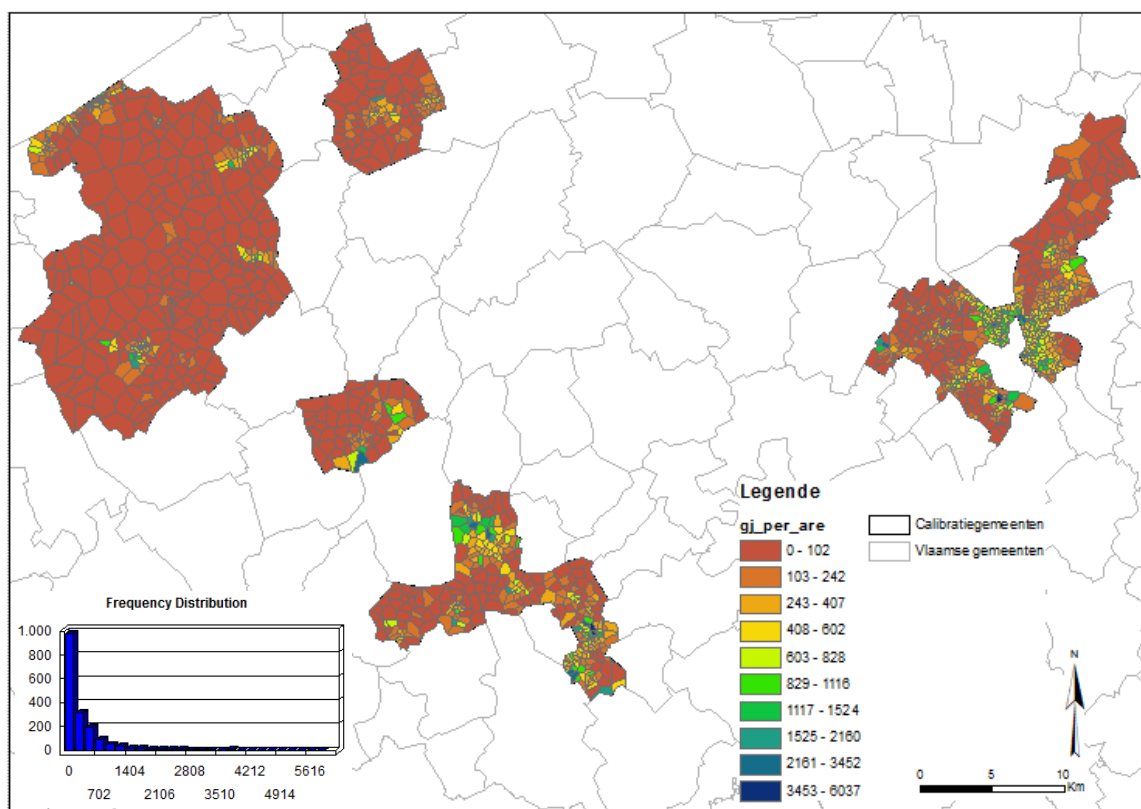
Figuur 3.11: Potentieel elektriciteitsverbruik per cel van 1ha. De donkere grenzen duiden de calibratiegemeenten aan.

Vervolgens werd de som van het potentieel elektriciteitsverbruik per toevoergebied berekend (zie figuur 3.11). Het verbruik per toelevergebied loopt van 6 tot 206461 GJ met een gemiddeld verbruik op 4508 GJ per cabine. De spreiding van de thiessenengebieden met een hoog en een laag verbruik lijkt op het eerste zicht geen geografisch verband te vertonen.



Figuur 3.12: Elektriciteitsverbruik per toelevergebied van de cabines (in GJ per Thiessen-polygoon) met een frequentie-distributie van het verbruik per polygoon.

Wanneer het verbruik per toelevergebied echter in functie van de oppervlakte van het toelevergebied wordt uitgezet (in GJ per are), keert het geografische verband terug dat reeds geobserveerd werd bij de initiële creatie van de Thiessen-polygonen: kleine toelevergebieden met een hoge verbruikswaarde aan GJ per are in de centra en grote toelevergebieden met een lage verbruikswaarde in de rurale zones van de bestudeerde gemeenten (figuur 3.12).



Figuur 3.13: Uitgemiddeld elektriciteitsverbruik per are van de toelevergebieden van de cabines (in GJ per are) met de frequentiedistributie van het uitgemiddelde verbruik per polygoon en dus cabine.

3.3.4. ELEKTRICITEITSVERBRUIK PER THIESSEN-POLYGOON AFHANKELIJK VAN DE LOCATIE VAN DE CABINE

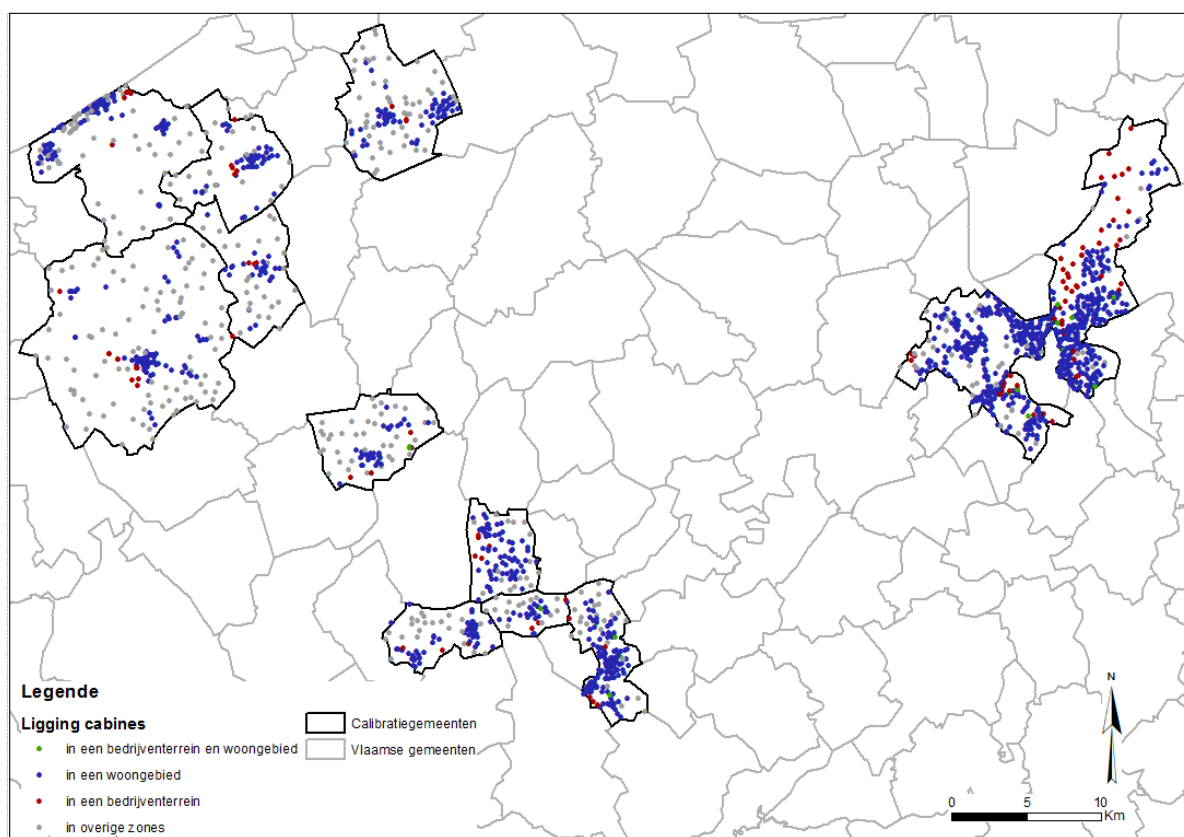
Aangezien cabines onderscheiden kunnen worden in cabines die voornamelijk geplaatst zijn voor de toelevering van elektriciteit aan residentiële gebieden of aan industriële gebieden, wordt nagegaan of de spreiding van de toelevergebieden met een hoog elektriciteitsverbruik gekoppeld kan worden aan de aanwezigheid van industrie. Er wordt bovendien verwacht dat het verbruik per are hoger zal liggen in de residentiële zones met een hoge bevolkingsdichtheid.

Van de 1.799 calibratiecabines zijn er slechts 117 cabines gelegen binnen de industrieterreinen (en 315 in of max. 50m verwijderd van het industrieterrein) geïnventariseerd door het Agentschap Ondernemen. 1.186 cabines zijn echter gelegen binnen de residentiële woongebieden van de Ruimteboekhouding. Bovendien vallen 12 cabines in beide datasets en 508 in geen van beide (zie tabel 3.5).

Tabel 3.5: Ligging van de bestudeerde cabines

Aantal cabines gelegen in een bedrijventerrein en in een woongebied	12
Aantal cabines gelegen in een bedrijventerrein	117
Aantal cabines gelegen in woongebied	1.186

Aantal cabines op overige locaties	508
------------------------------------	-----



Figuur 3.14: Ligging van de calibratiecabines in bedrijvenzones, woonzones of overige zones.

Vervolgens werd nagegaan of deze groepen van cabines een significant verschillend patroon vertonen inzake het verbruik binnen hun toeleveringsgebied en de oppervlaktes van deze toeleveringsgebieden (zie tabel 3.6).

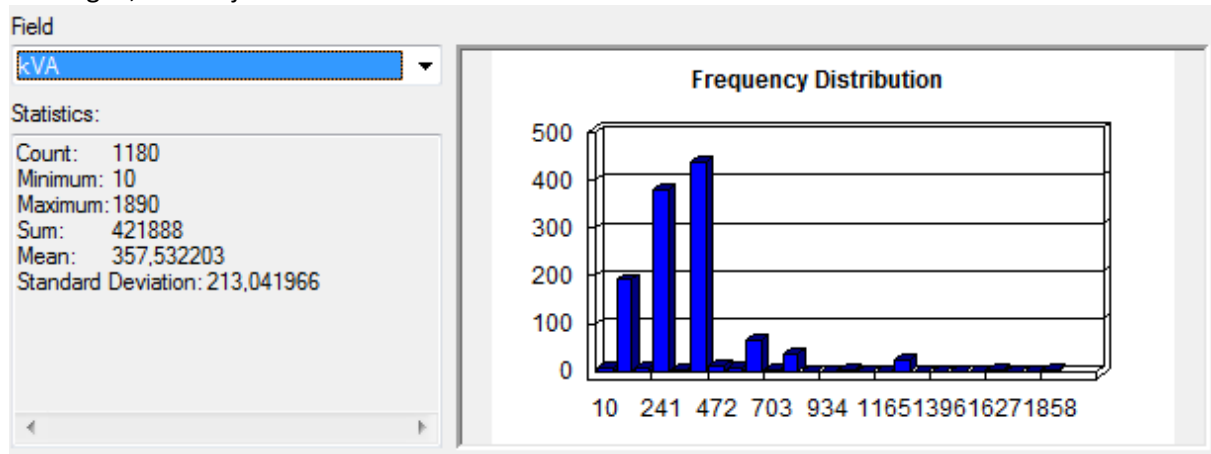
Tabel 3.6: Minimale en maximale waarden van oppervlakten en elektriciteitsverbruik (GJ en GJ/are) van de toeleveringsgebieden van cabines binnen industriële, residentiële en overige zones.

		Zone			
		Industrieel	Residentieel	Industrieel+residentieel	Overige
GJ/are	Min. – max.	2-3970	6-6037	60-1357	0-2594
	Gemiddeld	711	412	531	101.8
GJ	Min. – max.	89-206461	95-99291	1716-19518	16-64156
	Gemiddeld	17547	4031	5347	2788
Opp. (ha)	Min. – max.	2-411	0,08-328	3-35	0,07-520
	Gemiddeld	52	19	13	81

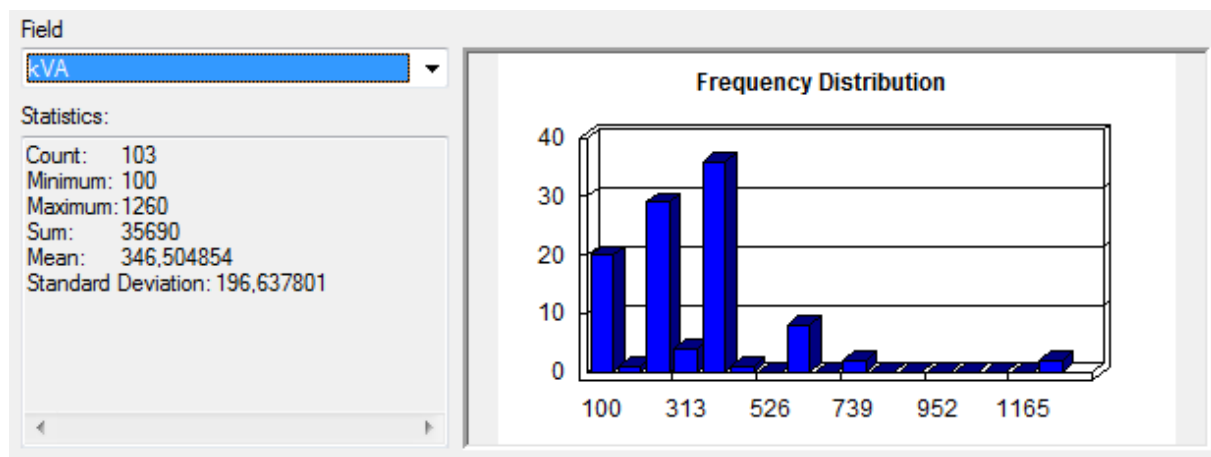
Uit bovenstaande resultaten vallen geen grote verschillen op te merken tussen de cabines gelegen in de verschillende zones. Alhoewel de cabines gelegen in industrieel gebied een hogere gemiddelde waarde aan verbruik hebben (zowel GJ als GJ/are) dan deze in residentiële, gemengd en overig gebied, blijken de extreme waarden (minimum tot maximum) veel overlap te vertonen. Er wordt hier dus wel een zwak verband gezien, dat een mogelijke parameter kan zijn in het te ontwikkelen model, maar op zichzelf staand is het niet sterk genoeg.

3.3.5. ELEKTRICITEITSVERBRUIK PER THIESSEN-POLYGOON AFHANKELIJK VAN DE LOCATIE VAN DE CABINE EN HET VERMOGEN VAN DE CABINES

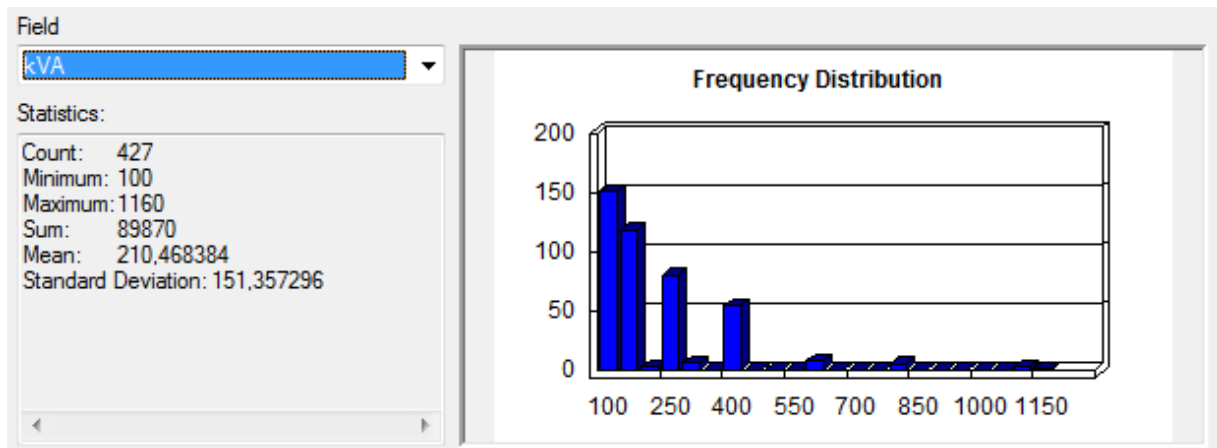
Vervolgens werd er nagegaan of de locatie van de cabine een verband heeft met het vermogen van de cabine. In onderstaande grafieken valt op te merken dat de verdeling verschillend is voor de cabines binnen woonzones en industriële zones in vergelijking met de combinatie- en overige zone, aangezien de curve hier piekt rond de gemiddelde waarde in tegenstelling tot bij het laagste vermogen, zoals bij de laatste twee.



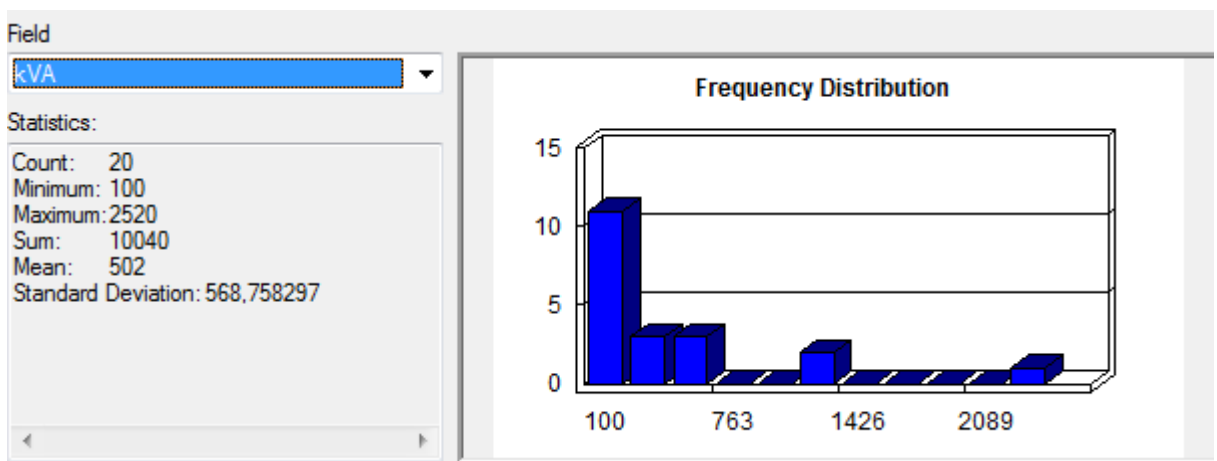
Figuur 3.15: Frequentieverdeling, minima en maxima en gemiddelde van het vermogen van cabines gelegen binnen woongebied



Figuur 3.16: Frequentieverdeling, minima en maxima en gemiddelde van het vermogen van cabines gelegen binnen bedrijventerreinen



Figuur 3.17: Frequentieverdeling, minima en maxima en gemiddelde van het vermogen van cabines gelegen binnen bedrijventerreinen én woonzones



Figuur 3.18: Frequentieverdeling, minima en maxima en gemiddelde van het vermogen van cabines gelegen binnen overige zones

Een andere piste is om het toelevergebied van een cabine nog gedetailleerder te gaan verkennen dan wat hierboven werd beschreven op basis van de VITO-landgebruikskaat. Hiervoor kan de Verrijkte KruispuntBank Ondernemingen geconsulteerd worden om economische activiteiten met een hoog elektriciteitsverbruik te onderscheiden (typologie en bedrijfsomvang) en nauwkeurig te gaan lokaliseren in Vlaanderen. Deze analyse is echter een studie op zich en kan bijgevolg in het kader van voorliggende studie niet uitgewerkt worden. De vraag blijft dan of de Thiessen polygonen de logische toelevergebieden van de cabines zijn. Andere grootverbruikers kunnen afgeleid worden door een gedetailleerde analyse van de landbouwactiviteiten in Vlaanderen (ligging intensieve veeteelt, serres, ...).

3.4. OVERZICHT VAN DE PROBLEMEN EN MOEILIKHEDEN

3.4.1. GELEVERDE ADRESSENLIJSTEN VAN DE CABINES DOOR INFRAX EN EANDIS

- De locaties van de cabines werden aangeleverd onder de vorm van een adressenlijst. Deze adressenlijst duidt hoogstwaarschijnlijk de locatie aan van het sleuteltje van de cabine of verwijst naar het gebouw waarin de cabine zich bevindt. Door de geocodering van het

adres wordt de coördinaat meestal in het midden van het perceel geplaatst, waardoor de exacte locatie van de cabine nog enkele tot tientallen meters hiervan verwijderd kan zijn. Men zou moeten kunnen vertrekken van (x,y)-coördinaten die met GPS op de locatie van de cabine werden opgemeten, vooral omdat de kritieke blootstelling niet veel verder reikt dan 10 tot 15 m.

- Problemen bij geocodering door het niet automatisch herkennen van straatnamen en huisnummers. Bepaalde huisnummers bleken bovendien niet te bestaan. Ook de straatnamen waren soms niet correct; in havens bijvoorbeeld werden soms geen straatnamen gebruikt, maar de namen van dokken.
 - ➔ Dit probleem werd opgelost door handmatige correcties toe te passen op basis van het GRB (geconsulteerd via de GDI-viewer) en Google Streetview. Maar, dit behelst een bijzonder dure ingreep die erg veel tijd opsloopt zonder dat de garantie bestaat op een foutloos resultaat. Google Streetview biedt namelijk geen absolute zekerheid voor de locatie.
- Eandis zegt geen lijsten te kunnen geven van het aantal klantcabines per gemeenten
 - ➔ Dit probleem kon niet opgelost worden, het model zal dus steeds een onderschatting zijn van het werkelijke aantal cabines in Vlaanderen.
- De adressenlijst van Infracx bevat geen informatie over de hoogtelocatie (boven- of ondergronds) van de cabines
 - ➔ Dit probleem kon niet opgelost worden, de hoogtelocatie van de cabines zal bijgevolg niet opgenomen zijn in het model. Hiervoor zal later dan een algemene hoogte verondersteld worden. Uit het terreinbezoek en gesprekken met de medewerkers van Infracx blijkt dat de locatie nagenoeg steeds de gelijkvloerse verdieping betreft, zonet, in een minderheid van de gevallen, de kelderverdieping.
- De adressenlijst van Infracx bevat ook zogenaamde "paalposten". Maar liefst 11% (183 van de 1654) van de aangeleverde adressen van cabines bevatten de opmerking "paalpost". Deze paalposten hebben een vermogen van maximaal 250 kVA, maar zijn enkel op basis van het vermogen niet direct te onderscheiden van andere cabines (zie figuur 11). Er wordt verondersteld dat het ELF-veld in de buurt van deze paalposten significant verschillend is van andere cabines. Bijgevolg zijn deze paalposten niet te bestuderen binnen deze studie.
 - ➔ Dit probleem kon opgelost worden door deze paalposten te verwijderen uit de dataset. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat er geen absolute zekerheid bestaat dat de overige cabines niet ook enkele cabines van het type "paalpost" bevatten.

3.4.2. PROBLEMEN BIJ DE CALIBRATIE VAN HET MODEL

Bij de analyses van mogelijke parameters die een verklarende variabele kunnen zijn, werden weinig mogelijk significante verbanden geobserveerd. Alhoewel de randvoorwaarden voor de plaatsing van de cabines (afstand tot de weg en het landgebruik) een verfijning mogelijk maken van de plaatsingszone van het allocatiemodel, blijft het onmogelijk om tot een effectieve uitvoering van deze plaatsing over te gaan. De hypothese dat aan een cabine op basis van Thiessenpolygonen een toeleveringsgebied kan gekoppeld worden waarbinnen een bepaald elektriciteitsverbruik aanwezig is, blijkt niet stand te houden na deze analyse.

Er is een nood aan meer verklarende variabelen, maar bovendien kan eveneens het gebruik van Thiessenpolygonen voor het begrenzen van theoretische toeleveringsgebieden in vraag gesteld worden. Al snel bleek immers een grote variatie in de grootte van deze Thiessenpolygonen te zijn. Vooral de zeer grote polygonen in de meer landelijke zones van het studiegebied zullen naar grote waarschijnlijkheid niet overeenkomen met de werkelijkheid. In dit soort gebied zal de exacte ligging van de elektriciteitsnetten van middenspanning en het weggennetwerk namelijk een grotere

invloed hebben op het toeleveringsgebied dan de vogelvluchtafstand tussen twee of meerdere cabines. Bovendien kan ook gesteld worden dat in deze grote toeleveringspolygonen grote gebieden zitten die eigenlijk niet van elektriciteit voorzien worden, zoals akkers, bossen en natuur. In de stedelijke centra, waar de Thiessenpolygonen doorgaans zeer klein zijn, kan bovendien ook het zoeken naar verbanden tussen dit gebied en het elektriciteitsverbruik bemoeilijkt worden door het niet overeenkomen van de polygonen met het werkelijke toeleveringsgebied. Hier is de historische groei van de centra mogelijk de factor met de grootste invloed op de afbakening van toeleveringsgebieden van cabines. Wanneer bijvoorbeeld een groot appartementsgebouw werd gepland in een zone die reeds voorzien werd door een cabine of bij het aanleggen van nieuwe straten en wijken werd mogelijk een extra cabine voorzien die mogelijk niet alleen deze nieuwe constructie voorziet, maar ook een aanpassing van het reeds bestaande toeleveringsnet teweeg brengt. Door deze historische groei zal ook in deze centra de toeleveringsgebieden mogelijk nog weinig verband houden met de dichtstbijzijnde, logische locaties.

Verder werd er bij de verkennende analyse van de locaties, die gebeurde tijdens het corrigeren van de geocodering van de cabines in de West-Vlaamse gemeenten onder beheer van Infrax, opgemerkt dat de plaatsing van de cabines mogelijk zeer sterk afhankelijk is van de functie van de cabine. Zo werden cabines opgemerkt aan belangrijke verkeersinfrastructuren (knooppunten van autostrades of andere grote wegen, spoorwegen, sluizen, etc.) die mogelijk enkel elektrische voorzieningen behorend bij deze verkeersinfrastructuur voorzien. Het is niet geweten of deze cabines door de netbeheerders beheerd worden, of, toebehoren aan de beheerder van de betreffende infrastructuur. Bovendien is er bekend dat een cabine vereist is voor elektriciteitsverbruikers die een vraag hebben van een vermogen ≥ 25 kVA (Eandis, 2012). Wij veronderstellen dat dit onder meer betekent dat voor bepaalde nijverheden (zoals onder meer bakkers, drukkers en schrijnwerkers) standaard een cabine geplaatst moet worden. Het is echter onbekend of deze cabine dan enkel de nijverheid zal bedienen, dan wel ook de omgeving. Wellicht gaat het om mengvormen die variëren van het ene tot het andere uiterste en mede bepaald zijn door de geschiedenis van de locatie en de nijverheid in kwestie. Door het ontbreken van duidelijke trends van cabines die gelegen zijn in residentieel gebied versus in bedrijventerreinen, wordt er echter verwacht dat een onderzoek in functie van dergelijke unieke specificaties in deze studie te ver zou leiden, zonder een garantie op betere resultaten.

Bij deze verkennende analyse werd ook opgemerkt dat de voorkeurplaatsing van cabines in residentieel gebied variabel in de tijd gebeurd is. Zonder over de effectieve ingebruiknamedata of plaatsingsdata te beschikken van de cabines in de West-Vlaamse gemeenten die bediend worden door Infrax, lijkt het zo dat de voorkeursplaatsing varieert doorheen de afgelopen decennia. De oudste cabines in residentieel gebied (vermoedelijk rond de jaren '20 gebouwd, geschat op basis van de inventaris van het Bouwkundig erfgoed) blijken te bestaan als bakstenen huisjes die een groot volume innemen en regelmatig aansluitend aan woningen of zelfs tussen woningen geplaatst werden (zie Figuur 3.19).



Figuur 3.19: Links: Foto met electriciteitscabine met transformatorhuisje in de gemeente Koekelare; Rechts: Foto met elektriciteitscabine in de gemeente Ichtegem (Bron: Inventaris Onroerend erfgoed)

Een aantal cabines komen bovendien voor aanleunend of zelfs in kapelletjes (zie Figuur 3.20). Het is onduidelijk of deze cabines zijn geplaatst in bestaande kapellen of de cabines eerst gebouwd zijn en bij deze bouw als kapel werden ingericht. Het Inventaris Onroerend Erfgoed leert ons dat deze structuren vooral in de jaren '40 en '50 gebouwd werden.



Figuur 3.20: Foto's van kapellen waar in de achterzijde (links) of in het interieur (rechts) een elektriciteitscabine gelegen is, gemeente Izegem (Bron: Inventaris Onroerend erfgoed)

In de volgende decennia lijkt het plaatsen van cabines in bakstenen constructies te zijn afgenomen en komen deze constructies ook niet meer voor in de Inventaris Onroerend Erfgoed. Maar ook hier lijkt een trend van een verschuiving van cabines in nieuw ontwikkelde wijken op openbare pleintjes en "restruimte" naar ondergrondse garages en parkings, wanneer deze aangelegd worden. Deze hypothese kan echter zeer moeilijk onderzocht worden.



Figuur 3.21: Google Streetview beeld van een cabine op een speelplein aan de Tovenarsstraat te Gistel (Google, 2013)

Deze analyse toont aan dat een model ter locatie van cabines met deze historische context (en veranderd beleid doorheen de jaren) mogelijk rekening moet houden om de beste resultaten te kennen. Deze context is echter zeer complex en mogelijk ook verschillend binnen provincies, regio's en gemeenten onderling.

3.5. MOGELIJKE TE VOLGEN PISTES OP BASIS VAN DEZE MOEILIKHEDEN

Ten gevolge van de beschreven moeilijkheden, lijkt het ons aangewezen om nieuwe pistes in overweging te nemen ter vervanging van de ontwikkeling van een geografisch statistisch model ter plaatsing van de te bestuderen elektriciteitscabines in Vlaanderen. 3 mogelijke pistes worden hieronder beschreven.

Rangschikking volgens toenemende onzekerheid naar lokalisatie:

- Enkel werken met de cabines uit het GRB (locatie exact gekend adhv polygonen van de cabines)
- Cabines uit het GRB combineren met de steekproef van Eandis en Infrax (geocodering van adressen met huisnummers)
- Cabines uit het GRB combineren met steekproef van Eandis en volledige dataset van Infrax (geocodering van adressen met en zonder huisnummers)

Dit heeft consequenties voor de inschatting van de blootstelling:

Ofwel behoorlijke onderschatting door enkel de blootstelling te meten ten aanzien van bovenstaande cabines (één van de drie opties) of toch extrapolatie zoals aangegeven in deel 3.3. Aangezien er geen info is over klantencabines, zal het sowieso een onderschatting blijven.

3.5.1. WERKEN MET DE CABINES WAARVAN DE LOCATIE WEL EXACT GEKEND IS

Aangezien cabines geïnventariseerd worden in het GRB (Grootschalig ReferentieBestand), is de exacte locaties van een aantal cabines in Vlaanderen gekend en beschikbaar. Een analyse van deze data duidde er wel op dat enkel de cabines die herkenbaar zijn als cabine op straatniveau zo ook geïnventariseerd zijn. Cabines die in kelders of ondergrondse garages geplaatst zijn, ontbreken in deze dataset. Uit het onderzoek blijkt dat de cabines uit het GRB wel degelijk electriciteitscabines zijn, maar een garantie dat dit systematisch gaat om cabines waarin transformatie plaatsvindt, is er niet. Bovendien werden de oudere cabines in bakstenen constructies niet geïnventariseerd als “kunstwerk – elektriciteitscabine” maar als “gebouw aan de grond” zonder aan dit gebouw een functie te geven. Dit leidt ertoe dat de te gebruiken dataset aan cabines 46% van de cabines beheerd door Eandis en Infrax (klantcabines niet mee in overweging genomen) omvat. Daarbovenop zullen de gemeenten waarvan de locaties van cabines door Eandis en Infrax werd aangeleverd ook nog steeds gebruikt worden, wat leidt tot de gekende locatie van 49% van de cabines in Vlaanderen.

3.5.2. WERKEN MET DE CABINES WAARVAN DE LOCATIE GEKEND IS IN COMBINATIE MET EEN ALLOCATIE OP STRAATNIVEAU

Infrax leverde adressenlijsten van alle cabines die zij in hun beheer hebben, tot op het niveau van de straatnaam. Deze informatie zou ook nuttig kunnen zijn en gebruikt worden, ondanks het ontbreken van het exacte huisnummer. In korte straten met weinig huisnummers zal de allocatiefout vrij beperkt zijn, doch in lange straten met zeer veel percelen komen mogelijk ook meerdere cabines voor op één straat en zal een zekere spreiding verondersteld moeten worden. Bij deze piste kan er geopteerd worden voor een random allocatie binnen de straat, een allocatie in het midden van de straat of voor een allocatie gebaseerd op landgebruik en enkele andere mogelijke variabelen. Ook kunnen eerst de GRB cabines geplaatst worden op de straten en vervolgens de ontbrekende cabines op basis van de stratenlijsten.

Bij deze piste dient wel opgemerkt te worden dat op deze wijze een groot onderscheid zal bestaan tussen de gemeenten die enkel bediend worden door Eandis (enkel de GRB-cabines zijn hier dan gekend) en deze die bediend worden door Infrax (alle cabines bediend door Infrax worden hier dan geplaatst). Dit leidt tot een dataset die 62% van de cabines in Vlaanderen omvat (dit cijfer is uitgezonderd klantcabines).

3.5.3. WERKEN MET EEN BLOOTSTELLINGSMODEL

Een andere, sterk afwijkende, piste is het extrapoleren van de blootstelling van de bevolking aan de ELF-straling van de cabines op basis van de gemeenten waar de exacte locatie van de cabines gekend is naar alle overige gemeenten. Hier wordt géén poging gedaan om onbekende cabines te plaatsen, ook niet op basis van het GRB, maar wordt er meteen de overstap gemaakt naar een inschatting van de mogelijke blootstelling. De nauwkeurige blootstellingsgraad binnen de calibratiegemeenten zou geëxtrapoleerd kunnen worden op basis van inwonersdichtheid, aantal cabines binnen de gemeenten en eventuele andere variabelen. Op deze wijze blijft de locatie van de cabine echter ongekend, maar hebben de onnauwkeurigheden ten gevolge van de plaatsing van cabines op basis van een statistisch geografisch model geen verder effect op de betrouwbaarheid van de blootstelling op zich. Aangezien de blootstellingscontouren rond een cabine slechts enkele meters reiken, hebben deze onnauwkeurigheden sowieso een groot effect op de blootstellingsresultaten.

Deze methode zou bovendien gevalideerd kunnen worden op de huidige validatiegemeenten, alhoewel deze dataset in feite zeer klein is.

3.5.4. CONCLUSIE

Uit deze drie voorstellen blijkt dat de verdere pistes een keuze afdwingen tussen (1) minder cabines in het model opnemen dan werkelijk in ons leefmilieu voorkomen, maar daardoor wel (min of meer) zekerheid hebben over de locatie en blootstelling ten gevolge van deze gekende cabines, of (2) de blootstelling van de bevolking inschatten op basis van een extrapolatie van cabines, waarbij de exacte locatie van de cabines niet in overweging wordt genomen, of ten slotte (3) het verder ontwikkelen van het model dat voordien besproken werd, waarbij er een kansgebaseerde zekerheid is over de locatie van alle cabines.

In het kader van deze studie werd besloten het allocatiemodel voor cabines niet verder te ontwikkelen. Daarentegen werd er een module ontwikkeld zodat individuele cabines ingevoerd kunnen worden en vervolgens verwerkt kunnen worden in het blootstellingsmodel. Daarnaast zullen ook nog twee andere datasets beschikbaar zijn waarin reeds een aantal cabines aanwezig zijn:

- Cabines aangeleverd door Eandis en Infrax
- Cabines uit het GRB

Deze datasets kunnen gebruikt worden om de magnetische velden en corresponderende blootstellingscijfers te berekenen.

HOOFDSTUK 4. DE LOKALISATIE VAN DE VERSCHILLENDE BLOOTSTELLINGSGROEPEN

Om de blootstelling aan ELF-stralen van de bevolking te kunnen inschatten, werden verschillende datasets gecreëerd die de totale bevolking en enkele specifieke bevolkingsgroepen zo nauwkeurig mogelijk spreiden in de ruimte. De specifieke bevolkingsgroepen werden geselecteerd op basis van kwetsbaarheid, nl. zieken, ouderen en jonge kinderen (< 15 jaar). Bovendien werden ook onbebouwde woonpercelen opgenomen in deze dataset om te kunnen inschatten hoeveel van het potentieel woongebied blootgesteld wordt aan ELF-straling. Dit hoofdstuk bespreekt voornamelijk de methodologische aanpak voor het creëren van de specifieke datasets.

In het algemeen werden de blootstellingsgroepen gelinkt aan een bepaald kadastraal perceel op basis van zijn adres of op basis van zijn specifieke coördinaatgegevens, indien beschikbaar. Vervolgens worden het aantal inwoners/kinderen/zieken/ouderen binnen dit perceel meer specifiek gelokaliseerd in het hoofdgebouw, of indien dit niet aanwezig is het bijgebouw, aanwezig op het perceel. Voor scholen en kinderopvanglocaties echter worden de kinderen verdeeld over de gebouw(en) en het buitenterrein van het perceel met behulp van een vrij in te stellen tijdsaandeel-indicator aangezien kinderen bij deze faciliteiten ook een substantieel deel van hun tijd buiten zullen doorbrengen. Tot slot worden binnen alle gebouwen de bewoners/gebruikers in het 3-dimensionaal vlak verdeeld op 3 verschillende manieren, zodat later in de rekenmodule geopteerd kan worden voor een “minimale blootstelling”, een “maximale blootstelling” of een tussenvorm.

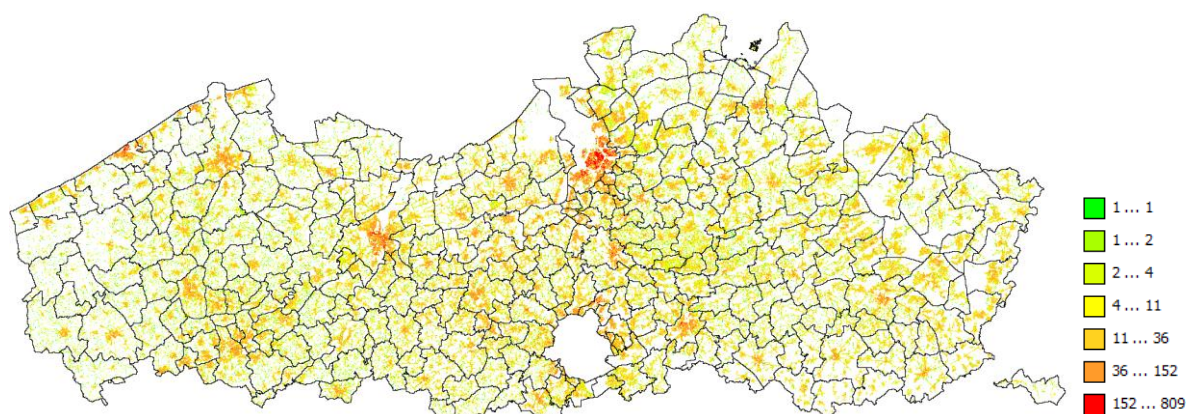
4.1. INWONERS

Voor de berekening van de blootstelling van inwoners en kinderen hebben we ons gebaseerd op een confidentieel puntenbestand van huishoudens afkomstig van de Vlaamse MilieuMaatschappij. In dit bestand werden inwonergegevens van het Rijksregister (toestand april 2013) gekoppeld aan CRAB-adresposities (toestand december 2012). Het resultaat is een puntenbestand waar elk punt staat voor een bepaald adres waaraan het aantal huishoudens, het aantal inwoners en het aantal kinderen gekoppeld werd.

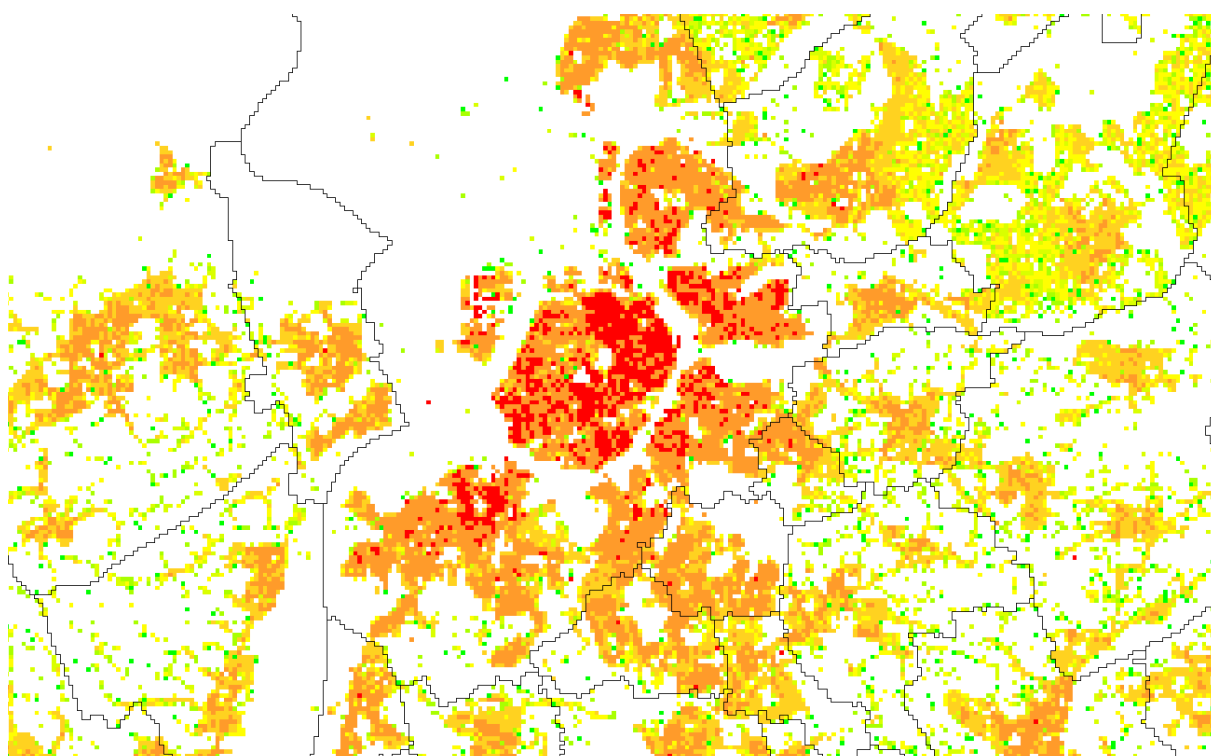
De koppeling aan een adrespositie lukte niet voor 1,88% van het totaal aantal gezinnen uit het Rijksregister (is 1,5% van het totaal aantal inwoners). Deze gezinnen werden bijgevolg niet meegenomen in de blootstellingsberekeningen.

Het puntenbestand bevat 2.105.488 unieke locaties waaraan 6.296.762 inwoners en 1.228.373 kinderen gekoppeld zijn. Voor 7% van de locaties geldt dat er meer dan 1 huishouden gevestigd is op de locatie. In deze ‘meersgezinswoningen’ wonen 20% van de totale bevolking en 15% van het aantal kinderen. Ook woonzorgcentra vallen onder deze categorie.

Figuur 4.1 beschrijft de ruimtelijke spreiding van het aantal inwoners uitgaande van bovenstaand puntenbestand. De kaart is het resultaat van een verrastering waarbij alle punten binnen éénzelfde rastercel van 100x100m geaggregeerd werden. Figuur 4.2 toont een detailbeeld voor de regio Antwerpen.



Figuur 4.1: Ruimtelijke spreiding van het aantal inwoners, in aantal per hectare (2013)



Figuur 4.2: Detailbeeld van de ruimtelijke spreiding van het aantal inwoners, regio Antwerpen.

Aangezien de afstand van de blootstellingscontouren rond ELF-bronnen zich meestal in de grootteorde van enkele meters bevinden, is een dergelijk zeer gedetailleerd inwonerbestand uitermate interessant. Een analyse van de locatie van de inwonerpunten maakte echter duidelijk dat deze zich meestal in het midden van het perceel bevonden, en niet in het gebouw. Dit is eigen aan de geocodering met CRAB, maar we wensen de nauwkeurigheid van dit bestand nog op te drijven door het aantal inwoners en kinderen te verplaatsen van het middelpunt van het perceel naar het hoofdgebouw op dat perceel.

Figuur 4.3 maakt dit duidelijk voor een concreet aantal inwonerpunten (blauwe stippen). Voor een aantal percelen bevinden de punten zich reeds in het (lichtblauw gekleurde) hoofdgebouw. Voor de percelen met de paarse gebouwen moeten de punten nog verplaatst worden zodat de inwoners zich ook effectief in het gebouw bevinden. Door de punten in het gebouw te leggen, kon in een vervolgstap ook een 3D-component toegevoegd worden aangezien voor elk gebouw ook de hoogte is gekend (zie verder).

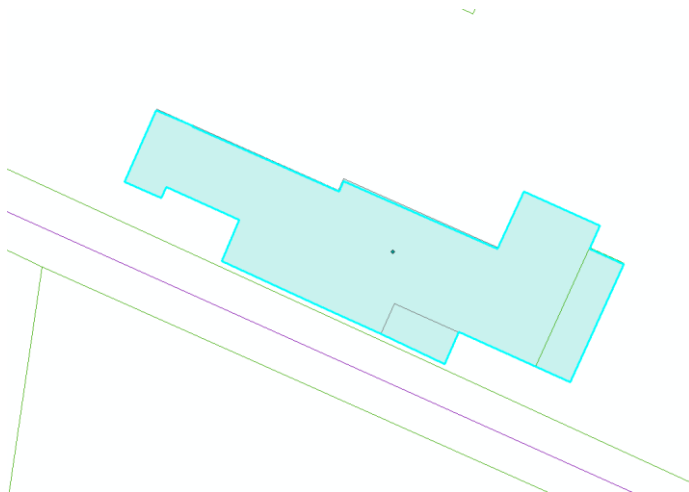


Figuur 4.3: Positionering van het puntenbestand met inwoners ten opzichte van de gebouwen en de perceelsranden

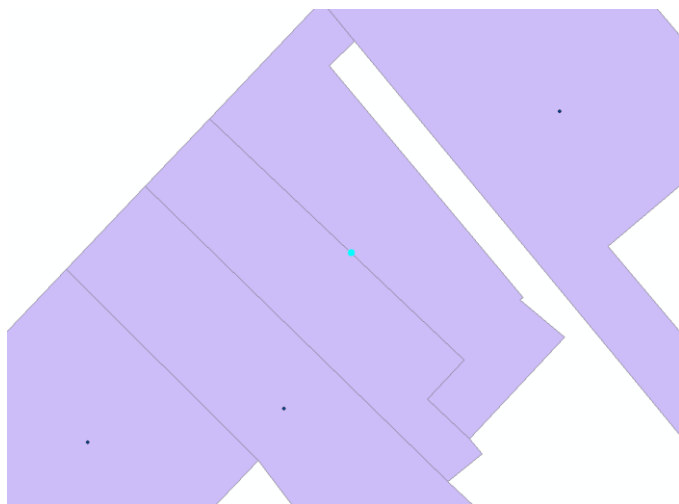
In een eerste stap werden de punten die zich reeds in een kadastraal hoofdgebouw (bron: GRB, 2014) bevonden aan deze gebouwen gekoppeld (van toepassing voor 88% van de inwonerpunten).

Hier kwamen verschillende situaties voor:

- Meerdere inwonerpunten in één hoofdgebouw
- Eén inwonerpunt aan meerdere hoofdgebouwen (kwam 108x voor in Vlaanderen):
 - o Figuur 4.4 illustreert de mogelijkheid dat er in het GRB- hoofdgebouwenbestand twee hoofdgebouwen boven mekaar aanwezig zijn. Deze hebben dan een andere opnamedatum en vaak ook een andere vorm. Hier werd gekozen om te koppelen met het meest recente hoofdgebouw.
 - o Soms ligt een inwonerpunt net op de raaklijn tussen twee gebouwen (zie Figuur 4.5) en worden ze door de GIS-operatie bijgevolg aan beide gebouwen gekoppeld. Hier wordt ervoor gekozen om één van beide gebouwen (willekeurig) te schrappen. Bij dit schrappen moet er wel op gelet worden dat dit gebouw niet relevant is voor een ander inwonerpunt.



Figuur 4.4: Twee GRB-hoofdgebouwen boven mekaar.



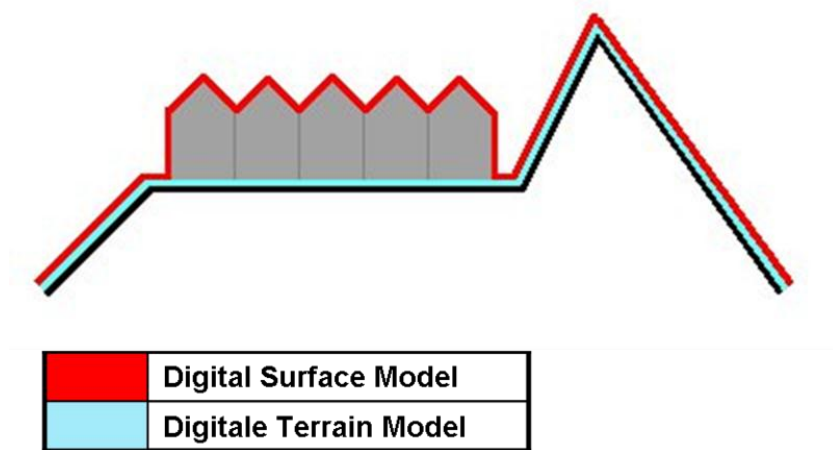
Figuur 4.5: Inwonerpunt bevindt zich op de raaklijn tussen twee GRB-hoofdgebouwen.

Voor de overige 12% van de inwonerpunten moest een ruimtelijke koppeling gebeuren tussen de locatie en het meest nabijgelegen hoofdgebouw. Voor de ruimtelijke analyse werd het hoofdgebouw vervangen door zijn centroïde. Gemiddeld bedroeg de afstand tussen het inwonerpunt en de centroïde van het gekoppelde gebouw 16m.

Op die manier werden de 2.105.488 unieke locaties omgevormd tot 2.036.764 gebouwen, waarbij 90% van het gebouwenbestand één huishouden bevat.

Aangezien we ook informatie hebben over de hoogte van elk hoofdgebouw, kon nu in een vervolgstap het aantal huishoudens, inwoners en kinderen gespreid worden over de verdiepingen. De dataset GRB gebouwen met hoogtegegevens werd ontwikkeld door VITO in opdracht van het Agentschap voor Geografische Informatie Vlaanderen (AGIV) en is het resultaat van een combinatie van een Digitaal Hoogte Model (DTM) en een Digitaal Oppervlakte Model (DSM) op basis van een Lidar meetcampagne. Het verschil tussen een DTM en een DSM wordt geïllustreerd in Figuur 4.6.

Figuur 4.7 illustreert de dataset voor de regio Leuven. Er werd verondersteld dat een gemiddelde verdieping 3m hoog is. Het aantal verdiepingen per gebouw werd dan ingeschat op basis van deze gemiddelde hoogte, waarbij werd afgerond naar beneden.



Figuur 4.6: Verschil tussen een DSM en een DTM



Figuur 4.7: Hoogtegegevens per gebouw voor de regio Leuven (uitgedrukt in cm)

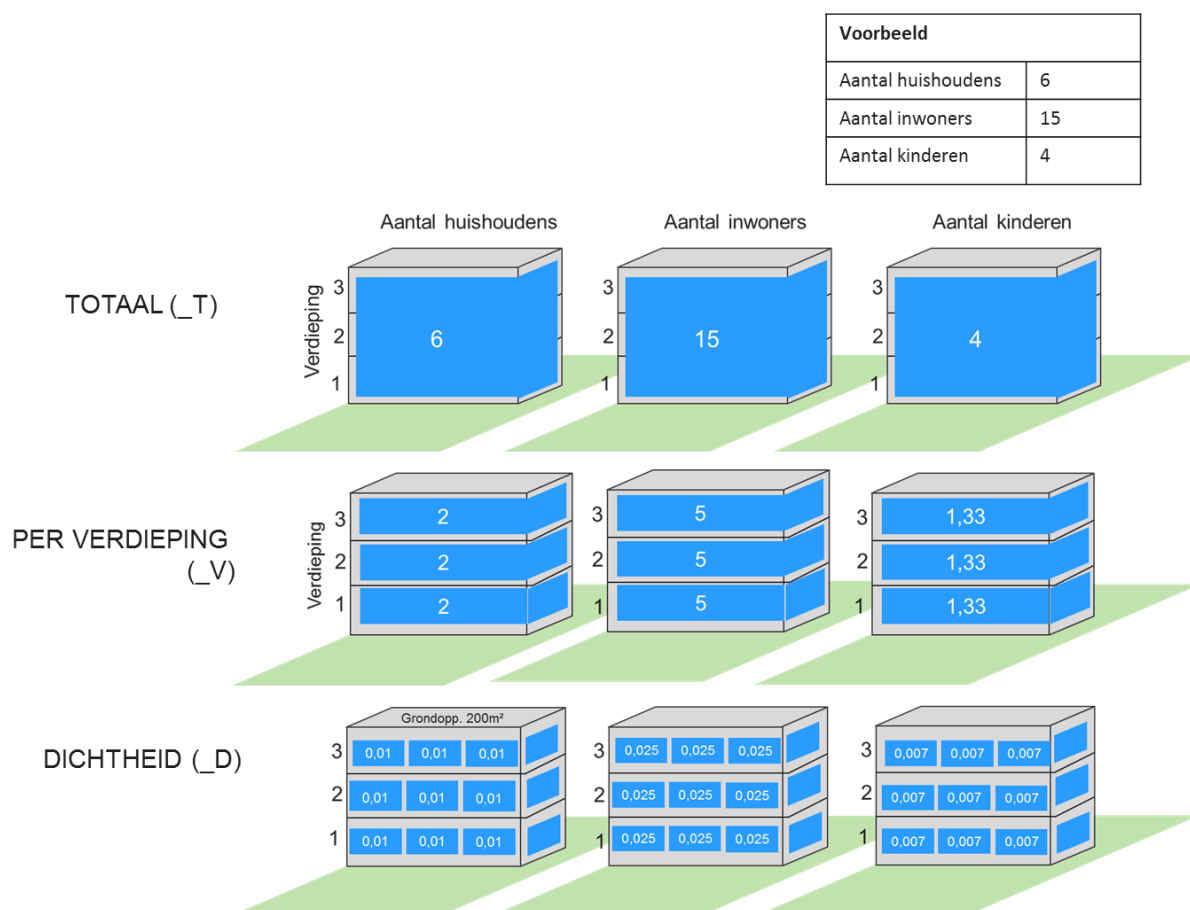
Op basis van deze data is volgende informatie per gebouw beschikbaar:

- Het totaal aantal huishoudens, inwoners en kinderen
- Het aantal huishoudens, inwoners en kinderen per verdieping
- Het aantal huishoudens, inwoners en kinderen per m² per verdieping

Figuur 4.8 illustreert deze drie mogelijkheden aan de hand van een concreet voorbeeld.

In het rekenmodel zijn er dan drie mogelijkheden ontwikkeld om de blootstelling van inwoners en kinderen ten aanzien van de contouren te berekenen. Deze houden rekening met de verschillende types aan informatie en geven een worst case, een best case en een tussenvorm weer:

- Maximum telling: het totaal aantal huishoudens, inwoners en kinderen wordt in rekening gebracht van zodra de contour aan het gebouw raakt. Dit is met name interessant voor eensgezinswoningen waar het moeilijk is om met een dichtheid per verdieping te gaan werken.
- Minimum telling: het aantal huishoudens, inwoners en kinderen per m² per verdieping wordt meegenomen voor die oppervlakte van het gebouw dat effectief snijdt met de contour.
- Tussenvorm: het aantal huishoudens, inwoners en kinderen per verdieping wordt volledig in rekening gebracht van zodra de contour aan het gebouw raakt.



Figuur 4.8: Berekening van het aantal huishoudens, inwoners en kinderen op drie verschillende manieren

4.2. KINDEROPVANG

Een puntenshapefile werd door LNE aangeleverd met 10.622 puntlocaties binnen Vlaanderen waar een kinderopvangfaciliteit zich bevindt met zijn geraamde capaciteit. Deze punten zijn onderverdeeld in verschillende types van faciliteiten, die gegroepeerd werden tot volgende categorieën:

- Buitenschoolse Opvang (BO)
 - BOKDV: buitenschoolse opvang gelinkt aan een kinderdagverblijf
 - IBO: initiatieven buitenschoolse opvang
 - ZBO: zelfstandige buitenschoolse opvang
- Kinderdagopvang (KDO)
 - DVO: dienst voor onthaalouders

- KDV: kinderdagverblijf
- ZKDV: zelfstandig kinderdagverblijf
- ZOO: zelfstandige onthaalouders
- LODI: lokale diensten voor voorschoolse buurtgerichte kinderopvang
- Vakantieopvang (VOP)

In eerste instantie werden de kadastrale percelen geselecteerd waarbinnen deze punten gelegen zijn. 413 van de 10.622 puntlocaties (4%) bleken niet gelegen te zijn binnen een kadastraal perceel en werden daarom gecorrigeerd door deze automatisch te linken aan het meest nabijgelegen perceel. Er bleken 9.799 unieke perceelslocaties gelinkt te zijn aan kinderopvangfaciliteiten in Vlaanderen in totaal. Dit cijfer is lager dan het aantal puntlocaties doordat elk type opvang een verschillend punt was in de oorspronkelijke dataset, terwijl deze zich op hetzelfde administratieve adres kunnen bevinden, wat bijvoorbeeld het geval is bij een combinatie van naschoolse opvang en een kinderdagverblijf. Het hoogst aantal verschillende administratieve kinderopvangfaciliteiten op één locatie bevond zich in Roeselare, waarbij een zelfstandig kinderdagverblijf administratief opgedeeld is in 4 eenheden (*peuters*, *peuters by night*, *kleuters*, *kleuters by night*) en ook nog een buitenschoolse opvang omvat.

Vervolgens werd ook op zoek gegaan naar de gebouwen (uit het GRB) die zich op deze percelen bevonden om hier ook de informatie van de oorspronkelijke puntlocaties aan te koppelen. Hierbij bleken volgende koppelingen mogelijk:

- 9.604 percelen konden gekoppeld worden aan een hoofdgebouw aanwezig op dit perceel
- 103 percelen konden gekoppeld worden aan een bijgebouw aanwezig op dit perceel (bij gebrek aan hoofdgebouwen op dit perceel)
- 92 percelen bevatten geen hoofd- of bijgebouw.

In dit laatste geval werd het volledig perceel als gebouw beschouwd met als aantal verdiepingen het gemiddelde aantal verdiepingen van gebouwen met een kinderopvangfunctie, nl. 2.

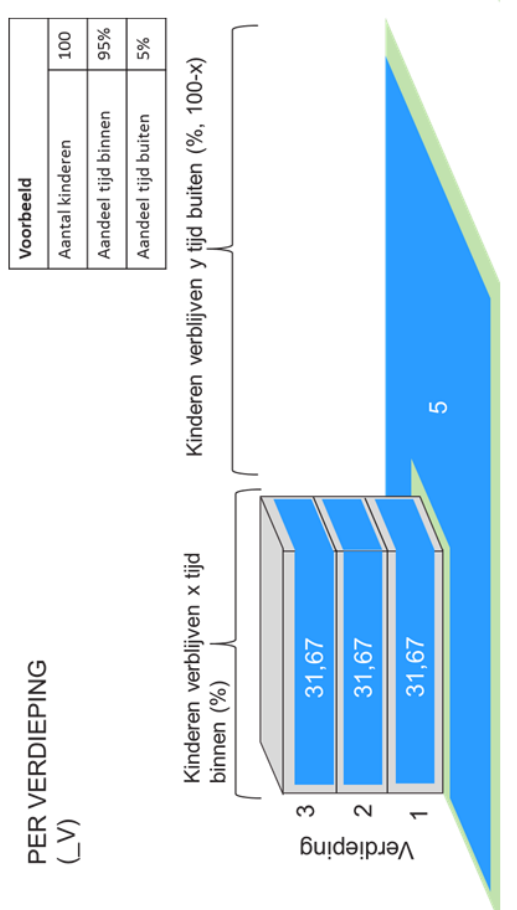
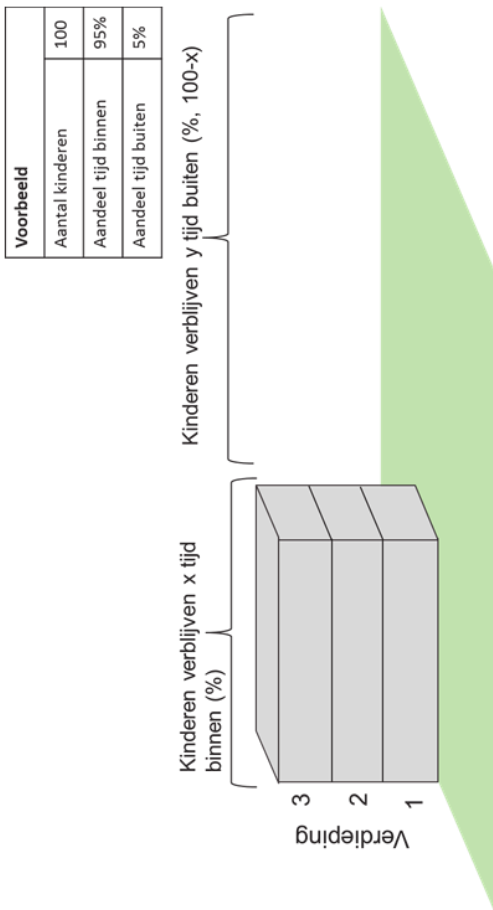
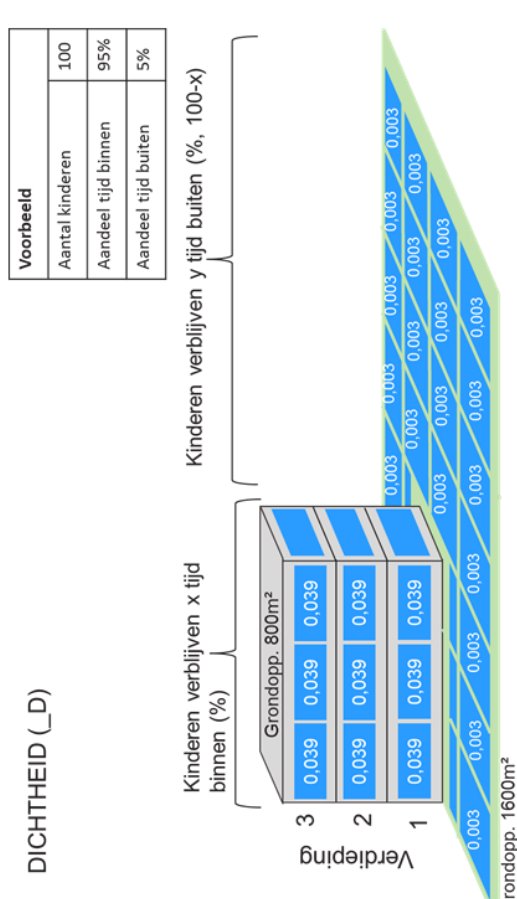
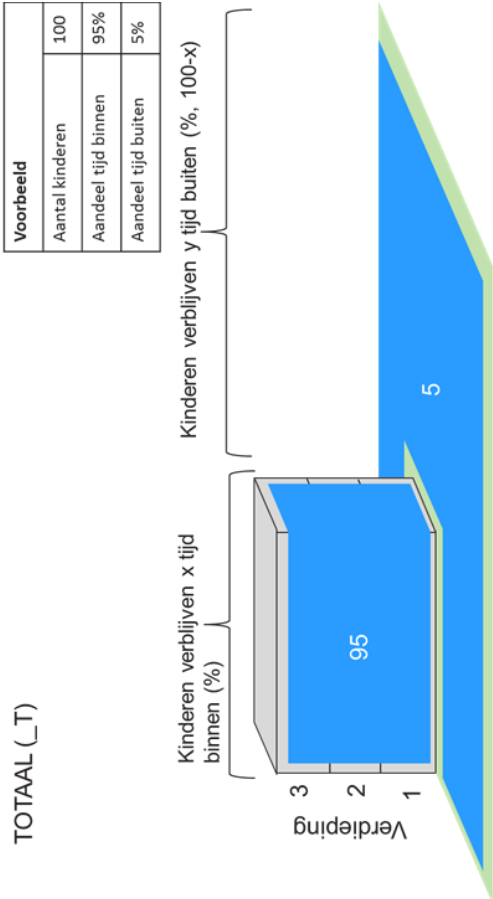
Aangezien kinderen in een dagopvang of buitenschoolse opvang zich ook een groot gedeelte van de tijd in de buitenlucht bevinden, werden de kinderen ook gelinkt aan het buitenterrein van de faciliteit. Het buitenterrein wordt gedefinieerd als het deel van het perceel dat niet het grondvlak van het hoofd- of bijgebouw bevat waaraan de kinderen zijn gelinkt. In de shapefile die deze informatie bevat wordt het totaal aantal kinderen van de faciliteit weergegeven, maar ook het tijdsdeel dat kinderen buiten/binnen doorbrengen. Er wordt momenteel uitgegaan van een verdeling 5%/95%, maar dit kan eenvoudig gewijzigd worden in de onderliggende attributentabel. Dit percentage wordt dan in het blootstellingsmodel gebruikt om het aantal blootgestelde kinderen te berekenen. Het ruimtelijke onderscheid tussen deze twee situaties laat toe om een hoogteverschil toe te kennen aan het buitenterrein (enkel gelijkvloers) en de gebouwen (tot de maximale hoogte).

Wanneer een perceel echter volledig bedekt is met het bebouwde gedeelte of wanneer er geen gebouw kon gelinkt worden aan het perceel, wordt verondersteld dat de kinderen de gehele dag binnenskamers doorbrengen (313 percelen, 0,3%). Dit wordt onderscheiden van de gebouwen waar kinderen ook een buitenterrein hebben door gebruik te maken van de beschrijving “enkel binnen” in plaats van “binnen” onder het attribuut “locatie”. Deze locaties moeten dus altijd een tijdspercentage van 100% toegewezen krijgen.

Aangezien de kennis ontbreekt over de exacte spreiding van kinderen binnen de gebouwen en op het buitenterrein, moet het totaal aantal kinderen op een standaard wijze verdeeld worden over deze locaties om uiteindelijk een bruikbaar blootstellingscijfer te kunnen gebeuren. Deze spreiding kan op verschillende manieren gebeuren, die elk een impact hebben op de onder- of overschatting

van het aantal blootgestelde kinderen indien slechts een deel van het perceel wordt blootgesteld aan een bepaalde magnetische veldsterkte. Bij het creëren van de blootstellingsdataset werden dan ook verschillende spreidingscijfers berekend, die gebruikt worden binnen de rekenmodule in de respectievelijke scenario's "maximale blootstelling", "tussenvorm" en "minimale blootstelling".

- **Totaal:**
 - Alle kinderen bevinden zich zowel in het volledige gebouw als op het volledige buitenterrein, maar de verdeling tussen gebouw en buitenterrein gebeurt volgens de tijdsverdeling die in de attributentabel ingegeven kan worden.
 - Indien een magnetisch veld een gebouw snijdt (tussen 0 en de maximale hoogte van het gebouw), het totaal aantal kinderen in het gebouw worden allemaal blootgesteld, onafhankelijk van de hoogte of de grootte van het magnetisch veld.
 - Indien een magnetisch veld een buitenterrein snijdt (maximale blootstellingshoogte is 3m), worden eveneens alle kinderen die toegekend zijn aan het buitenterrein blootgesteld aan het magnetisch veld.
 - Deze methode resulteert in de "maximale blootstelling".
- **Verdieping:**
 - Binnen de gebouwen worden de kinderen verdeeld over de verschillende verdiepingen. Wanneer er echter meerdere gebouwen op één perceel aanwezig zijn, wordt er enkel rekening gehouden met de hoogte van het hoogste gebouw en wordt deze toegekend aan alle gebouwen. Er wordt verondersteld dat één verdieping 3m hoog is. Het aantal verdiepingen wordt dan berekend op basis van deze typische hoogte per verdieping, waarbij afgerond wordt naar beneden.
 - Indien een magnetisch veld een verdieping van een gebouw snijdt wordt het totaal aantal kinderen binnen die verdieping allemaal blootgesteld, onafhankelijk van hoeveel oppervlakte van dit gebouw effectief bedekt wordt door dit magnetisch veld.
 - Indien een magnetisch veld een buitenterrein snijdt (maximale blootstellingshoogte is 3m), worden alle kinderen die toegekend zijn aan het buitenterrein meegenomen in de blootstellingsberekening.
 - Deze methode resulteert in een blootstellingscijfer dat een "tussenvorm" is tussen de "maximale blootstelling" en de "minimale blootstelling".
- **Dichtheid:**
 - Binnen de gebouwen worden de kinderen verdeeld over de verschillende verdiepingen én wordt een dichtheid berekend van aantal kinderen per m². Ook op het buitenterrein wordt de dichtheid van het aantal kinderen uitgedrukt in m².
 - Indien een magnetisch veld een verdieping van een gebouw snijdt wordt het aantal blootgestelde kinderen binnen die verdieping berekend in verhouding tot de grootte van de overlap van het magnetisch veld en de grondoppervlakte van het gebouw.
 - Indien een magnetisch veld een buitenterrein snijdt (maximale blootstellingshoogte is 3m), wordt eveneens het aantal blootgestelde kinderen berekend in verhouding tot de oppervlakte dat effectief versneden wordt door dit magnetisch veld.
 - Deze methode resulteert in de "minimale blootstelling".



4.3. SCHOLEN

Een puntenshapefile werd door LNE aangeleverd met 5.840 puntlocaties waar een school zich bevindt. Deze punten zijn onderverdeeld in verschillende types van faciliteiten, die gegroepeerd werden tot volgende categorieën:

- Kleuteronderwijs (KL)
 - *gewoon kleuteronderwijs*
 - *buitengewoon kleuteronderwijs*
- Lager onderwijs (LAG)
 - *gewoon lager onderwijs*
 - *buitengewoon lager onderwijs*
- Secundair onderwijs (SEC)
 - *secundair gewoon voltijds onderwijs*
 - *secundair deeltijds beroepsonderwijs*
 - *secundair buitengewoon onderwijs*
 - *deeltijds kunstonderwijs*
- Volwassenenonderwijs (VW)
 - *secundair volwassenenonderwijs*
 - *hoger beroeps volwassenenonderwijs*
 - *basiseducatie volwassenenonderwijs*
- Internaat (INT)

In eerste instantie werden de kadastrale percelen geselecteerd waarbinnen deze punten gelegen zijn. 283 van de 5.840 puntlocaties (5%) bleken niet gelegen te zijn binnen een kadastraal perceel en werden daarom handmatig gecorrigeerd naar het meest nabijgelegen grote perceel aangezien schoolpercelen doorgaans substantieel groter zijn (gemiddelde oppervlakte: 60 are) dan residentiële percelen en daarom vrij gemakkelijk te herkennen zijn binnen een straat. Er werden op deze manier 5.262 unieke schoolpercelen gevonden in Vlaanderen. Dit cijfer is lager dan het aantal puntlocaties doordat elk schooltype een verschillend punt was in de oorspronkelijke dataset, terwijl deze zich op hetzelfde administratieve adres kunnen bevinden, wat bijvoorbeeld het geval is bij een combinatie gewoon kleuteronderwijs en gewoon lager onderwijs.

Vervolgens werd ook op zoek gegaan naar de gebouwen (uit het GRB) die zich op deze percelen bevonden om hier ook de informatie van de oorspronkelijke puntlocaties aan te koppelen. Hierbij bleken volgende koppelingen mogelijk:

- 4.959 percelen konden gekoppeld worden aan een hoofdgebouw aanwezig op dit perceel
- 218 percelen konden gekoppeld worden aan een bijgebouw aanwezig op dit perceel (bij gebrek aan hoofdgebouwen op dit perceel)
- 85 percelen bevatten geen hoofd- of bijgebouw.

Tevens werd de opdeling tussen buitenterreinen en de gebouwen toegepast op dezelfde manier als bij de dataset met de kinderopvangplaatsen. Enkel werd nu een groter aandeel standaard toegewezen voor de buitenlocaties. Dit is momenteel ingesteld op 85% binnen/15% buiten. Deze parameter kan flexibel ingesteld worden in de attributentabel en de rest van de blootstellingsberekeningen worden automatisch aangepast aan deze nieuwe cijfers.

4.4. ZORGCENTRA

Door LNE werd afzonderlijk een adressenbestand en een bezettingsbestand van alle Vlaamse ziekenhuizen en verzorgingstehuizen aangeleverd. Deze gegevens werden met elkaar gelinkt en met behulp van CRAB gekoppeld aan (x,y)-coördinaten. De verzorgingscentra werden onderverdeeld in 4 categorieën:

- Algemeen ziekenhuis (AZ)
- Psychiatrisch ziekenhuis (PZ)
- Psychiatrisch verzorgingstehuis (PVT)
- Woonzorgcentrum (WZC)

In eerste instantie werden de kadastrale percelen geselecteerd waarbinnen deze punten gelegen zijn. 180 van de 941 puntlocaties (19%) bleken niet gelegen te zijn binnen een kadastraal perceel en werden daarom handmatig gecorrigeerd naar het meest nabijgelegen grote perceel aangezien terreinen met zorgcentra doorgaans substantieel groter zijn (gemiddelde oppervlakte: 3 hectare) dan residentiële percelen en daarom vrij gemakkelijk te herkennen zijn binnen een straat.

Vervolgens werd ook op zoek gegaan naar de gebouwen (uit het GRB) die zich op deze percelen bevonden om hier ook de informatie van de oorspronkelijke puntlocaties aan te koppelen. Hierbij werd voorkeur gegeven aan de hoofdgebouwen, maar wanneer deze niet aanwezig waren binnen het perceel, dan werden bijgebouwen geselecteerd en wanneer deze ook ontbraken, werd het gehele perceel gebruikt.

Tenslotte werden de patiënten of bewoners van de zorgcentra verspreid binnen het gebouw op dezelfde wijze als bij de inwonersdataset (zie “4.1 Inwoners”).

4.5. ONBEBOUWDE WOONPERCELEN

Voor de selectie van de onbebouwde woonpercelen werden een aantal stappen doorlopen. In een eerste stap werd zo nauwkeurig mogelijk alle bebouwde percelen bepaald. Deze werden geconfronteerd met het volledig areaal om te komen tot alle onbebouwde percelen. Tenslotte werd de Ruimteboekhouding ingezet om hier het woongebied te bepalen. Deze verschillende stappen worden hieronder met meer detail toegelicht:

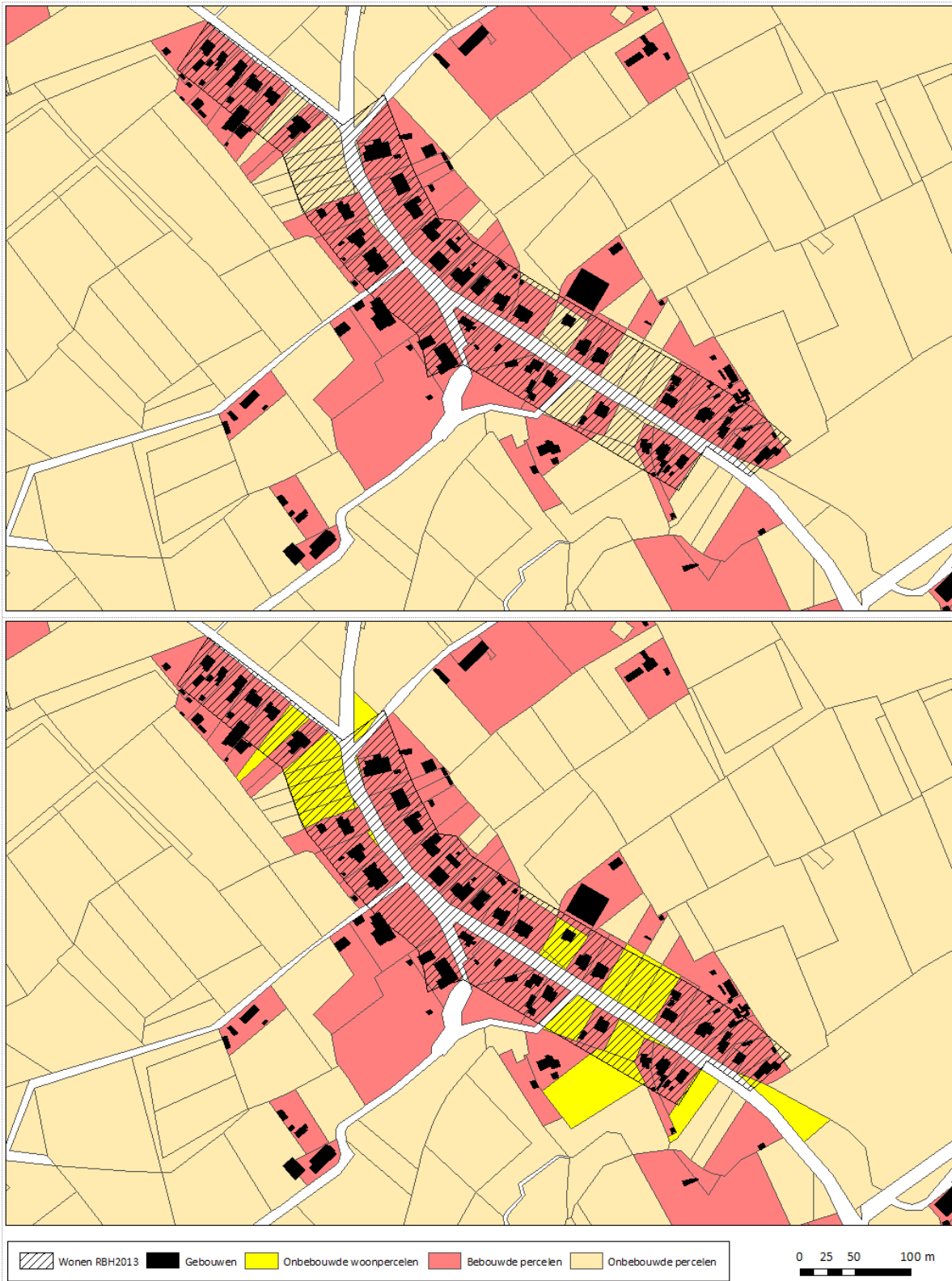
- Selectie van alle bebouwde percelen:
 - Er werd vertrokken van alle percelen, door de dataset van het GRB te combineren met CADMAP. GRB versie september 2013 is nog niet beschikbaar voor de gemeenten Houthalen-Helchteren, Meeuwen, Tongeren, Maarkedal, Putte, Wuustwezel, Ichtegem, Kortemark, Zwalm, Torhout, Wingene, Wortegem-Petegem, Ingelmunster, Oostrozebeke en Zulte. Voor deze gemeenten werd de percelenlaag uit CADMAP 2013 gekozen. Elk perceel wordt gedefinieerd met een unieke code, de zogenaamde CAPAKEY.
 - Deze percelenlaag werd geconfronteerd met de gebouwenlaag van het GRB (wel volledig), waarbij zowel hoofdgebouwen als bijgebouwen zijn meegenomen. Het blijkt immers dat ondermeer grote fabrieksgebouwen als bijgebouw staan gekarteerd.
 - Voor elk perceel worden een aantal aspecten berekend:
 - Oppervlakte van het perceel
 - Aantal gebouwen binnen perceel
 - Totale oppervlakte van gebouwen binnen perceel

- Oppervlakte van het grootste gebouw binnen perceel
 - Aandeel van het perceel dat is ingenomen door gebouwen
- Uit de percelenlaag worden vervolgens twee types van percelen geschrapt:
 - Percelen zonder gebouwen
 - Percelen waarbij aandeel bebouwd < 1% en oppervlakte van het grootste gebouw < 10 m². Het gaat hier om percelen die door GIS-analyse slivers van gebouwen bevatten en die eigenlijk als onbebouwd moeten beschouwd worden.
- De resterende percelen worden als bebouwd gedefinieerd. 61% van alle percelen krijgen het label 'bebouwd'. Het gaat hier om 29% van de totale oppervlakte van percelen.
- Selectie van alle onbebouwde percelen op basis van wat rest uit het bestand van alle percelen, na confrontatie met de bebouwde percelen. De koppeling vond plaats op basis van de CAPAKEY.
- Vervolgens werden de onbebouwde percelen geselecteerd die zich in woongebied bevinden. Hiervoor hebben we ons gebaseerd op de categorie 'Wonen' uit de Ruimteboekhouding, versie 2013. Percelen waarbij zich minder dan 5% van de oppervlakte in dit woongebied bevindt worden niet meegenomen als onbebouwde woonpercelen. Het aantal percelen die raken aan woongebied (Select by location / intersect) is 435.006 met een totale oppervlakte van 897 km². Wanneer rekening gehouden wordt met het aandeel van de oppervlakte dat zich minimaal in dit woongebied moet bevinden, wordt het totaal aantal onbebouwde woonpercelen **395.311** met een oppervlakte van **588 km²**. Onderstaande Figuur 4.9 illustreert dit selectieproces.
- In het rekenmodel zullen drie opties mogelijk zijn om na te gaan hoeveel onbebouwde woonpercelen blootgesteld zijn aan een welbepaald magnetisch veld:
 - Een maximumtelling: het perceel wordt volledig in rekening gebracht wanneer het raakt aan de blootstellingscontouren (*Selectiemethode in ArcGIS: Select by location – Intersect*)
 - Een minimumtelling: enkel de percelen worden in rekening gebracht die voor de volle 100% van hun oppervlakte in de blootstellingscontour gelegen zijn (*Selectiemethode in ArcGIS: Select by location – Within*)
 - Een tussenvorm: enkel de oppervlakte van het perceel dat effectief in de blootstellingscontour ligt wordt in rekening gebracht (*Selectiemethode in ArcGIS: Clip*)

Bij de afbakening van kadastrale percelen komt het soms voor dat de tuin rond een woning zich in een ander kadastraal perceel bevindt als de woning zelf. Volgens bovenstaande selectieprocedure zal dit tuinperceel dan ook als onbebouwd weerhouden worden, terwijl er in de praktijk reeds een woonfunctie op rust. Dit is eigen aan de kadastrale perceelsindeling en dergelijke percelen kunnen op basis van de beschikbare GIS-data niet onderscheiden worden.

Tabel 4.1: Het selectieproces van onbebouwde woonpercelen in cijfers.

	Aantal percelen	Oppervlakte
Totaal aantal percelen	4.698.773	12.577 km ²
Bebouwde percelen	2.862.879	3.629 km ²
Onbebouwde percelen	1.835.894	8.948 km ²
Onbebouwde percelen in woongebied	395.311	588 km ²



Figuur 4.9. Selectie van onbebouwde woonpercelen op basis van de datasets Kadastrale percelen (GRB+CADMAP), Kadastrale gebouwen (GRB) en de Ruimteboekhouding

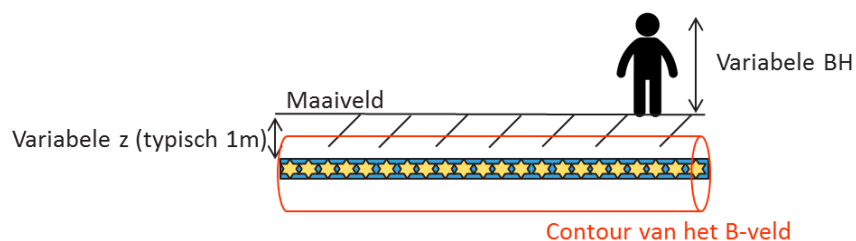
HOOFDSTUK 5. REKENMODULE OM DE BLOOTSTELLING AAN HET 50 HZ MAGNETISCH VELD VAN ELF BRONNEN TE BEREKENEN

Voor elk type bron van het magnetisch veld werd een vergelijking opgesteld op basis van variabelen die in de inventaris van de bronnen beschikbaar waren. Deze vergelijkingen drukken de afstand uit tussen de bron en een punt in de ruimte waarbij een bepaalde sterkte van het magnetisch inductieveld (B-veld)¹¹ bereikt wordt. Standaard parameters in deze vergelijkingen zijn de specifieke magnetische veldsterkte (B) en de blootstellingshoogte (BH) die toelaat om een 3D B-veld te berekenen.

De vergelijkingen zijn gebaseerd op metingen uitgevoerd in de omgeving van de verschillende bronnen. Specifiek voor hoogspanningscabines en hoogspanningsstations werd in het kader van deze studie een meetcampagne opgezet door GD-EMF-Consulting. Technische rapporten over deze metingen en de afleiding van de vergelijkingen kunnen gevonden worden in bijlages C (*Aangepaste modellen voor boven en ondergrondse hoogspanningslijnen*, Decat G., 2014), D (*Metten en modelleren van het 50 Hz magnetisch inductieveld van hoogspanningscabines*, Decat G., 2014), E1 en E2 (*Metten en modelleren van het 50 Hz magnetisch inductieveld van hoogspanningsstations*, Decat G., 2013).

5.1. GEBRUIKTE FORMULES EN PARAMETERS PER ELF-BRONTYPE

5.1.1. ONDERGRONDSE KABELS



Figuur 5.1: Schematische voorstelling van het B-veld rond een ondergrondse kabel en de parameters die in rekening worden gebracht bij de berekening ervan.

¹¹ Het 'International System of Units (SI)', beveelt de volgende meeteenheden aan:

- de sterkte van het magnetisch veld (H) dat door de bron geproduceerd wordt en waarbij geen rekening gehouden wordt met de magnetische eigenschappen van de middenstof waardoor de golf propageert wordt uitgedrukt in Ampère per meter (A/m)
- de Tesla (T; $1\text{ T} = 1000\text{ mT} = 10^6\text{ }\mu\text{T}$) is de eenheid van de magnetische fluxdichtheid (magnetische flux per oppervlakte-eenheid) of het magnetisch inductieveld of B-veld ($B=H\cdot\mu$) waarbij wel rekening gehouden wordt met de magnetische eigenschappen van de middenstof (lucht) waardoor de golf propageert. Het is het B-veld dat gemeten en geëvalueerd wordt t.o.v. limietwaarden.
- $1\text{ }\mu\text{T} = 0,80\text{ A/m}$

Het B-veld rond een ondergrondse kabel heeft de vorm van een cilinder. De diepte van de kabel is constant over een bepaald segment. De afstand A(m) waarbij een bepaalde sterkte van het B-veld bereikt wordt, wordt berekend met verschillende formules, naargelang de spanning van de ondergrondse kabel.

$$36 \text{ kV} \quad A(m) = \frac{\text{nominale stroom}}{936} (2,75 - 0,5|z + BH|) \left(\frac{SB}{100}\right) B^{-0,626} \quad (\text{Vergelijking 5.1})$$

$$70 \text{ kV} \quad A(m) = \frac{\text{nominale stroom}}{895} (3,27 - 0,5|z + BH|) \left(\frac{SB}{100}\right) B^{-0,68} \quad (\text{Vergelijking 5.2})$$

$$150 \text{ kV} \quad A(m) = \frac{\text{nominale stroom}}{1540} (5,64 - 0,5|z + BH|) \left(\frac{SB}{100}\right) B^{-0,64} \quad (\text{Vergelijking 5.3})$$

$$380 \text{ kV} \quad A(m) = \frac{\text{nominale stroom}}{1790} (6,97 - 0,5|z + BH|) \left(\frac{SB}{100}\right) B^{-0,64} \quad (\text{Vergelijking 5.4})$$

met

$A(m)$ = horizontale afstand uitgedrukt in meter t.o.v. de bron waarop een bepaalde blootstelling van het B-veld bereikt wordt

Nominale stroom : indien onbekend (doordat het kabeltype ongekend is), wordt deze gelijkgesteld aan de noemer van deze breuk

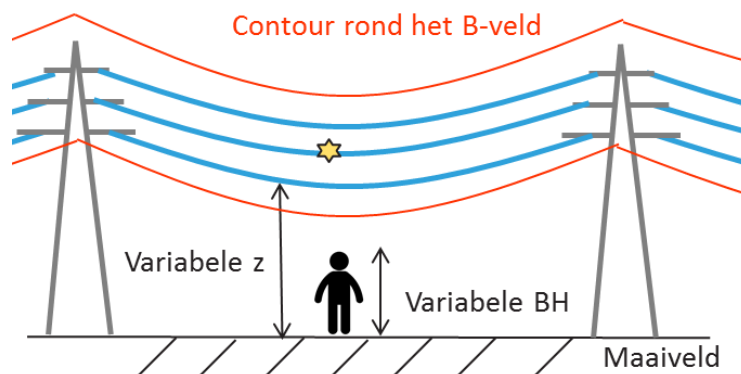
Z = diepte van de kabel t.o.v. het maaiveld (in m)

BH = blootstellingshoogte t.o.v. het maaiveld (in m)

SB = stroombelasting (%)

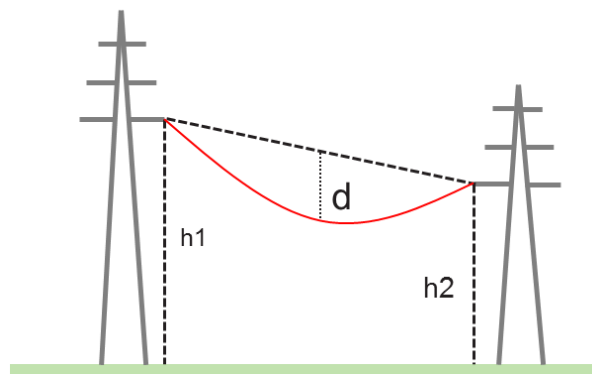
B = magnetische veldsterkte (in μT)

5.1.2. LUCHTLIJNEN



Figuur 5.2 Schematische voorstelling van de opstelling en het B-veld rond luchtlijnen en de parameters die in rekening worden gebracht bij de berekening ervan.

Bij de luchtlijnen wordt een parabolische doorhang van de geleiders verondersteld tussen twee mastposten. De variabele hoogte van de luchtlijn voor elk onderdeel werd niet toegekend aan de shapefile zelf, hierin staat enkel de hoogte van de lijnen voor locatie h1 en h2 (zie Figuur 5.3) samen met de diepste doorhang ($h1-h2$) als attribuut. De doorhang wordt gedefinieerd als het verschil in hoogte tussen het laagste punt van de kabel en een denkbeeldige rechten tussen de lijnhoogte aan de twee masten, in het middelpunt tussen de twee masten, zie Figuur 5.3. Indien de kabel onder het maaiveld zou komen door zijn doorhang, wordt dit gecorrigeerd naar 0m.



Figuur 5.3: Schematische voorstelling van de doorhang bij twee verschillende masthoogten.

Het lijnsegment tussen twee masten wordt bij de berekening van het veld verdeeld in deelsegmenten van elk 25m (waarbij telkens een unieke hoogte wordt verondersteld), waarrond een cilindervormig B-veld wordt berekend. De combinatie van deze velden vormt een benadering van een gebogen cilinder.

Volgende formules worden toegepast om de horizontale afstand A(m) te bepalen voor een bepaalde blootstellingshoogte waarbij een bepaalde sterkte van het B-veld bereikt wordt:

36 kV

$$A(m) = \frac{\text{nominale stroom}}{450} (24 - 0,6|DV - BH|) \left(\frac{SB}{100}\right) B^{-0,54} \quad (\text{Vergelijking 5.5})$$

70 kV

$$A(m) = \frac{\text{nominale stroom}}{750} (33,57 - 0,6|DV - BH|) \left(\frac{SB}{100}\right) B^{-0,56} \quad (\text{Vergelijking 5.6})$$

150 kV

$$A(m) = \frac{\text{nominale stroom}}{1383} (55,70 - 0,6|DV - BH|) \left(\frac{SB}{100}\right) B^{-0,51} \quad (\text{Vergelijking 5.7})$$

380 kV

$$A(m) = \frac{\text{nominale stroom}}{2766} (142,3 - 0,6|DV - BH|) \left(\frac{SB}{100}\right) B^{-0,56} \quad (\text{Vergelijking 5.8})$$

met

$A(m)$ = horizontale afstand uitgedrukt in meter t.o.v. de bron waarop een bepaalde magnetische blootstelling B bereikt wordt

Nominale stroom : indien onbekend is doordat het kabeltype ongekend is, wordt deze gelijkstellen aan de noemer van deze breuk

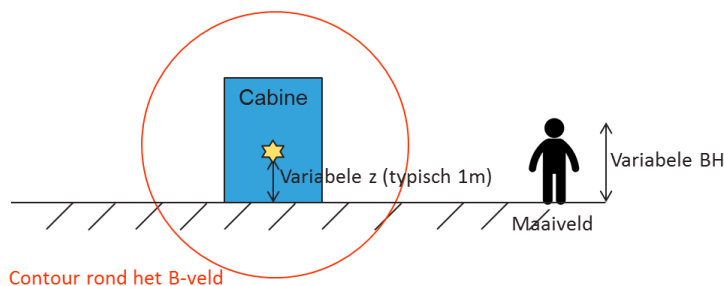
B = magnetische veldsterkte (in μT)

DV = afstand onderste kabel – maaiveld

BH = blootstellingshoogte t.o.v. het maaiveld (in m)

SB = stroombelasting (%)

5.1.3. CABINES



Figuur 5.4 Schematische voorstelling van het B-veld rond een cabine en de parameters die in rekening worden gebracht bij de berekening ervan.

De vorm van het B-veld rond een cabine is afhankelijk van de configuratie van de belangrijkste stroombronnen (laagspanningsborden, primaire en secundaire kabels) binnen een cabine. Toch kan het benaderd worden door een bolvorm, met het middelpunt gelokaliseerd ter hoogte van het laagspanningsbord. Indien er geen info is over de positie van het verdeelbord, dan mag verondersteld worden dat het middelpunt van de bol zich in het midden van de cabine bevindt.

De horizontale afstand tussen het middelpunt van de cabine en een punt in de omgeving waar een bepaalde magnetische veldsterkte B wordt waargenomen op blootstellingshoogte BH , kan benaderd worden met volgende formule:

$$A(m) = \sqrt{\left(\frac{1,08}{B^{0,71}}\right)^2 - (z - BH)^2} \quad (\text{Vergelijking 5.8})$$

Met

$A(m)$ = horizontale afstand uitgedrukt in meter t.o.v. de bron waarop een bepaalde magnetische blootstelling B bereikt wordt voor een bepaalde BH

B = magnetische veldsterkte (in μT)

BH = willekeurig in te stellen blootstellingshoogte t.o.v. het maaiveld

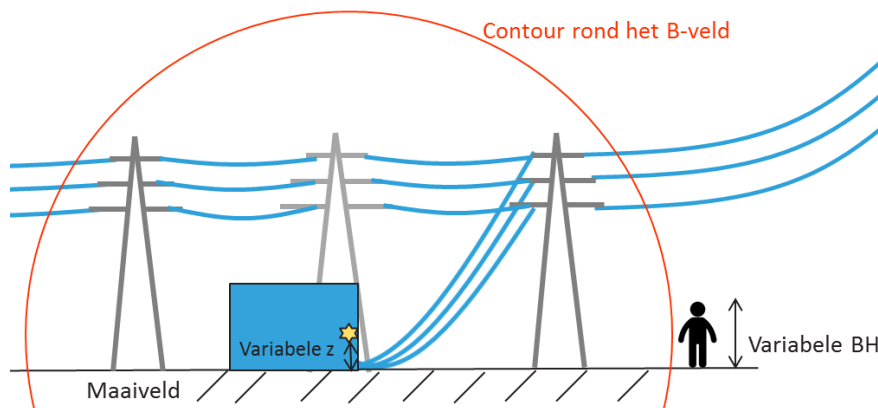
z = hoogte van de bron t.o.v. het maaiveld (default = 1m)

Deze formule impliceert dat het B-veld rond elke cabine dezelfde kenmerken heeft. Ter indicatie worden in tabel 5.1 de horizontale afstanden voor een blootstellingshoogte van 1m (hoogte van de bron) weergegeven waarbij een B-veldsterkte wordt waargenomen die een richtwaarde of een epidemiologisch afkappunt beschrijft.

Tabel 5.1: Afstanden waarbij enkele norm- of afkapwaarden van magnetische veldsterkte worden waargenomen

Norm/afkappunt	Afstand(m) tot het nulpunt
0,2 μT : richtwaarde Vlaamse norm	3,38 m
0,3 μT : epidemiologisch afkappunt	2,54 m
0,4 μT : epidemiologisch afkappunt	2,07 m
10 μT : interventiewaarde Vlaamse norm	0,23 m

5.1.4. TRANSFORMATIESITES



Figuur 5.5: Schematische voorstelling van het B-veld rond een transformatiesite en de parameters die in rekening worden gebracht bij de berekening ervan.

Aangezien transformatiesites uit zeer diverse elementen kunnen bestaan, met verschillende configuraties en waarbij de magnetische velden van de verschillende elementen met elkaar kunnen interfereren, is het zeer moeilijk om het magnetisch veld van de individuele structuren te meten en vervolgens in één vergelijking voor alle transformatiesites uit te drukken. Daarom moet abstractie gemaakt worden en een transformatiesite als één (punt)bron beschouwd worden waarbij het centrum van de site op 1m hoogte als puntlocatie wordt genomen. Dit geldt ook wanneer meerdere transformatiepunten aanwezig zijn op één site. Rond dit punt wordt een bolvormig veld verondersteld waarvan de straal berekend kan worden met volgende vergelijking:

$$A(m) = \sqrt{(11,5 - 7,10 \ln_{(e)}(B))^2 - (z - BH)^2} \quad (\text{Vergelijking 5.8})$$

Met

$A(m)$ = horizontale afstand uitgedrukt in meter t.o.v. de bron waarop een bepaalde magnetische blootstelling B bereikt wordt

B = magnetische veldsterkte (in μT)

BH = willekeurig in te stellen blootstellingshoogte t.o.v. het maaiveld

z = hoogte van de bron t.o.v. het maaiveld (default = 1m)

5.2. REKENMODULE

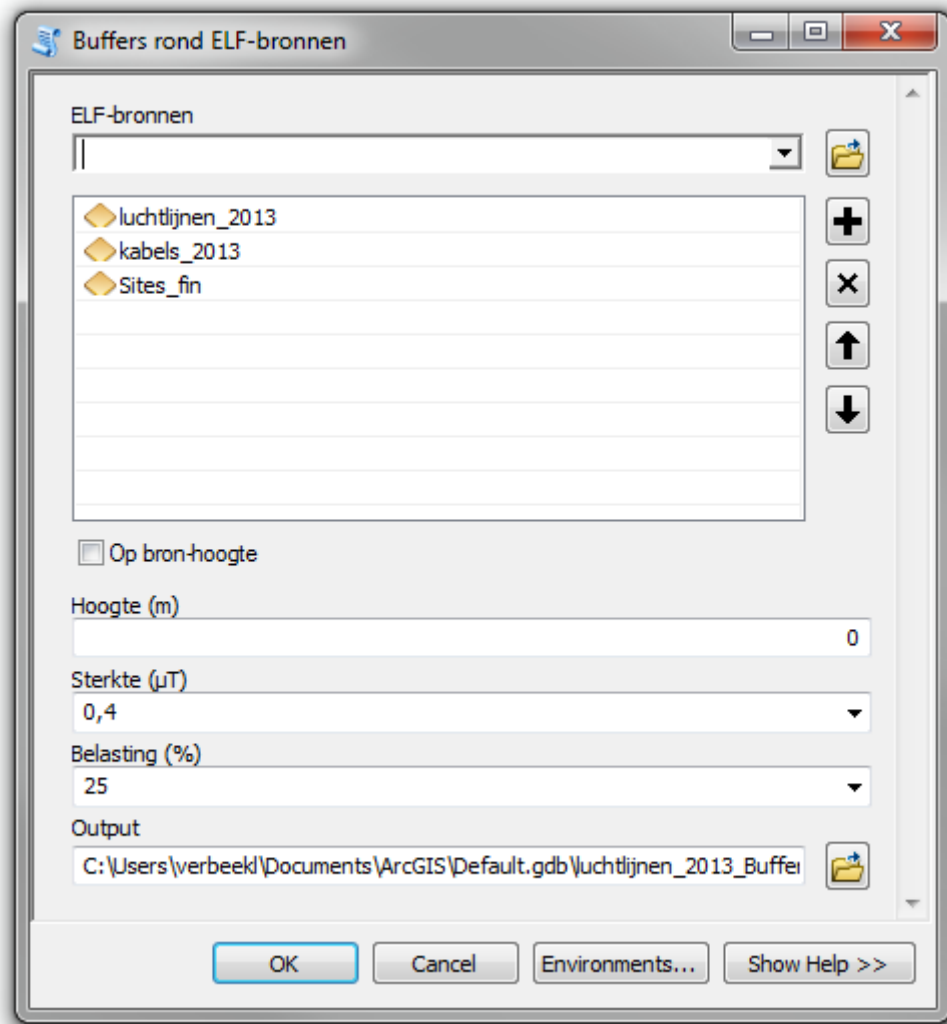
5.2.1. BEREKENING VAN HET MAGNETISCH INDUCTIEVELD

Binnen een ArcGIS omgeving (versie 10.0 SP5) werd een rekenmodule ontwikkeld die met bovenstaande formules het B-veld berekend.

Als input heeft deze module nood aan:

- De shapefiles van de bronnen waarrond het 50 Hz B-veld berekend moet worden. Er kan geopteerd worden de velden voor maar één type bron (bijv. luchtlijnen) te berekenen, of de berekening te combineren voor alle verschillende types. Binnen één type kan men ook alle elementen voor Vlaanderen berekenen, maar men kan zich evengoed concentreren op één enkel element (bv. één cabine).

- De hoogte waarop de 2-dimensionale doorsnede van het 3-dimensionale B-veld moet genomen worden.
- De B-veldsterkte tot waar het magnetisch veld van belang is en dus weergegeven zal worden.
- De stroombelasting (SB) die verondersteld wordt voor de luchtlijnen en ondergrondse kabels.
- De outputlocatie waar de resulterende shapefile bewaard zal worden.



Figuur 5.6: Weergave van de rekenmodule voor het berekenen van het B-veld rondom bepaalde bronnen.

Als resultaat van deze rekenmodule wordt een shapefile gecreëerd die de buffers van de verschillende geselecteerde bronnen bevat. Als attribuutwaarden worden het brontype, de straal van de buffer, de opgegeven blootstellingshoogte, veldsterkte en stroombelasting opgenomen, evenals de spanning van de bron en het bron-identificatiecijfer. Met dit laatste kunnen verbanden gelegd worden met de originele shapefiles met de B-veldbronnen om eventuele extra kenmerken te consulteren.

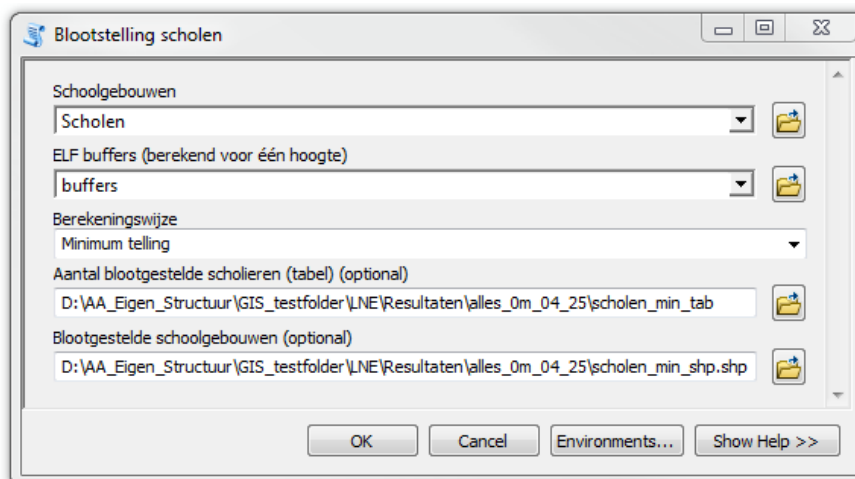
De buffers worden gecreëerd rondom de afzonderlijke bronsegmenten, waarbij overlappen tussen de magnetische velden bij nabijgelegen kabels, luchtlijnen en sites mogelijk zijn. Deze overlap werd niet weggewerkt bij de creatie van de resultatenshapefile. Het is van belang dit wél te doen

wanneer blootstellingsoppervlaktes worden berekend, aangezien deze overlap een substantieel verschil kan betekenen.

5.2.2. BEREKENING VAN HET AANTAL BLOOTGESTELDE INWONERS/KINDEREN/...

Met behulp van de buffershapefile (resultatenshapefile) kan verder het specifieke aantal blootgestelde inwoners/kinderen/bedden/... berekend worden. Er werden verschillende modules voorzien voor de verschillende blootstellingsgroepen, aangezien de rekenmethode kan verschillen en om de invoerventers zo duidelijk mogelijk weer te geven, maar de opbouw van de invoer is hetzelfde. Als invoer wordt verwacht:

- De shapefile met de spreiding van de blootstellingsgroep
- De buffershapefile die voordien gecreëerd werd met de module “Buffers rond bronnen van B-veld”. Hier kunnen enkel buffers gebruikt worden die de magnetische velden op één specifieke vastgestelde hoogte doorsnijden, het is niet mogelijk om de blootstelling te berekenen voor bufferresultaten “op de hoogte van de bron”, waarbij dus verschillende hoogtes boven het maaiveld van toepassing zijn.
- De berekeningswijze, waarbij een onderscheid gemaakt wordt tussen “maximum telling”, “minimumtelling” en “tussenvorm”. Deze methodes staan beschreven in Hoofdstuk 4.
- De locatie waar de resultaten opgeslagen kunnen worden.



Figuur 5.7: Invoerscherm voor het berekenen van de blootstelling van schoolgaande kinderen aan de opgegeven B-velden (ELF-buffers). De invoerschermen voor woningen, kinderdagopvang en zorgcentra hebben dezelfde opbouw.

Als resultaat van de blootstellingsmodule kan zowel voor een tabel als voor een shapefile geopteerd worden. In de tabel wordt per gemeente en voor heel Vlaanderen de som gemaakt van het aantal blootgestelde kinderen/inwoners/bedden/.. in de verschillende categorieën die gecreëerd zijn binnen de blootstellingsshapefiles. Zo zijn de categorieën van scholen – KL, LAG, SEC, VW, INT – ook in deze tabel terug te vinden en kunnen de relevante categorieën voor bepaalde interpretaties - bijvoorbeeld enkel de kinderen jonger dan 12 jaar (KL + LAG) – geselecteerd worden. *Frequency* geeft het aantal gebouwen/percelen mee die geselecteerd werden bij de blootstellingsberekeningen. Deze info is enkel betekenisvol bij de optie “maximumtelling” en “tussenvorm”.

HOOFDSTUK 5 Rekenmodule om de blootstelling aan het 50 Hz magnetisch veld van ELF bronnen te berekenen

Rowid	FID	GEMEENTE	FREQUENCY	SUM KL B	SUM LAG B	SUM SEC B	SUM VW B	SUM INT B	SUM SOM B
1	0	Aarschot	1	28,95	62,4	71,1	143,85	0	306,3
2	0	Antwerpen	3	97,1	157,55	13,65	332,25	0	600,55
3	0	Asse	1	0	0	0	17	0	17
4	0	Beringen	2	47,4	76,05	1,95	0	0	125,4
5	0	Berlare	1	0	0	3,9	0	0	3,9
6	0	Brugge	5	0	0	56,85	93,75	0	150,6
7	0	De Haan	1	0	0	37,65	0	0	37,65
8	0	Diepenbeek	2	81	29	25	0	0	135
9	0	Diest	1	3,9	11,25	11,25	0	0	26,4
10	0	Eeklo	1	0	28,65	0	0	0	28,65
11	0	Evergem	2	33	29	0	0	0	62
12	0	Geel	1	24,75	40,65	0	0	0	65,4
13	0	Genk	1	0	0	24,9	0	0	24,9
14	0	Gent	11	165,9	250,8	1098,4	42,9	55,85	1558
15	0	Hamme	1	4,2	0	0	0	0	4,2
16	0	Heusden-Zolder	2	52	0	0	0	0	52
17	0	Houthalen-Heilichteren	2	0	0	260	0	0	260
18	0	Lanaken	1	0	0	153,6	0	0	153,6
19	0	Leuven	1	0	0	113,1	0	0	113,1
20	0	Lokeren	1	35,85	34,95	0	0	0	70,8
21	0	Machelen	2	99	150	0	0	0	249
22	0	Mechelen	1	28,65	23,55	0	0	0	52,2
23	0	Melle	2	0	0	356	0	0	356
24	0	Merelbeke	1	3,75	5,85	0	0	0	9,6
25	0	Mortsel	1	0	0	109,95	0	0	109,95
26	0	Oostende	3	0	0	0	77,6	0	77,6
27	0	Oostkamp	1	10,95	10,65	0	0	0	21,6
28	0	Overpelt	1	2,55	3	0	0	0	5,55
29	0	Roeselare	1	0	0	26,55	0	0	26,55
30	0	Schoten	2	0	0	0	36	0	36
31	0	Sint-Truiden	1	0	0	0	953	0	953
32	0	Temse	3	0	0	0	10,6	0	10,6
33	0	Tienen	1	0	14,1	0	0	0	14,1
34	0	Torhout	3	0	52,8	326,4	0	26,85	379,2
35	0	Turnhout	2	0	0	0	9	0	9
36	0	Vilvoorde	2	0	0	716	0	140	716
37	0	Vosselaar	2	197	308	0	0	0	505
38	0	Zaventem	1	0	0	70,95	0	0	70,95
39	0	Zele	1	0	0	0	1,05	0	1,05
40	0	Zulte	2	138	95	98	0	0	331
41	0	Totaal	74	1053,95	1383,25	3575,2	1717	222,7	7729,4

Figuur 5.8: Resultatentabel voor de blootstelling van scholen aan een B-veld met een maximale sterkte van 0,4 μ T op maaiveldhoogte voor de bronnen luchtlijnen, ondergrondse kabels en transformatiesites gecombineerd en met een veronderstelling van een stroombelasting van 50% voor de luchtlijnen en ondergrondse kabels.

In de gecreëerde shapefile wordt aanvullend hieraan die instellingen (gebouwen en eventuele buitenterreinen) weergegeven die blootgesteld worden aan de specifieke ELF straling. In de attribuentabel kunnen alle gegevens van de instellingen geconsulteerd worden die ook beschikbaar zijn in de originele dataset over de blootstellingsgroepen. Dit laat toe om de blootgestelde instellingen eenvoudig te herkennen en hun blootstelling snel te interpreteren.

HOOFDSTUK 5 Rekenmodule om de blootstelling aan het 50 Hz magnetisch veld van ELF bronnen te berekenen

Table																
scholen_max_shp																
FID	Shape *	CAPAKEY	straat	huisn	bus	gemeente	X	Y	locatie	perc d	postc	MAX a	verd	KL T	LAG T	SEC T
0	Polygon	44808H0435/00M000	Moutstraat	50		Gent	3,735213	51,029121	buiten	0,15	9000	0	1	36	0	0
1	Polygon	42028A1246/00B000	Lindestraat	6		Zele	4,047141	51,079975	buiten	0,15	9240	0	1	0	0	0
2	Polygon	44019C1058/00V000	Burggravenlaan	5		Evergem	3,738554	51,116773	buiten	0,15	9940	0	1	33	29	0
3	Polygon	71065A0770/00N000	De Winning	12		Heusden-Zol	5,343344	51,024199	buiten	0,15	3550	0	1	52	0	0
4	Polygon	12403E0278/00N002	Colomalaan	3		Mechelen	4,480344	51,013868	buiten	0,15	2800	0	1	191	157	0
5	Polygon	44082B0126/00M000	Tramstraat	69		Gent	3,703794	51,009073	buiten	0,15	9052	0	1	0	0	0
6	Polygon	23015C0079/00P000	Oude Haachtsesteenweg	125		Machelen	4,433571	50,896152	buiten	0,15	1831	0	1	99	150	0
7	Polygon	11443C0521/00W002	Metropoolstraat	11	C	Schoten	4,481028	51,241793	buiten	0,15	2900	0	1	0	0	0
8	Polygon	46025B0660/00A000	Schoenstraat	26		Temse	4,203268	51,140448	buiten	0,15	9140	0	1	0	0	0
9	Polygon	46025B0235/00E000	Kapellanielaan	20		Temse	4,183335	51,139429	buiten	0,15	9140	0	1	0	0	0
10	Polygon	43005D1120/00C005	Gentsesteenweg	82		Eeklo	3,583152	51,170082	buiten	0,15	9900	0	1	0	191	0
11	Polygon	35007A0004/00A010	Koninklijke Baan	5		De Haan	3,02058	51,272581	buiten	0,15	8420	0	1	0	0	251
12	Polygon	35020B0103/00R000	Archimedesstraat	4	6	Oostende	2,938707	51,212716	buiten	0,15	8400	0	1	0	0	0
13	Polygon	35382D0489/00V000	Dokter Eduard Moreauxla	1		Oostende	2,942607	51,226273	buiten	0,15	8400	0	1	0	0	0
14	Polygon	23643G0199/00L000	de Bavaylei	116		Vilvoorde	4,440389	50,934973	buiten	0,15	1800	0	1	0	0	716
15	Polygon	11029A0072/00P004	Lieven Gevaertstraat	52		Mortsel	4,442587	51,175698	buiten	0,15	2640	0	1	0	0	733
16	Polygon	44074C0092/00W003	Vinkeslagstraat	2		Gent	3,708601	51,09094	buiten	0,15	9032	0	1	230	354	0
17	Polygon	44051B1096/00G000	Ekstaardserijweg	24		Gent	3,769407	51,085261	buiten	0,15	9041	0	1	0	0	576
18	Polygon	44813A0081/00E000	Sprendonkstraat	5		Gent	3,791498	51,133074	buiten	0,15	9042	0	1	0	0	0
19	Polygon	44802B1153/00H000	Zilverenberg	1		Gent	3,732575	51,055206	buiten	0,15	9000	0	1	0	0	954
20	Polygon	44804D0090/00D000	Dendermondsesteenweg	53		Gent	3,743691	51,05554	buiten	0,15	9000	0	1	126	165	58
21	Polygon	44806F0344/00S000	Nieuwe Wandeling, 86 Ge	89		Gent	3,704822	51,05363	buiten	0,15	9000	0	1	0	0	0
22	Polygon	13453D1013/00K000	Steenweg op Tielen	70		Turnhout	4,9327	51,301691	buiten	0,15	2300	0	1	0	0	0
23	Polygon	42017C0697/00P000	Burg. de Lausnaystraat	79		Berlare	3,951545	51,046438	buiten	0,15	9290	0	1	0	0	26
24	Polygon	24001B0230/00Y000	Bekafaan	65		Aarschot	4,84638	50,985355	buiten	0,15	3200	0	1	193	416	474
25	Polygon	13374F0550/00T000	Kapelstraat	24		Geel	4,98475	51,175124	buiten	0,15	2440	0	1	165	271	0
26	Polygon	71522C0003/00D049	Hospitaalstraat	91		Beringen	5,213019	51,068772	buiten	0,15	3582	0	1	64	110	13
27	Polygon	71029B2046/00P002	Pieter Vanhoudtstraat	44		Beringen	5,271949	51,056412	buiten	0,15	3582	0	1	252	397	0
28	Polygon	71303B0828/00E000	Richter	27		Genk	5,524198	50,970473	buiten	0,15	3600	0	1	0	0	166
29	Polygon	44413A0434/00L000	Burg. Maenhoutstraat	1		Merelbeke	3,722095	50,977598	buiten	0,15	9820	0	1	25	39	0
30	Polygon	24594B0263/00C000	Veldbornstraat	89		Tienen	4,954261	50,815302	buiten	0,15	3300	0	1	0	94	0
31	Polygon	73014B0209/00B002	Biesweg	20		Lanaken	5,607036	50,885814	buiten	0,15	3620	0	1	0	0	1024
32	Polygon	36302B0261/00A002	Blinde-Rodenbachstraat	23		Roeselare	3,145253	50,932916	buiten	0,15	8800	0	1	0	0	177
33	Polygon	42452B0978/00N000	Toekomststraat	32		Hamme	4,125174	51,096806	buiten	0,15	9220	0	1	28	0	0
34	Polygon	71011A0040/00N050	Rooierheidestraat	103		Diepenbeek	5,419535	50,937575	buiten	0,15	3590	0	1	81	29	25
35	Polygon	24073G0209/00F000	Groenstraat	16		Diest	5,043444	50,995466	buiten	0,15	3294	0	1	26	75	75
36	Polygon	13046C0044/00R000	Bergakker	4		Vosselaar	4,885685	51,311349	buiten	0,15	2350	0	1	197	308	0
37	Polygon	24514C0001/00D002	Geldenaaksebaan	277		Leuven	4,713807	50,86082	buiten	0,15	3001	0	1	0	0	754
38	Polygon	44051B0534/00L000	Meerhoutstraat	55		Gent	3,768705	51,093327	buiten	0,15	9041	0	1	0	218	0
39	Polygon	31424B0654/00C000	Legeweg	200		Brugge	3,188357	51,208062	buiten	0,15	8200	0	1	0	0	0

Figuur 5.9: (Deel van een) Attributentabel van de geproduceerde blootstellingsshapefile voor de blootstelling van scholen aan een magnetisch veld met kenmerken 0,4 μ T; 0m; kabels/luchtlijnen/sites).

HOOFDSTUK 6. RESULTATEN

6.1. GROOTTE VAN HET MAGNETISCH VELD

Het rekenmodel laat toe om het B-veld te berekenen voor verschillende minimale veldsterkten, op verschillende blootstellingshoogten en met – relevant voor luchtlijnen en ondergrondse kabels – verschillende mogelijke stroombelastingen. De resultaten bespreken van alle mogelijke combinaties van deze parameterwaarden zou ons echter te ver leiden. In dit hoofdstuk worden het B-veld besproken voor één specifieke configuratie en vervolgens het belang van de parameters op de resultaten besproken. Deze analyse geeft een inzicht in het belang van de individuele en gecombineerde bronnen en de sterkte van het B-veld dat zij creëren.

6.1.1. ALGEMEEN

Uit de oppervlaktecijfers van de doorsneden van het B-veld veroorzaakt door de individuele bronnen – luchtlijnen, kabels en sites – en de combinatie, blijkt dat luchtlijnen het grootste magnetisch veld genereren in Vlaanderen. Zij zijn verantwoordelijk voor maar liefst 96% van de totale oppervlakte van het magnetisch veld met minimale veldsterkte $0,4\mu\text{T}$, een stroombelasting van 50% en een blootstellingshoogte van 1,5m (zie Tabel 6.1). Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat cabines niet meegenomen konden worden in deze analyse omdat de locaties van alle cabines in Vlaanderen niet gekend is (zie HOOFDSTUK 2 en HOOFDSTUK 3). Verder dient opgemerkt te worden dat de oppervlakte van het B-veld voor alle bronnen gecombineerd niet altijd de mathematische som is van de oppervlakte van de velden veroorzaakt door de ELF-bronnen afzonderlijk. Dit is het gevolg van overlappen tussen magnetische velden van verschillende bronnen, die maar éénmalig gerekend worden in de berekening van de oppervlakte van alle bronnen tezamen.

Tabel 6.1: Oppervlakte van de doorsneden van het B-veld met een minimale veldsterkte van $0,4\mu\text{T}$ en een stroombelasting van 50%, op een blootstellingshoogte van 1,5m.

	Oppervlakte (km ²)			
	Totaal	Luchtlijnen	Kabels	Sites
Oppervlakte (km ²)	103,22	99,10	3,90	0,41
Aandeel (%)	100	96,0	3,8	0,01

De corridorbreedte voor een bepaalde blootstellingshoogte is de horizontale afstand tussen de bron en het uiterste punt waar de bevroagde veldsterkte wordt waargenomen. Deze corridorbreedte is een vaste waarde voor de bronnen “transformatiesites” en “cabines” aangezien bij gebrek aan specifieke info dezelfde bronhoogte werd toegekend (met name 1m, zie ook Tabel 6.2).

Tabel 6.2: Gemiddelde hoogte van de bronnen

Spanning	Gemiddelde bronhoogte (m)		
	Luchtlijnen	Ondergrondse kabels	Sites
380kV	47,60	n.v.t.	1
150kV	35,50	-1,5	
70kV	24,59	-1,45	
36kV	25,27	-0,9	

Bij luchtlijnen en ondergrondse kabels is deze afstand niet enkel afhankelijk van de specifieke hoogte van de bestudeerde kabelsegmenten, maar ook van de nominale stroomsterkte die het segment kenmerkt. Aangezien er een verband bestaat tussen de spanningswaarde en de hoogte en de doorhang van luchtlijnen, maar ook tussen de spanning en de nominale stroom, werden in Tabel 6.3 de gemiddelde corridorbreedtes weergegeven. Het gaat hier om afstandsgewogen gemiddelden, dit wil zeggen dat bij het meenemen van de corridorbreedte voor een specifieke lijn ook de lengte van de lijn in rekening wordt gebracht. Heel korte lijnen met een grote corridorbreedte zullen dus minder wegen op de bepaling van de gemiddelde corridorbreedte. De corridorbreedte van ondergrondse kabels met een spanning van 380kV werd bepaald op basis van kenmerken van geplande kabels. In 2013 komt dit kabeltype niet voor.

Op 1,5m blootstellingshoogte zijn de afstanden voor de transformatiesite (18m) en deze voor de luchtlijnen (tussen 10m en 37m) bijna 10x groter dan deze van cabines (2m) en ondergrondse kabels (tussen 0,7m en 4,8m). Deze grote afstand in combinatie met het veel voorkomen van deze elementen verklaart het grote aandeel van het magnetische veld veroorzaakt door luchtlijnen. Ondanks een vergelijkbare grootteorde van corridorbreedte bij de transformatiesites nemen sites echter een zeer klein aandeel in van het magnetische veld op 1,5m in Vlaanderen, wat te verklaren valt door het relatief beperkt voorkomen van deze elementen (409 in Vlaanderen). Het verschil in corridorbreedte tussen luchtlijnen en ondergrondse kabels is voornamelijk toe te schrijven aan de configuratie van ondergrondse kabels. De standaard configuratie van meerdere draadstellen ondergronds is namelijk het "gesloten kabelblad", waarbij de draadstellen tegen elkaar gelegen zijn in transpositie, met als resultaat een veel zwakker veld. Anderzijds worden luchtlijnen ook zwaarder belast dan ondergrondse kabels; de gemiddelde nominale stroom van luchtlijnen is 752A ten opzichte van 560A bij ondergrondse kabels.

In Tabel 6.3 kan ook vastgesteld worden dat de corridorbreedte van een 36kV luchtlijn groter is dan deze van een 70kV luchtlijn. Dit heeft te maken met de nominale stroom van bepaalde 36kV lijnen in de dataset van 2013 die hoger ligt dan wat door Elia wordt aangegeven als meest courante in België. Uit de rekenformules van deel 5.1.2 blijkt dat de corridorbreedte in deze situatie breder wordt dan wat verwacht kan worden voor een typische 36kV-kabel.

Tabel 6.3: Gemiddelde corridorbreedtes (afstandsgewogen) van het B-veld met een minimale veldsterkte van $0,4\mu T$ en een stroombelasting van 50%, op een hoogte van 1,5m.

Blootstellings- hoogte (m)	Spanning	Gemiddelde corridorbreedte ¹ (m)			
		Luchtlijnen	Ondergrondse kabels	Sites	Cabines
1,5	380kV	36,94	4,78 ²	18,00	2,01
	150kV	16,93	2,86		
	70kV	10,11	1,21		
	36kV	12,06	0,67		
Bronhoogte	380kV	46,20	5,46	18,01	2,07

	150kV	27,47	3,90		
	70kV	18,05	2,20		
	36kV	26,24	1,20		

¹ De corridorbreedte is de horizontale afstand tussen de bron en het uiterste punt waar de bevraagde veldsterkte wordt waargenomen.

² Deze cijfers zijn berekend op geplande kabelsegmenten, in de huidige situatie komen ondergrondse kabels met een spanning van 380 kV niet voor in Vlaanderen.

Naast de afstandsgewogen gemiddelde corridorbreedte kan ook de maximale corridorbreedte onderzocht worden. Deze wordt weergegeven in Tabel 6.4 en is dus de worst case die zich bij een bepaalde luchtlijn/kabel in Vlaanderen voordoet. Aangezien de ondergrondse kabel van 380kV gaat om één type geplande lijn, is deze maximale corridorbreedte gelijk aan de gemiddelde. Voor de andere situaties is de maximale corridorbreedte vaak dubbel zo groot als de gemiddelde afstandsgewogen corridorbreedte.

Tabel 6.4: Maximale corridorbreedte¹ van het B-veld met een minimale veldsterkte van 0,4μT en een stroombelasting van 50%, op een hoogte van 1,5m.

Blootstellings- hoogte (m)	Spanning	Luchtlijnen (m)	Ondergrondse kabels (m)
1,5	380kV	93,83	4,78 ²
	150kV	42,54	3,72
	70kV	34,61	2,37
	36kV	26,59	1,38
Bronhoogte	380kV	100,72	5,46 ²
	150kV	57,20	5,07
	70kV	52,41	4,33
	36kV	47,24	2,44

¹ De corridorbreedte is de horizontale afstand tussen de bron en het uiterste punt waar de bevraagde veldsterkte wordt waargenomen.

² Deze cijfers zijn berekend op geplande kabelsegmenten, in de huidige situatie komen ondergrondse kabels met een spanning van 380 kV niet voor in Vlaanderen.

De gemiddelde corridorbreedtes van luchtlijnen en ondergrondse kabels vastgesteld in dit onderzoek zijn gevoelig kleiner dan deze bepaald in de vorige studies betreffende bovengrondse luchtlijnen (Decat et al., 2003) en ondergrondse kabels (Decat et al., 2007). Dit is te wijten aan het feit dat in de studies van 2003 en 2007 voornamelijk gewerkt werd met gemiddelde, worst case aannames over kabelkenmerken aangezien specifieke gegevens toen niet beschikbaar waren. In voorliggende studie wordt in een GIS-omgeving voor elke individuele lijn het magnetisch veld berekend op basis van de specifieke parameters, eigen aan deze lijn. Zo wordt per segment de nominale stroom afgeleid uit het kabeltype in tegenstelling tot het gebruiken van jaargemiddelde stroomwaarden op basis van de spanning. Bij luchtlijnen wordt bovendien de variabele hoogte tussen twee masten omwille van de doorhang in rekening gebracht door voor elk segment van 25m de specifieke hoogte en het corresponderend magnetisch veld te berekenen. Daardoor kon het magnetisch veld veel nauwkeuriger ingeschat worden en geeft dit bijgevolg aanleiding tot een herziening van de corridorbreedtes.

6.1.2. GEVOELIGHEID AAN DE BLOOTSTELLINGSHOOGTE (BH)

Wanneer de blootstellingshoogte toeneemt, nemen ook de totaaloppervlaktes van de doorsneden van de B-velden steeds meer toe. Dit wordt veroorzaakt door de belangrijke bijdrage van de luchtlijnen, waarbij de doorsnedeoppervlakte het grootst is op een zeer hoge bronhoogte, nl. tussen 25 en 48m (zie Tabel 6.5). De bijdrage van ondergrondse kabels aan het B-veld stopt bij een hoogte van ongeveer 10m, terwijl deze van transformatiesites van belang blijft tot 18m. Toch is de relatieve bijdrage van ondergrondse kabels tot en met 4m hoogte sterker van belang dan deze van transformatiesites.

Tabel 6.5: Oppervlaktes van de doorsneden van de B-velden met een minimale veldsterkte van $0,4\mu T$ en een stroombelasting van 50%, bij een variabele blootstellingshoogte.

Blootstellingshoogte	Oppervlakte (km ²)			
	Totaal	Luchtlijnen	Ondergrondse kabels	Sites
0m	102,03	96,83	5,00	0,41
1,5m	103,22	99,10	3,90	0,41
4m : 2 ^e verdieping	104,77	102,85	1,65	0,40
7m: 3 ^e verdieping	108,11	107,29	0,55	0,37
10m: 4 ^e verdieping	111,85	111,60	0	0,31
13m: 5 ^e verdieping	115,84	115,66	0	0,23
50m: 17 ^e verdieping	124,88	124,88	0	0
Bronhoogte	157,48	151,65	5,82	0,41

Het overwegende aandeel van luchtlijnen in de grootte van het B-veld in Vlaanderen kan bovendien ook extra verklaard worden doordat de corridorbreedtes gecreëerd door luchtlijnen slechts 20% afnemen tussen hun maximale waarde (op bronhoogte) en de minimale waarde die van belang is voor blootstellingen (op 0m hoogte). Deze minimale waarde (9,85m op 0m hoogte) is groter dan de maximale waarde van ondergrondse kabels (3,51m) en cabines (2,07m) op hun bronhoogte (zie ook Tabel 6.6).

Tabel 6.6: Gemiddelde corridorbreedtes (afstandsgewogen) van de B-velden met een minimale veldsterkte van $0,4\mu T$ en een stroombelasting van 50%, bij een variabele blootstellingshoogte.

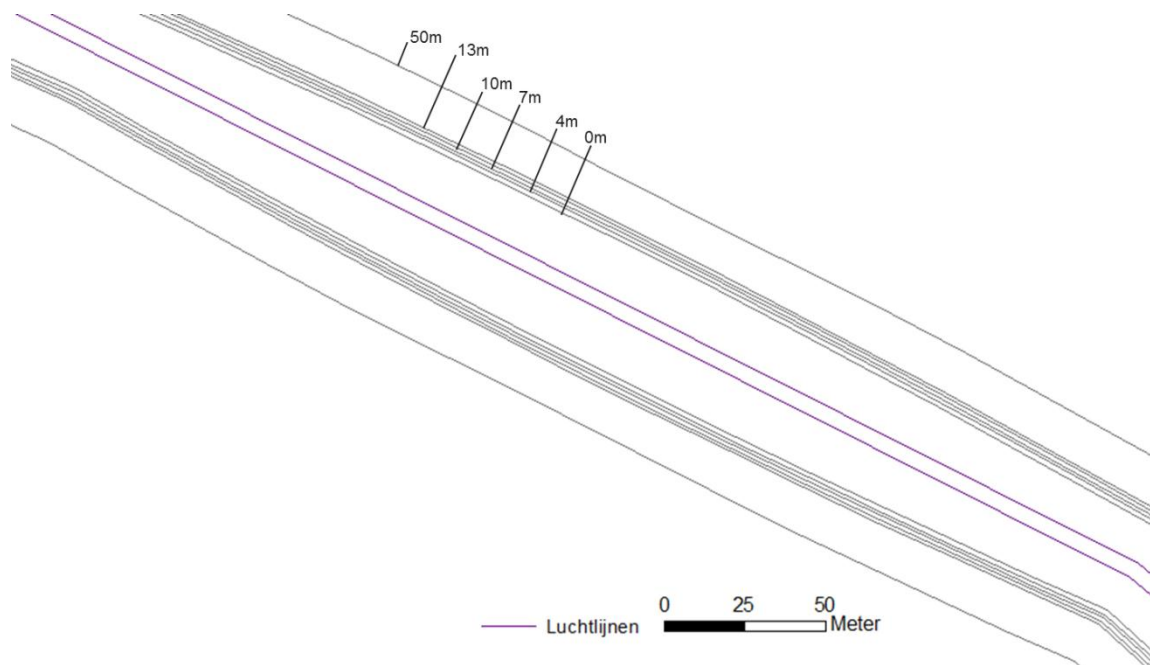
Blootstellings-hoogte	Spanning	Gemiddelde corridorbreedte ¹ (m)			
		Luchtlijnen	Ondergrondse kabels	Sites	Cabines
0m	380kV	36,65	5,46 ²	17,98	1,81
	150kV	16,49	3,38		
	70kV	9,71	1,71		
	36kV	11,14	1,00		
1,5m	380kV	36,94	4,78 ²	18,00	2,01
	150kV	16,93	2,86		
	70kV	10,11	1,21		
	36kV	12,06	0,67		
4m	380kV	37,43	3,66 ²	17,75	0
	150kV	17,67	2,00		
	70kV	10,82	0,37		
	36kV	13,63	0,13		
7m	380kV	38,01	2,31 ²	16,98	0
	150kV	18,54	0,96		

	70kV	11,67	0,00		
	36kV	15,51	0,00		
10m	380kV	38,60	0,96 ²	15,59	0
	150kV	19,41	0,00		
	70kV	12,55	0,00		
	36kV	17,39	0,00		
13m	380kV	39,18	0,00 ²	13,42	0
	150kV	20,28	0,00		
	70kV	13,42	0,00		
	36kV	19,02	0,00		
50m	380kV	45,29	0,00 ²	0	0
	150kV	25,84	0,00		
	70kV	13,39	0,00		
	36kV	14,69	0,00		
Bronhoogte	380kV	46,20	5,46 ²	18,01	2,07
	150kV	27,47	3,90		
	70kV	18,05	2,20		
	36kV	26,24	1,20		

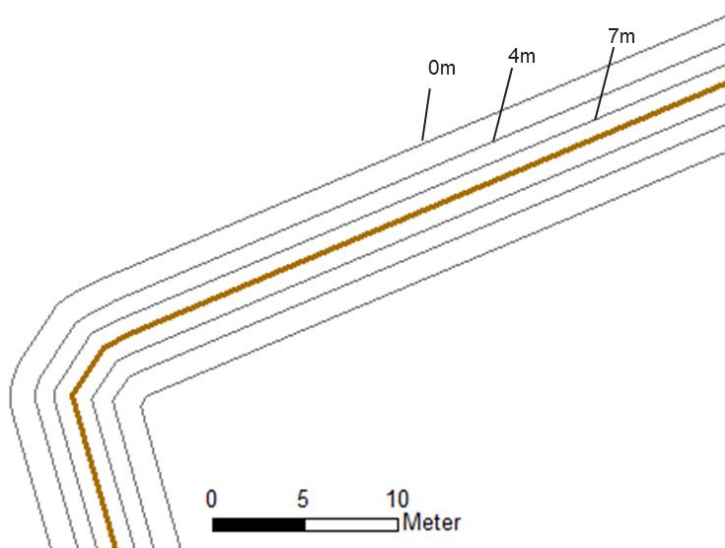
¹ De corridorbreedte is de horizontale afstand tussen de bron en het uiterste punt waar de bevroagde veldsterkte wordt waargenomen.

² Deze cijfers zijn berekend op geplande kabelsegmenten, in de huidige situatie komen ondergrondse kabels met een spanning van 380 kV niet voor in Vlaanderen.

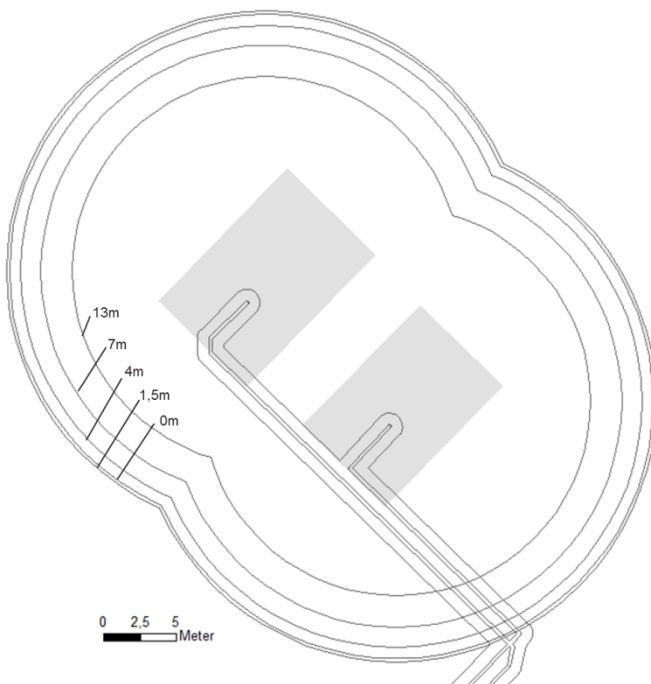
In Figuur 6.1 tot Figuur 6.4 wordt weergegeven hoe de corridorbreedtes van respectievelijk luchtlijnen, ondergrondse kabels, transformatiesites en cabines evolueren wanneer de blootstellingshoogte wijzigt. Hierbij zal de afstand van de corridors kleiner worden naarmate de blootstellingshoogte sterker afwijkt van de bronhoogte. Op de hoogte van de bron worden immers de grootste magnetische velden berekend.



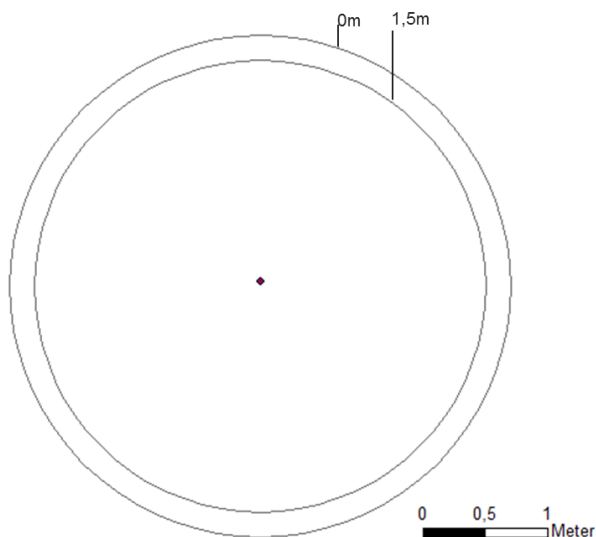
Figuur 6.1: Contouren van het B-veld rond twee parallelle luchtlijnen waarbij een stroombelasting van 50% wordt verondersteld en met een minimale veldsterkte van $0,4 \mu\text{T}$ op variabele blootstellingshoogten.



Figuur 6.2: Contouren van het B-veld rond een ondergrondse kabel waarbij een stroombelasting van 50% wordt verondersteld en met een minimale veldsterkte van $0,4 \mu\text{T}$ op variabele blootstellingshoogten.



Figuur 6.3: Contouren van het B-veld rond twee transformatiesites met een minimale veldsterkte van 0,4 μ T op variabele blootstellingshoogten.



Figuur 6.4: Contouren van het B-veld rond een distributiecabine met een minimale veldsterkte van 0,4 μ T op variabele blootstellingshoogten.

6.1.3. GEVOELIGHEID AAN DE B-VELDSTERKTE

Wanneer de minimale veldsterkte hoger wordt gekozen, neemt de blootstellingsoppervlakte af. Tussen 0,2 en 0,4 μ T neemt de totale blootstellingsoppervlakte op 1,5m hoogte af van 141 tot 103km², wat overeenkomt met een daling met 26,9%. De daling van het oppervlakte is het sterkste bij transformatiesites (-38,8%). Bij ondergrondse kabels gaat het om een afname met 31,3% en bij luchtlijnen om een afname met 26,7%. De grootste absolute afname in oppervlakte doet zich voor bij de luchtlijnen (zie ook Tabel 6.7).

Tabel 6.7: Oppervlaktes van de doorsneden van de B-velden op een blootstellingshoogte van 1,5m, met een stroombelasting van 50% en met een variabele minimale B-veldsterkte.

Veldsterkte (μT)	Oppervlakte (km^2)			
	Totaal	Luchtlijnen	Ondergrondse kabels	Sites
0,2	141,22	135,26	5,68	0,67
0,3	117,46	112,66	4,55	0,51
0,4	103,22	99,10	3,90	0,41
10	25,02	24,47	0,56	0

Uit een analyse van de horizontale afstanden van de B-velden komt naar voren dat een veldsterkte van 10 μT volgens het model niet waargenomen kan worden bij transformatiesites en cabines. Het absolute verschil in afstand is het grootste bij de luchtlijnen (-48,73m), maar het grootste relatieve verschil doet zich voor bij ondergrondse kabels, waar een afname van 91,8% wordt waargenomen (zie ook Tabel 6.8).

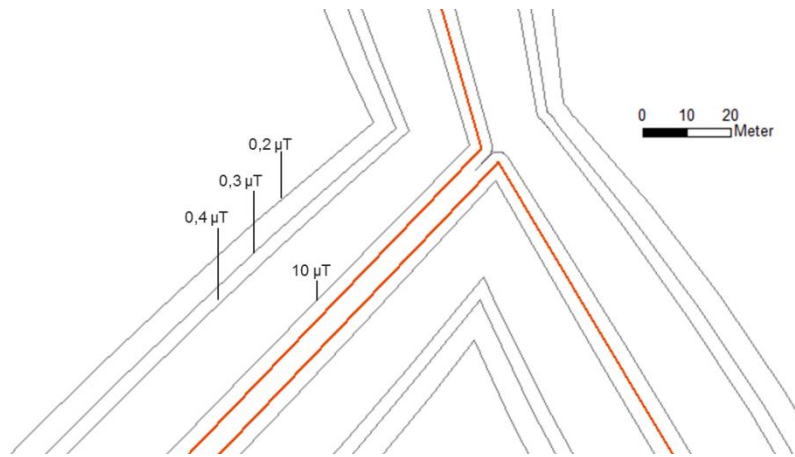
Tabel 6.8: Gemiddelde corridorbreedtes (afstandsgewogen) van de B-velden op een hoogte van 1,5m, met een stroombelasting van 50% en met een variabele minimale magnetische veldsterkte.

Veldsterkte (μT)	Spanning	Gemiddelde corridorbreedte ¹ (m)			
		Luchtlijnen	Ondergrondse kabels	Sites	Cabines
0,2	380kV	54,46	7,45 ²	22,92	3,35
	150kV	24,11	4,46		
	70kV	14,91	1,93		
	36kV	17,54	1,04		
0,3	380kV	43,40	5,75 ²	20,04	2,49
	150kV	19,61	3,44		
	70kV	11,88	1,47		
	36kV	14,09	0,81		
0,4	380kV	36,94	4,78 ²	18,00	2,01
	150kV	16,93	2,86		
	70kV	10,11	1,21		
	36kV	12,06	0,67		
10	380kV	6,09	0,61 ²	0	0
	150kV	3,28	0,36		
	70kV	1,67	0,14		
	36kV	2,12	0,09		

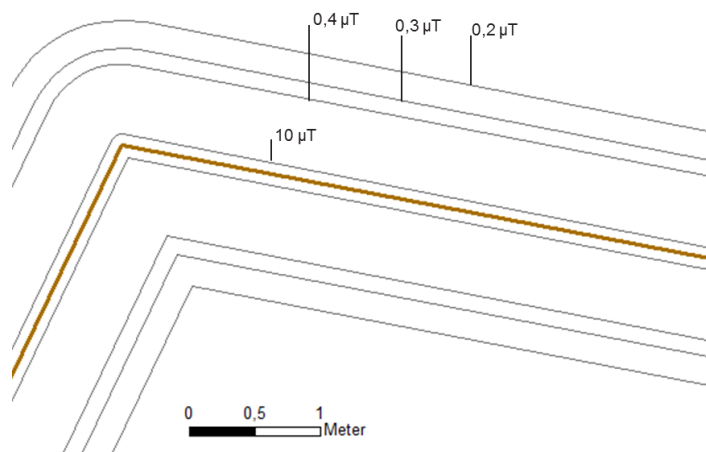
¹ De corridorbreedte is de horizontale afstand tussen de ELF-bron en het uiterste punt waar de gevraagde veldsterkte wordt waargenomen.

² Deze cijfers zijn berekend op geplande kabelsegmenten, in de huidige situatie komen ondergrondse kabels met een spanning van 380 kV niet voor in Vlaanderen.

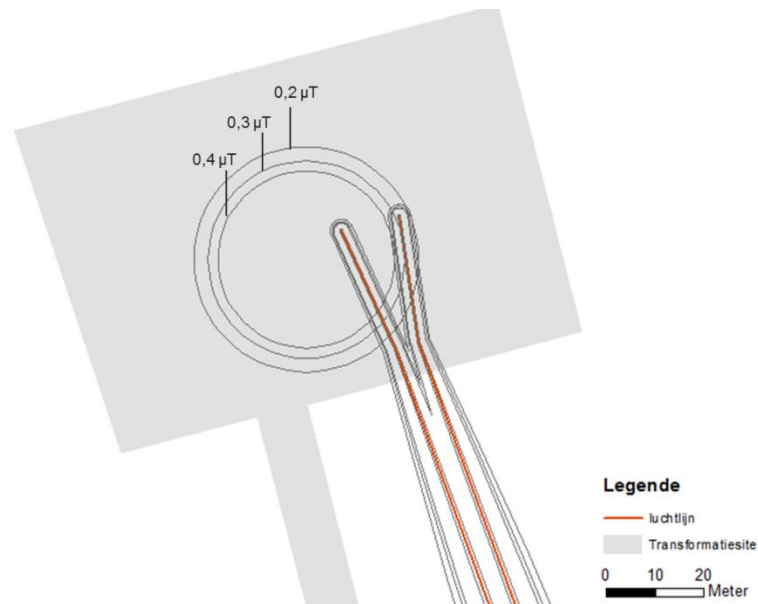
In Figuur 6.5 tot Figuur 6.9 wordt weergegeven hoe de corridorbreedtes van respectievelijk luchtlijnen, ondergrondse kabels, transformatiesites en een cabine evolueren wanneer de minimale veldsterkte wordt gewijzigd. Hierbij zal de afstand kleiner worden naarmate de minimale veldsterkte hoger wordt ingesteld. Bij de verschillende bronnen valt op dat de afstand tussen de corridor met minimale veldsterkte 0,2 μT en die van 0,3 μT groter is dan deze tussen 0,3 μT en 0,4 μT .



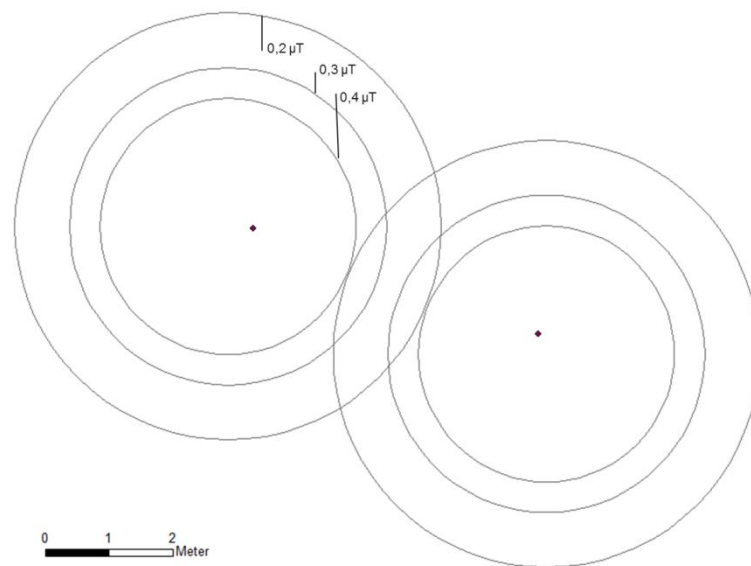
Figuur 6.5: Contouren van het B-veld rond luchtlijnen, waarbij een stroombelasting van 50% wordt verondersteld, op 1,5m hoogte en met variabele minimale veldsterkten.



Figuur 6.6: Contouren van het B-veld rond een ondergrondse kabel, waarbij een stroombelasting van 50% wordt verondersteld, op 1,5m hoogte en met variabele minimale veldsterkten.



Figuur 6.7: Contouren van het B-veld binnen een transformatorsite op 1,5m hoogte en met variabele minimale veldsterkten.



Figuur 6.8: Contouren van het B-veld rond twee distributiecabinen op 1,5m hoogte en met variabele minimale veldsterkten.

6.1.4. GEVOELIGHEID AAN DE STROOMBELASTING (SB)

De parameter stroombelasting is enkel relevant voor luchtlijnen en ondergrondse kabels. Deze variabele heeft een grote impact op de grootte van een B-veld wanneer de andere parameters (minimale veldsterkte en blootstellingshoogte) gelijk blijven. Bij een aanpassing van de stroombelasting van 25 tot 50% neemt de totale oppervlakte van het magnetisch veld met een minimale waarde van $0,4 \mu\text{T}$ en op 1,5m blootstellingshoogte toe met maar liefst 79%. Het verschil tussen 25 en 100% blootstelling bedraagt een toename van 221% (zie ook Tabel 6.9).

Door deze grote verschillen is het van belang deze parameter correct in te schatten. Statistische meetcampagnes in 2003 en 2007 hebben aangetoond dat de jaargemiddelde stromen in België

meestal minder dan 20% van de maximale nominale stroom bedragen (Elia, 2011). Uit voorzorg wordt een stroombelasting van 25 of 30% aangeraden bij het berekenen van B-velden en de blootstellingen hieraan. Aangezien een stroombelasting van 100% in de werkelijkheid niet voorkomt, komt een analyse met een stroombelasting op 75% overeen met een “worst case”-benadering.

Tabel 6.9: Oppervlaktes van de doorsneden van het B-veld op een hoogte van 1,5m en met een minimale veldsterkte van 0,4 μ T met variabele stroombelastingen van de geleiders.

Stroombelasting (%)	Oppervlakte		
	Totaal	Luchtlijnen	Ondergrondse kabels
25	57,60	55,17	2,11
30	67,08	64,28	2,50
50	103,22	99,10	3,90
75	144,58	138,99	5,50
100	184,93	177,90	7,07

Tabel 6.10: Gemiddelde corridorbreedtes¹ (afstandsgewogen) van het B-veld op een hoogte van 1,5m en met een minimale veldsterkte van 0,4 μ T met variabele stroombelastingen van de geleiders.

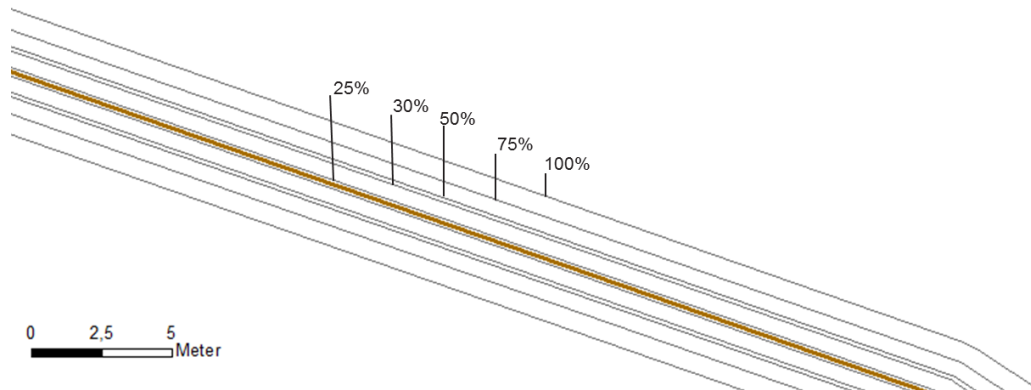
Stroombelasting (%)	Spanning	Luchtlijnen (m)	Ondergrondse kabels (m)
25	380kV	18,47	2,39 ²
	150kV	8,47	1,43
	70kV	5,06	0,60
	36kV	6,03	0,34
30	380kV	22,16	2,87 ²
	150kV	10,16	1,72
	70kV	6,07	0,72
	36kV	7,24	0,40
50	380kV	36,94	4,78 ²
	150kV	16,93	2,86
	70kV	10,11	1,21
	36kV	12,06	0,67
75	380kV	0,14	7,17 ²
	150kV	25,40	4,30
	70kV	15,17	1,81
	36kV	18,10	1,01
100	380kV	73,88	9,56 ²
	150kV	33,86	5,73
	70kV	20,22	2,41
	36kV	24,13	1,35

¹ De corridorbreedte is de horizontale afstand tussen de ELF-bron en het uiterste punt waar de bevraagde veldsterkte wordt waargenomen.

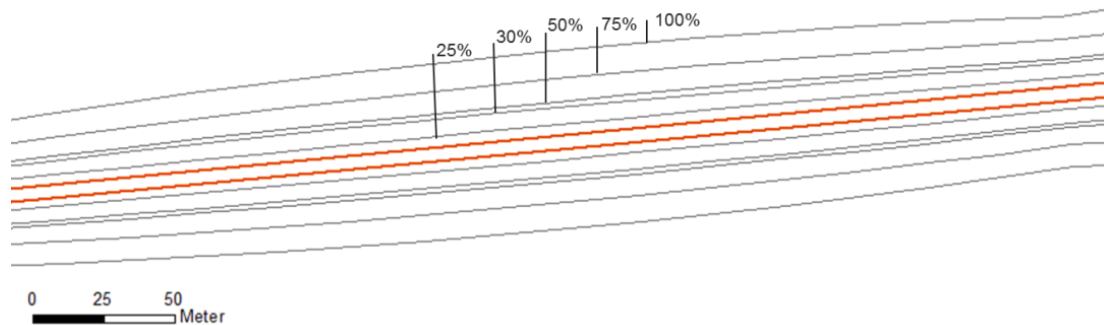
² Deze cijfers zijn berekend op geplande kabelsegmenten, in de huidige situatie komen ondergrondse kabels met een spanning van 380 kV niet voor in Vlaanderen.

Op Figuur 6.9 en Figuur 6.10 zijn de contouren weergegeven rond respectievelijk een ondergrondse kabel en een luchtlijn. Hierbij valt op dat de contouren voor een stroombelasting van

30% dichtter gelegen zijn bij die van 50% dan bij deze van 25%, wat tegen de verwachtingen is en aantoont dat de toename van de contouren niet lineair is.



Figuur 6.9: Contouren van het B-veld rond een ondergrondse kabel op 1,5m blootstellingshoogte met een minimale stroomsterkte van $0,4\mu\text{T}$ en variabele stroombelastingen.



Figuur 6.10: Contouren van het B-veld rond luchtlijnen op 1,5m blootstellingshoogte met een minimale stroomsterkte van $0,4\mu\text{T}$ en variabele stroombelastingen.

6.2. BLOOTSTELLING AAN HET MAGNETISCH VELD

Met behulp van de 5 individuele blootstellingsmodules kan de blootstelling berekend worden voor de blootstellingsgroepen inwoners, scholen, zorginstellingen, kinderopvang en onbebouwde woonpercelen. De resultaten bespreken voor alle mogelijke combinaties van de modelparameters zou ons echter te ver leiden. In dit hoofdstuk wordt de blootstelling besproken voor één specifieke configuratie en vervolgens het belang van de parameters op de resultaten besproken. Deze analyse geeft een inzicht in het belang van de individuele en gecombineerde ELF-bronnen aan de blootgestelde groepen.

6.2.1. ALGEMEEN

In Tabel 6.11 worden de blootstellingscijfers weergegeven voor een B-veld met een minimale veldsterkte van $0,4\mu\text{T}$ op 1,5m blootstellingshoogte en met een aanname van een stroombelasting van 50%. Uit deze cijfers blijkt de impact van de keuze van de berekeningswijze, waarbij een verschil van 63% werd waargenomen bij de blootgestelde inwoners tussen de maximale en minimale berekeningswijze. Uit de vergelijking van de verschillende ELF-bronnen blijken de luchtlijnen verantwoordelijk voor het grootste aantal blootgesteld, wat overeenstemt met de analyse van de oppervlakten van de B-velden veroorzaakt door de verschillende bronnen. Bovendien blijkt elke blootstellingsgroep blootgesteld te worden aan B-velden, waarbij zorgcentra (ziekenhuizen en verzorgingstehuizen) de kleinste blootstelling kent.

Deze cijfers van aantal blootgesteld kunnen in het rekenmodel in tabelvorm opgevraagd worden per type blootstellingsgroep, waarbij een onderscheid gemaakt wordt tussen verschillende categorieën in de blootstellingsgroepen (bijvoorbeeld zorgcentra worden opgedeeld in algemene ziekenhuizen, psychiatrische ziekenhuizen, woonzorgcentra en psychiatrische verzorgingstehuizen). Het gaat dan om aantal inwoners, aantal kinderen, aantal bedden voor de zorgcentra, aantal kinderen voor de kinderopvang en aantal leerlingen voor de scholen. Deze aantallen worden in de tabelvorm geaggregeerd per gemeente, maar ook het totaal voor Vlaanderen wordt telkens weergegeven. Tabel 6.12 beschrijft het aantal blootgestelde woningen, zorgcentra, scholen en kinderopvangplaatsen. Bij de laatste twee blootstellingsgroepen wordt het aantal blootgestelde buitenterreinen en het aantal blootgestelde gebouwen apart weergegeven.

Tabel 6.11: Aantal blootgesteld voor een B-veld met een minimale veldsterkte van $0,4\mu\text{T}$, op 1,5m hoogte en met een stroombelasting van 50%, zowel voor de individuele bronnen als de som, met een onderscheid tussen de verschillende rekenwijzen.

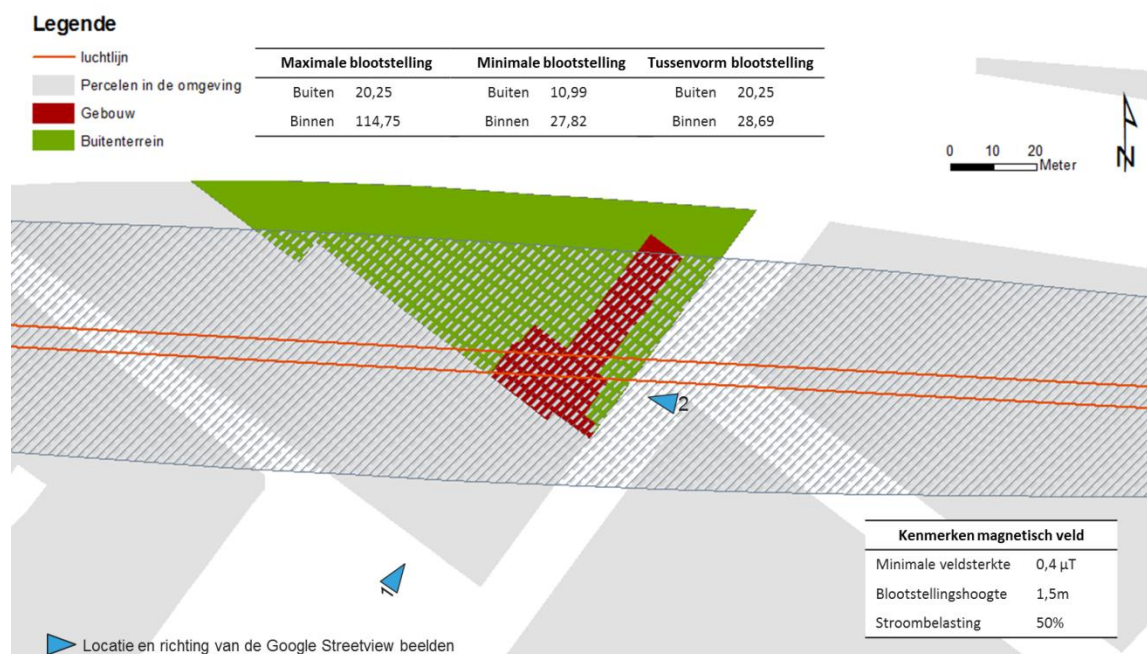
Bron	Berekeningswijze	Wonen			Zorgcentra	Kinderopvang	Scholen	Onbebouwde woonpercelen	
		Aantal huishoudens	Inwoners	Kinderen				aantal	Opp (ha)
Totaal	Maximum	15.996	38.829	7.620	406	1020	8.423	6304	1596
	Tussenvorm	10.871	26.728	5.156	304	624	5.590	6303	367
	Minimum	5.747	14.506	2.853	1,31	218	704	980	29
Lucht	Maximum	11.984	30.215	5.983	325	762	4.750	5376	1356
	Tussenvorm	8.730	21.901	4.197	265	490	3.148	5376	360
	Minimum	5.578	14.135	2.779	0,31	208	687	969	28
Ka	Maximum	3.850	8.391	1.622	81	258	3.552	937	250
	Tussenvorm	2.077	4.741	956	39	135	2.321	936	6

	Minimum	145	332	71	0,67	3	16	5	0,01
Sites	Maximum	180	266	22	0	36	148	37	11
	Tussenvorm	76	118	9	0	19	148	37	0,7
	Minimum	26	42	4	0	6	1	5	0,5

Tabel 6.12: Aantal blootgestelde instellingen voor een B-veld met een minimale veldsterkte van $0,4\mu T$, op 1,5m hoogte en met een stroombelasting van 50%, zowel voor de individuele bronnen als de som.

	Aantal woningen	Aantal zorgcentra	Aantal kinderopvang locaties		Aantal scholen	
			binnen	buiten	binnen	buiten
Totaal	12.917	5	67	113	24	62
Luchtlijnen	10.562	3	58	86	15	27
Kabels	2.325	2	9	28	9	34
Sites	47	0	1	1	0	2

Afzonderlijk van deze tabellenreeksen kan met het rekenmodel per blootstellingsgroep ook een shapefile met ruimtelijke informatie gecreëerd worden waarin enkel de blootgestelde locaties worden weergegeven. Op deze manier kan ook de individuele situatie van scholen, ziekenhuizen, etc. geconsulteerd worden. In Figuur 6.11 wordt bij wijze van voorbeeld de ligging van een school in Diepenbeek gegeven met het blootstellingsveld waaraan de leerlingen worden blootgesteld. Ter verificatie van de situatie bevat Figuur 6.12 enkele StreetView beelden (Google, 2014) waarop de luchtlijnen duidelijk zichtbaar aanwezig zijn.

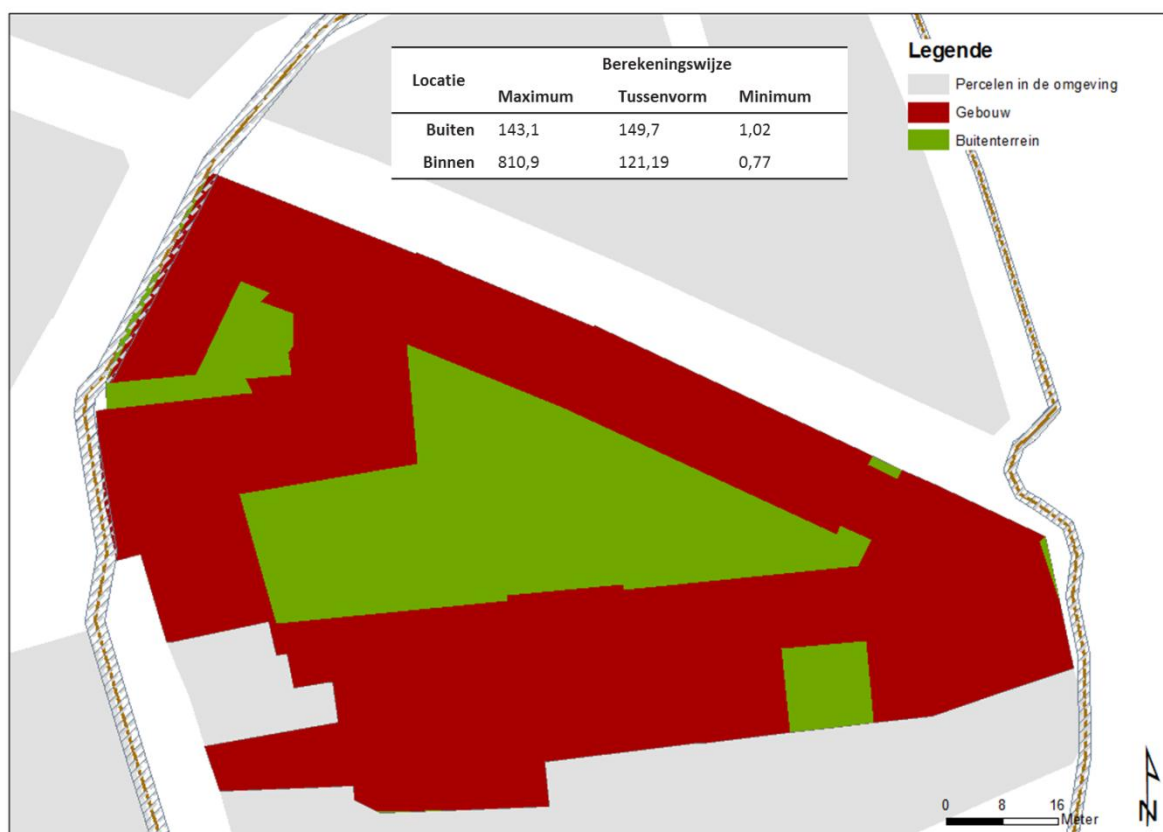


Figuur 6.11: Situatieplan van het B-veld veroorzaakt door luchtlijnen en de ligging van de schoolgebouwen en buitenterreinen die hieraan blootgesteld worden. De luchtlijnen zouden zich ongeveer op 40m boven het maaiveld bevinden.



Figuur 6.12: Twee StreetView beelden (Google, 2014) van de betreffende school, waarbij de luchtlijnen zichtbaar aanwezig zijn.

Een tweede situatieschets van een school in Gent (Figuur 6.13) toont aan dat de blootstellingswaarde berekend volgens de variant 'Maximum telling' in sommige gevallen een ernstige overschatting is, aangezien er maar een zeer beperkte overlap is tussen het magnetisch veld en de schoolgebouwen en/of terreinen. In dit geval is de variant 'Minimum telling' veel realistischer, waarbij in totaal 2 leerlingen blootgesteld worden (Maximum telling geeft 954 leerlingen aan).



Figuur 6.13: Situatieplan van B- veld veroorzaakt door ondergrondse kabels en de ligging van de schoolgebouwen en buitenterreinen die hieraan blootgesteld worden.

6.2.2. GEVOELIGHEID AAN DE BLOOTSTELLINGSHOOGTE (BH)

Het aantal blootgestelde inwoners/kinderen/bedden neemt duidelijk af met de blootstellingshoogte, ondanks dat de oppervlakte van de magnetische velden toenam met de hoogte (Tabel 6.5). Op 50m hoogte, wat overeenkomt met de 17^e verdieping van een gebouw en tevens de hoogte is van het hoogste gebouw in de inwonersdataset, wordt geen bevolkingsgroep meer blootgesteld aan een B-veld.

Tabel 6.13: Aantal blootgestelden voor een B-veld met een minimale veldsterkte van 0,4 μ T en met een stroombelasting van 50% voor kabels en luchtlijnen, op variabele blootstellingshoogten.

Blootstellings- hoogte (m)	Inwoners			Zorg- centra	Kinder- dagopvang	Scholen
	Aantal huishoudens	Inwoners	Kinderen			
0m	11.863	28.895	5.618	304	6.570	5.897
1,5m	10.871	26.728	5.156	304	624	5.590
4m: verdiep 2	10.260	25.416	4.887	302	566	4.380
7m: verdiep 3	3.299	8.539	1.845	30	204	1.099
10m: verdiep 4	303	657	135	30	37	305
13m: verdiep 5	26	42	3	0	28	235
50m: verdiep 17	0	0	0	0	0	0

6.2.3. GEVOELIGHEID AAN DE B- VELDSTERKTE

Naarmate de minimale B-veldsterkte toeneemt, neemt het aantal blootgestelde personen af. Toch is het verschil tussen een veldsterkte van 0,2 en 0,4 μT relatief klein, zo wordt 83% van de schoolgaande kinderen die blootgesteld worden aan een magnetisch veld van minimum 0,2 μT ook blootgesteld aan een veld van 0,4 μT . Bij zorgcentra is dit verschil echter het grootste, waarbij slechts 66% van de bewoners of patiënten die blootgesteld worden aan 0,2 μT ook aan 0,4 μT worden blootgesteld.

De blootstelling aan een B-veld van 10 μT is buiten verwachting hoog. Binnen de categorie “zorgcentra” betreft het hier maar één instelling, maar de cijfers voor kinderopvang en scholen bedragen maar liefst 48 en 46% van de kinderen die ook blootgesteld worden aan een magnetisch veld van 0,2 μT . Het betreft hier 88 kinderopvanglocaties en 46 scholen.

Tabel 6.14: Aantal blootgestelde personen/bedden voor een B-veld op een hoogte van 1,5m en met een stroombelasting van 50% voor kabels en luchtlijnen, met een variabele minimale veldsterkte.

Magnetische veldsterkte (μT)	Inwoners			Zorgcentra	Kinderdagopvang	Scholen
	Aantal huishoudens	Inwoners	Kinderen			
0,2	14.981	36.574	7.122	463	767	6.770
0,3	12.372	30.311	5.856	304	680	5.786
0,4	10.871	26.728	5.156	304	624	5.590
10	5.259	13.025	2.505	37	369	3.121

6.2.4. GEVOELIGHEID AAN DE STROOMBELASTING (SB)

Net zoals bij de grootte van de magnetische velden (zie Tabel 6.9) heeft het percentage stroombelasting waarop de nominale stroom gebaseerd wordt een grote impact op het aantal blootgestelde personen. Procentueel is de impact het grootst voor de zorgcentra (een toename van 591%). Bij scholen en kinderopvang is de toename het kleinst (respectievelijk 84 en 80%).

Tabel 6.15: Aantal blootgestelde personen/bedden voor een B-veld op een hoogte van 1,5m en met een minimale veldsterkte van 0,4 μT en met een variabele stroombelasting voor kabels en luchtlijnen.

Stroombelasting (%)	Inwoners			Zorgcentra	Kinderdagopvang	Scholen
	Aantal huishoudens	Inwoners	Kinderen			
25	7.381	18.275	3.513	67	499	4.296
30	8.028	19.867	3.822	67	506	4.652
50	1.0871	26.728	5.156	304	624	5.590
75	14.959	36.608	7.122	463	734	6.777
100	19.029	46.488	9.095	463	898	7.915

6.2.5. ONBEBOUWDE WOONPERCELEN

Er worden 6.303 onbebouwde woonpercelen blootgesteld aan een B-veld met een minimale veldsterkte van 0,4 μT met een stroombelasting van 50% (zie Tabel 6.16). Hierbij werd gerekend met de variant “Tussenvorm”, wat betekent dat enkel de oppervlakte van het woonperceel in

rekening wordt gebracht dat effectief bedekt wordt door het magnetisch veld. Het gaat om een oppervlakte van 367 ha. Bij een stroombelasting van 25% neemt de oppervlakte af tot 209 ha. Wanneer de minimale veldsterkte wordt verondersteld op 10 μT (de interventiewaarde volgens het Vlaams binnenmilieubesluit), dan neemt de blootgestelde oppervlakte sterk af, maar het aantal blootgestelde percelen blijft eveneens vrij hoog (4.766 bij een stroombelasting van 50%). Luchtlijnen dragen het meeste bij aan de magnetische velden die de onbebouwde woonpercelen doorsnijden.

Tabel 6.16: Aantal en oppervlakte van de onbebouwde woonpercelen die blootgesteld worden aan B-velden met een variabele veldsterkte en stroombelasting, berekend met de rekenmethode "tussenvorm".

Veldsterkte		0,4 μT		10 μT	
Stroombelasting		25%	50%	25%	50%
Totaal	Oppervlakte (ha)	208,5	366,9	51,6	93,6
	Aantal	5.400	6.303	4.568	4.766
Luchtlijnen	Oppervlakte (ha)	204,7	360,3	51,1	92,8
	Aantal	4.660	5.376	3.984	4.153
Kabels	Oppervlakte (ha)	3,2	6,3	0,4	0,8
	Aantal	745	937	608	638
Sites	Oppervlakte (ha)	0,7	0,7	0	0
	Aantal	37	37	0	0

6.3. ENKELE EENVOUDIGE SCENARIO'S

In dit onderdeel werden een aantal eenvoudige scenario's onderzocht. Het rekenmodel laat immers toe om door middel van een paar aanpassingen in de bronparameters snel de consequenties in te schatten van een aantal mogelijke ingrepen. Hier werden drie scenario's onderzocht:

- Wat is het effect op de grootte van het magnetisch veld en op het aantal blootgestelde inwoners wanneer alle luchtlijnen zich minimaal op een hoogte van 40m boven het maaiveld zouden bevinden?
- Wat is het effect op de grootte van het magnetisch veld wanneer alle luchtlijnen ondergronds worden geplaatst?
- Wat is het effect op de grootte van het magnetisch veld wanneer alle ondergrondse kabels bovengronds worden geplaatst?

6.3.1. MINIMALE HOOGTE LUCHTLIJNEN OP 40M BRENGEN

Bij dit scenario werd de minimale hoogte van luchtlijnen aan de onderste mastarm verhoogd naar 40m, ongeacht de spanning op de lijnen. De lengte van de doorhang bleef hierbij behouden. Er wordt verwacht dat de grootte van het B-veld en het aantal blootgestelde inwoners hierdoor zal afnemen. Hoe groot deze afname juist zou zijn, werd onderzocht met het blootstellingsmodel.

Hieruit blijkt dat het verhogen van de minimale ophangingshoogte van luchtlijnen aan de onderste mastarm de oppervlakte van het magnetisch veld op 1,5m blootstellingshoogte doet afnemen met 7% (zie Tabel 6.17). Ook het aantal blootgestelde inwoners neemt af, met de grootste afname bij de berekeningswijze 'Minimum' (9% minder blootstelling) (zie Tabel 6.18).

Tabel 6.17: Vergelijking tussen de huidige situatie en het scenario van de oppervlakte van de doorsnede van het B-veld ten gevolge van luchtlijnen met een minimale veldsterkte van 0,4μT en een stroombelasting van 50%, op een blootstellingshoogte van 1,5m.

	Huidige situatie	Scenario
Oppervlakte (km ²)	99,10	92,29

Tabel 6.18: Vergelijking tussen de huidige situatie en het scenario van het aantal blootgestelde inwoners, kinderen en huishoudens aan het B-veld ten gevolge van luchtlijnen met een minimale veldsterkte van 0,4 μT en een stroombelasting van 50% op een blootstellingshoogte van 1,5m.

Berekeningswijze	Huidige situatie			Scenario		
	Aantal huishoudens	Inwoners	Kinderen	Aantal huishoudens	Inwoners	Kinderen
Maximum	11.984	30.215	5.983	11.105	28.092	5.585
Tussenvorm	8.730	21.901	4.197	8.091	20.361	3.909
Minimum	5.578	14.135	2.779	5.077	12.863	2.530

6.3.2. ONDERGRONDS BRENGEN VAN LUCHTLIJNEN

In dit scenario werd ervoor gekozen om alle luchtlijnen in Vlaanderen ondergronds te plaatsen. De diepteligging werd bepaald op basis van de spanning, naar analogie met de werkwijze die ook bij de feitelijke ondergrondse kabels werd toegepast. Er wordt verwacht dat de sterkte van het B-veld en het aantal blootgestelde inwoners hierdoor zal afnemen.

Uit de analyse van de rekenresultaten blijkt dat de oppervlakte van het magnetisch veld op 1,5m hoogte afneemt met ongeveer een vijfde ten opzichte van de huidige situatie (zie Tabel 6.19). Het aantal blootgestelde inwoners vermindert bij dit scenario bij de maximale tellingswijze met 8.296 personen, wat overeenkomt met een afname van 27% (zie Tabel 6.20). Bij de minimale rekenwijze bedraagt het aantal blootgestelde huishoudens bij het scenario slechts 18% ten opzichte van de huidige situatie. Hierbij vermindert het aantal blootgestelde kinderen van 2.779 naar 518 (zie Tabel 6.20).

Tabel 6.19: Vergelijking van de oppervlaktes van het B-veld in de huidige situatie en het scenario "ondergronds brengen van luchtlijnen". Het B-veld werd berekend voor volgende parameters: stroombelasting 50%, minimale veldsterkte: 0,4 μ T, blootstellingshoogte: 1,5m.

	Oppervlakte (km ²)			
	Totaal	Luchtlijnen	Kabels	Sites
Huidige situatie	103,22	99,10	3,90	0,41
Scenario	20,98	0	20,59	0,41

Tabel 6.20: Vergelijking van het aantal blootgestelde huishoudens, inwoners en kinderen aan het totale B-veld in de huidige situatie en in het scenario "ondergronds brengen van luchtlijnen". Het B-veld werd berekend voor volgende parameters: stroombelasting 50%, minimale veldsterkte: 0,4 μ T, blootstellingshoogte: 1,5m.

Berekeningswijze	Huidige situatie			Scenario		
	Aantal huishoudens	Inwoners	Kinderen	Aantal huishoudens	Inwoners	Kinderen
Maximum	11.984	30.215	5.983	9.253	21.919	4.256
Tussenvorm	8.730	21.901	4.197	6.031	14.632	2.804
Minimum	5.578	14.135	2.779	1.026	2.556	518

6.3.3. BOVENGRONDS BRENGEN VAN ONDERGRONDSE KABELS

Een andere optie is het bovengronds brengen van alle ondergrondse kabels. Bij deze oefening wordt de hoogte bepaald op basis van de relatie tussen de spanning en gemiddelde hoogte van de luchtlijnen (zie Tabel 6.2). De gekozen doorhang is eveneens gebaseerd op de typische waarden (zie Tabel 2.3). Bij dit scenario wordt een toename verwacht van de grootte van het B-veld en het aantal blootgestelde inwoners.

Uit analyse van de rekenresultaten blijkt dat de oppervlakte van het B-veld op 1,5m hoogte toeneemt met 31km² (zie Tabel 6.21). Het aantal blootgestelde inwoners stijgt in dit scenario fors ten opzichte van de huidige situatie (zie Tabel 6.22). Bij de maximale berekeningswijze neemt het aantal blootgestelde inwoners toe met een factor 3. Bij de minimale rekenwijze bedraagt de toename van blootgestelde inwoners een factor 2,5.

Tabel 6.21: Vergelijking van de oppervlaktes van het B-veld in de huidige situatie en het scenario "bovengronds brengen van ondergrondse kabels". Het B-veld werd berekend voor volgende parameters: stroombelasting 50%, minimale veldsterkte: 0,4 μ T, blootstellingshoogte: 1,5m.

	Oppervlakte (km ²)			
	Totaal	Luchtlijnen	Kabels	Sites
Huidige situatie	103,22	99,10	3,90	0,41
Scenario	134,34	134,11	0	0,41

Tabel 6.22: Vergelijking van het aantal blootgestelde huishoudens, inwoners en kinderen aan het totale B-veld in de huidige situatie en in het scenario “bovengronds brengen van ondergrondse kabels”. Het B-veld werd berekend voor volgende parameters: stroombelasting 50%, minimale veldsterkte: 0,4 μ T, blootstellingshoogte: 1,5m

Berekeningswijze	Huidige situatie			Scenario		
	Aantal huishoudens	Inwoners	Kinderen	Aantal huishoudens	Inwoners	Kinderen
Maximum	11.984	30.215	5.983	44.541	98.541	18.863
Tussenvorm	8.730	21.901	4.197	25.114	57.555	10.999
Minimum	5.578	14.135	2.779	15.129	35.589	6.995

HOOFDSTUK 7. TOEKOMSTSCENARIO'S

7.1. INLEIDING

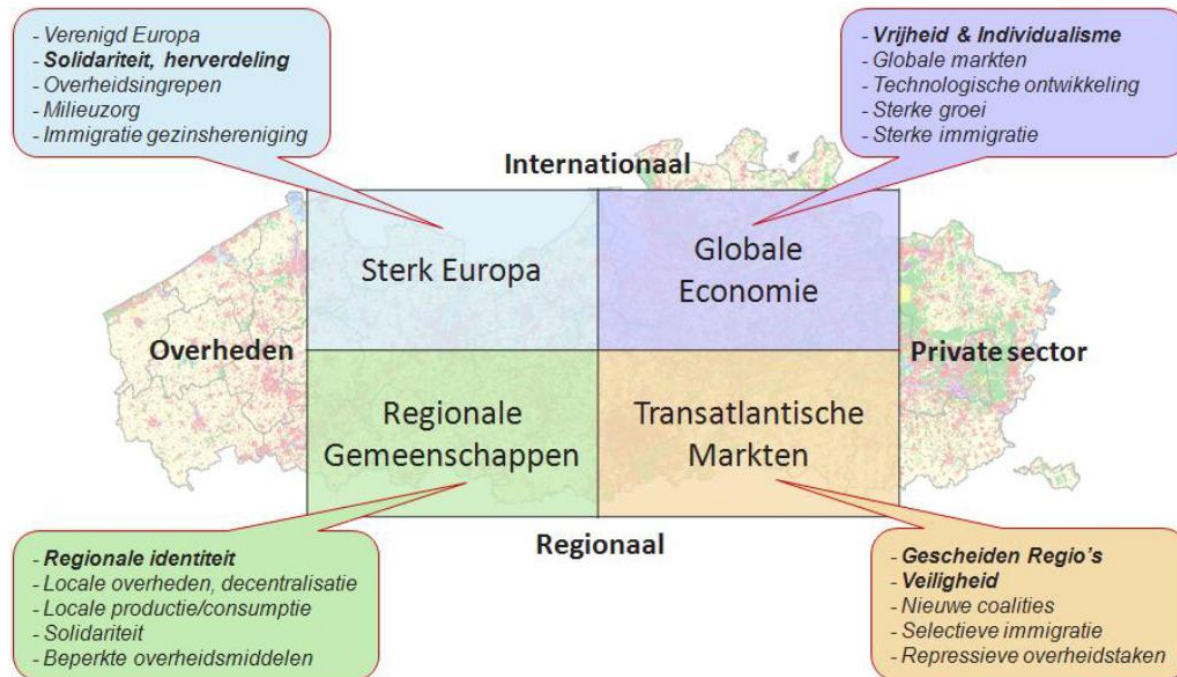
7.1.1. OMSCHRIJVING BAU EN DE VIER WERELDBEELDEN

In dit onderdeel zal de toekomstige residentiële ontwikkeling onderzocht worden in de buurt van de actuele en geplande luchtlijnen en kabels. De toekomstige residentiële ontwikkeling wordt uitgewerkt voor een Business-As-Usual scenario (BAU) en vier Wereldbeelden. De resultaten worden bekeken voor twee zichtjaren: de meer nabije toekomst – het jaar 2030 - en de wat verdere toekomst – het jaar 2050. Er wordt ook verwacht dat de planningstermijn van Elia zich naar 2030 richt en dat bijgevolg de geleverde geplande leidingen vanaf 2030 actief worden. In wat volgt zal echter ook telkens met een conservatieve variant gewerkt worden, waarbij de toestand anno 2013 ongewijzigd wordt verondersteld naar 2050 toe. Dit laat toe om de verschillen te zien.

Aan de hand van het RuimteModel Vlaanderen van VITO worden toekomstverkenningen op een ruimtelijk expliciete manier berekend voor Vlaanderen voor de periode 2010-2050 volgens verschillende scenario's. Het model neemt hiervoor demografische en socio-economische prognoses in rekening, net als een ruim scala aan beleidskaarten, geschiktheidskaarten en mobiliteitsgegevens. Het resultaat is voor elk jaar tussen 2010 en 2050 een landgebruikskaart en een groot aantal afgeleide indicatoren zoals de woondichtheid. Voor deze studie werd voor het BAU-scenario ook een dichtheidsindicator ontwikkeld die het aantal kinderen simuleert voor elk jaar tussen 2010 en 2050 op een resolutie van 1 hectare.

Het RuimteModel Vlaanderen werd ondermeer ontwikkeld in het kader van het Steunpunt Ruimte en Wonen voor het Departement Ruimte Vlaanderen. Hieronder volgt een korte beschrijving van de verschillende scenario's (bron: VITO-rapport 'De Vlaamse Ruimte in 4 Wereldbeelden' van Engelen et al. (2011)). Voor meer informatie wordt ook verwezen naar de paper 'Spatial-dynamic visualization of long-term scenarios for demographic, social-economic and environmental change in Flanders' van de Kok et al. (2012), zie Bijlage B.

De keuze van de scenario's is gebaseerd op de concepten en resultaten van de duurzaamheidsverkenning 'Welvaart en leefomgeving' (WLO) van 2006 uit Nederland (<http://www.welvaartenleefomgeving.nl/>) van het Centraal Planbureau, het Milieu- en Natuurplanbureau en het Ruimtelijk Planbureau. De WLO-studie beschrijft in kwalitatieve en kwantitatieve termen de mogelijke veranderingen van Nederland van 2002 tot 2040 op basis van vier scenario's: **Sterk Europa, Globale Economie, Regionale Gemeenschappen en Transatlantische Markten**. Deze scenario's verschillen in een breed aantal thema's van demografie, arbeid, energie, mobiliteit, milieu, ruimte, natuur en water tot landbouw en zijn te plaatsen in een assenstelsel gevormd door twee assen die de sleutelonzekerheden m.b.t. de toekomst weergeven:



Figuur 7.1: De vier Wereldbeelden voor Vlaanderen gepositioneerd in de vier kwadranten van het assenstelsel van de WLO-studie

De eerste as heeft betrekking op de mate van internationale samenwerking, de tweede as op de balans tussen de publieke en private verantwoordelijkheid. De vier wereldbeelden vertonen ook regionale verschillen en onderscheiden zich ondermeer in de ontwikkeling van de grote steden.

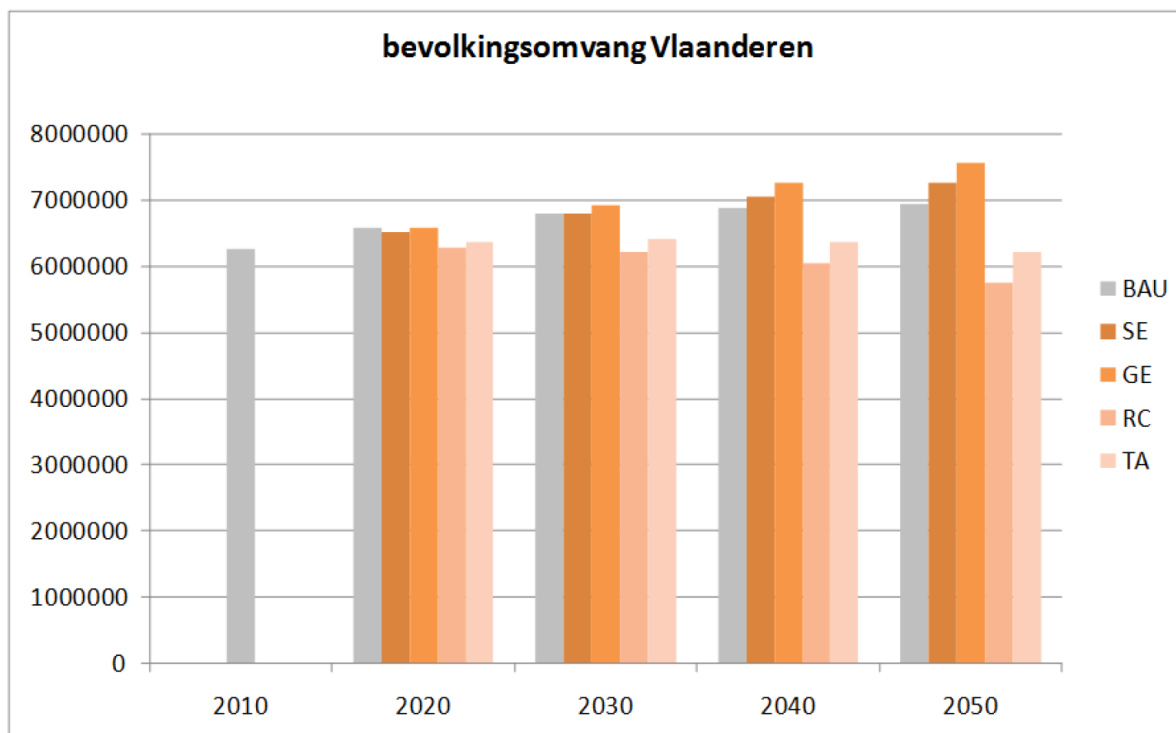
Voor de toepassing op de Vlaamse Ruimte werden de trends voor de vier WLO wereldbeelden eerst kwalitatief vertaald op basis van een interactieve workshop met experts en stakeholders (Kuhk *et al.*, 2011), uitgaande van de toestand voor 2010. Vervolgens werden de kwantitatieve resultaten van de WLO-studie vertaald naar de Vlaamse context en, anders dan in de WLO-studie, ruimtelijk expliciet doorgerekend voor de periode 2010-2050 met behulp van het RuimteModel Vlaanderen. Dit maakte het mogelijk de ontwikkeling van de Vlaamse Ruimte voor de vier Wereldbeelden te vergelijken met een ruimtelijke detail van 1 ha en een tijdstap van 1 jaar. Omwille van de consistentie werden de groeicijfers uit de WLO-studie gecombineerd met de kwantitatieve resultaten, sectorale en de regionale verhoudingen van het BAU-scenario van het RuimteModel (Engelen *et al.*, 2011), waarbij de situatie voor 2010 als uitgangspunt genomen werd. Dit BAU-scenario beschrijft de ruimtelijke ontwikkeling van Vlaanderen voor de periode 2010-2050 als gevolg van de bevolkingsgroei, tewerkstelling, allocatie van ruimte voor natuur en landbouw. In het BAU-scenario wordt uitgegaan van het doorzetten van de huidige trends, waarbij het beleid zijn huidige manier van werken verderzet.

Naast het BAU zijn er dus 4 Wereldbeelden die fundamenteel verschillen in het belang van het initiatief door overheden of private spelers, en, de globale dan wel regionale oriëntatie van de maatschappij. Op zijn beurt zijn deze aanleiding tot sterke verschillen in de bevolkingsontwikkeling, omvang en aard van de tewerkstelling, woon- en werkdichtheden, keuze van woon- en werklocaties, en mobiliteit. De Wereldbeelden zijn intern en onderling consistent: ze schetsen elk een integrale, samenhangende, plausibele ontwikkeling die Vlaanderen zou kunnen ondergaan in de periode 2010-2050. De waarde van de Wereldbeelden is vooral te vinden in de onderlinge vergelijking die ze mogelijk maken en in het oprekken van het referentiekader waarin de ruimtelijke ontwikkelingen van Vlaanderen plaatsvinden. Op die manier zijn het belangrijke

instrumenten voor de voorbereiding van ondermeer het ruimtelijk beleid. De precieze cijfermatige uitvoer van elk scenario heeft zijn nut om de plausibiliteit te onderbouwen en analyses te ondersteunen, maar heeft verder geen absolute noch voorspellende waarde. Het zijn exploraties. De doorrekening van de 4 scenario's tot 2050 resulteren in een Vlaanderen dat erg verschillend is. Dat blijkt uit de analyse van de landgebruikskaart in 2050 en in een zeventiental van het landgebruik afgeleide ruimtelijke indicatoren.

- Het wereldbeeld Sterk Europa (SE) kent de tweede belangrijkste bevolkingstoename. Het levert een ruimtelijk beeld op waarin de stedelijke ontwikkeling voorop staat. De grootstedelijke en regionaal stedelijke kernen verdichten en herbergen zowel bevolking als een belangrijk aandeel van de handel en de diensten. De benutting van de ruimte door industriële activiteit gaat fel achteruit. Sterk Europa kent de belangrijkste groei van het areaal natuur. Het betreft kwaliteitsvolle biodiversiteitsnatuur die door de overheden wordt beheerd.
- Het wereldbeeld Globale Economie (GE) kent de grootste groei in de bevolking en de economische activiteit. Regionaal situeert zich deze groei vooral op de as Antwerpen Brussel. Het naar elkaar en in elkaar groeien van de steden Antwerpen, Gent, Mechelen en Brussel wordt een feit. De ruimte wordt er ingenomen door wonen, en door economische activiteiten in grotere bedrijfs-, diensten- en winkelcomplexen. Ook in economische groeipolen, zoals het Albertkanaal, verschijnen deze grotere complexen. Maar, er is ook een duidelijke sub-urbanisatie vanuit de grootstedelijke gebieden naar het buitengebied. Vrijgekomen landbouwgronden worden omgezet naar grotere entiteiten natuur die op commerciële basis wordt geëxploiteerd. De biodiversiteitswaarde neemt af.
- In het wereldbeeld Regionale Gemeenschappen (RC) is er een bevolkingsafname naar 2050. Ook de economische activiteit gaat achteruit. Een bepaalde mate van zelfvoorziening komt tot stand. Dit is merkbaar in de toename van het aantal zelfstandigen actief in kleinschalige industriële en commerciële activiteiten. Dit laat zich ook merken in de ruimtelijke patronen. De stedelijke ontwikkeling vertraagt en de steden verdunnen. Mensen verlaten de stad en wonen in kleinere dorpen in het buitengebied die uitgroeien tot een omvang die zelfvoorziening in de kleinhandel, diensten en industriële activiteit mogelijk maakt. Economische activiteit concentreert zich in de havens en langs de kanalen waar transport via het water mogelijk is. Het belang van het landbouwareaal is het grootst in dit scenario. Natuurontwikkeling krijgt minder aandacht.
- In het wereldbeeld Transatlantische Markten (TA) stijgt de bevolking lichtelijk tot 2030 om vervolgens af te nemen tot een waarde in 2050 die nagenoeg gelijk is aan die van 2010. De economische activiteit groeit licht. De sub-urbanisatie in dit scenario is ook een feit, zij het dat de stedelijke woongebieden een deel van bevolking verliezen door verdunning. De rijkere bevolking verkiest te leven in het buitengebied. De steden worden opnieuw de kernen van de economische activiteit. Er ontstaan net als in de Globale Economie grotere bedrijventerreinen, diensten en winkelcentra. Milieukwaliteit en natuur krijgen de minste aandacht in dit scenario. Dit is te merken in de relatieve afname van de biodiversiteitsnatuur ten voordele van het areaal productiebos.

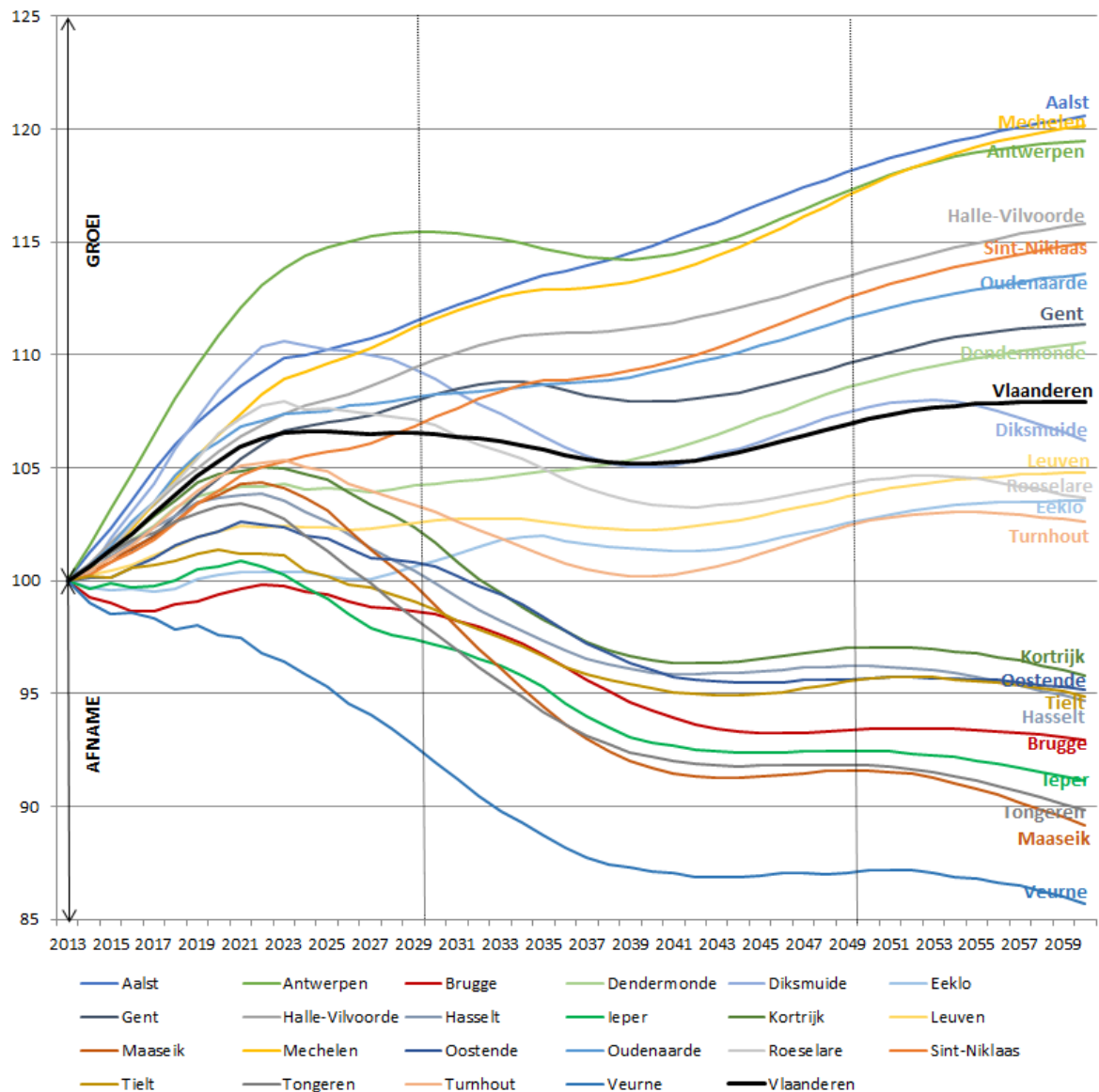
Hoe de bevolkingsomvang zal evolueren volgens het BAU-scenario en de vier Wereldbeelden wordt ook nog verduidelijkt in Figuur 7.2.



Figuur 7.2: Ontwikkeling van de Vlaamse bevolking volgens het BAU-scenario en de vier Wereldbeelden

Voor de ontwikkeling van het aantal kinderen (0-14 jarigen) hebben we ons gebaseerd op cijfers van het Federaal Planbureau en de FOD Economie – Algemene Directie Statistiek en Economische Informatie. Zij hebben bevolkingsprognoses opgesteld voor de periode 2014-2061. Deze prognoses zijn beschikbaar op het niveau van de arrondissementen en per leeftijdscategorie (jaarlijks). De prognoses voor de 0-14 jarigen wordt in onderstaande figuur beschreven.

Gemiddeld voor Vlaanderen wordt een groei van het aantal kinderen verwacht. Als referentiejaar wordt met 2013 gewerkt, aangezien de huidige blootstelling ook voor dit referentiejaar berekend wordt. De groei zit hem vooral in de eerste tien jaar (tot 2025), nadien neemt het aantal licht af naar 2040 toe, om dan opnieuw te stijgen naar een niveau voor 2060 boven dat van 2025. Voor de blootstelling naar ELF-straling toe werden twee zichtjaren onderzocht: 2030 en 2050. Op Vlaams niveau is er voor deze twee zichtjaren respectievelijk een stijging van de bevolking met 6,5 en 7,2% ten opzichte van 2013. Binnen de arrondissementgrenzen zijn er echter serieuze verschillen tussen 2030 en 2050. Zo neemt het aantal kinderen sterk toe in Aalst, Mechelen en Antwerpen over de ganse periode. Er zijn arrondissementen die eerst een toename kennen en vanaf 2030 minder kinderen tellen dan in 2013. Voorbeelden hiervan zijn Maaseik en Hasselt. Tenslotte zijn er ook arrondissementen waar het aantal kinderen blijvend afneemt van 2013 tot 2050. Voorbeelden zijn Brugge en Veurne.



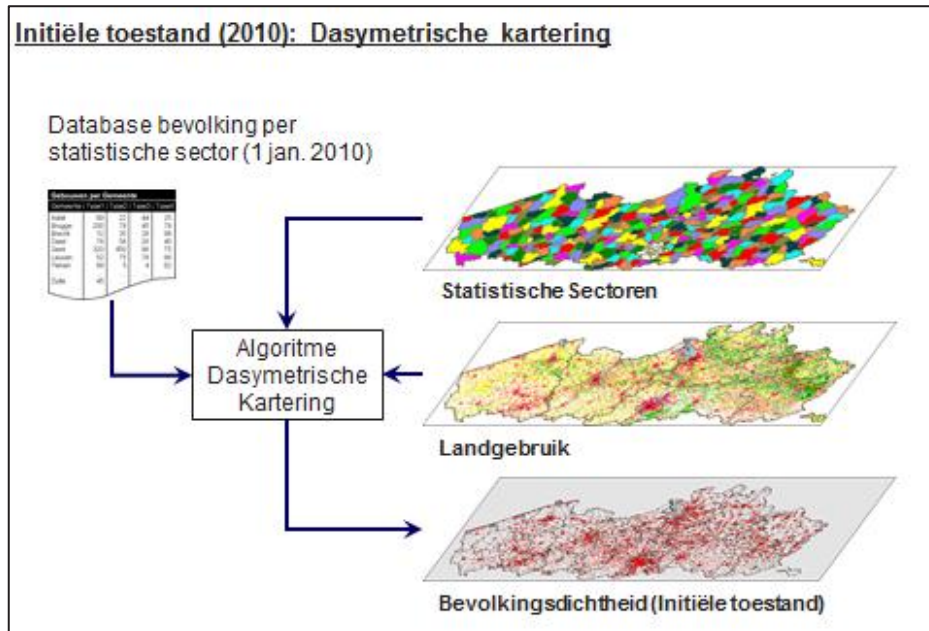
Figuur 7.3: Evolutie van het aantal 0-14 jarigen tussen 2013 en 2060 per arrondissement (2013 = referentiejaar)

7.1.2. DE INDICATOR WOONDICHTHEID EN KINDERENDICHTHEID

In het RuimteModel Vlaanderen kan naast het veranderende landgebruik voor de verschillende scenario's ook nog een groot aantal afgeleide indicatoren berekend worden. Specifiek voor deze studie gaat het om woondichtheid en kinderendichtheid. In dit onderdeel wordt verduidelijkt hoe deze indicator technisch berekend wordt met het RuimteModel. Er is nood aan een goede startkaart voor het basisjaar van de simulatie en vervolgens is er o.a. nood aan bevolkingsprognoses per jaar per arrondissement. Wat kinderen betreft zijn er geen prognoses beschikbaar voor de vier Wereldbeelden. Daarom wordt de indicator kinderendichtheid enkel ontwikkeld voor het BAU-scenario.

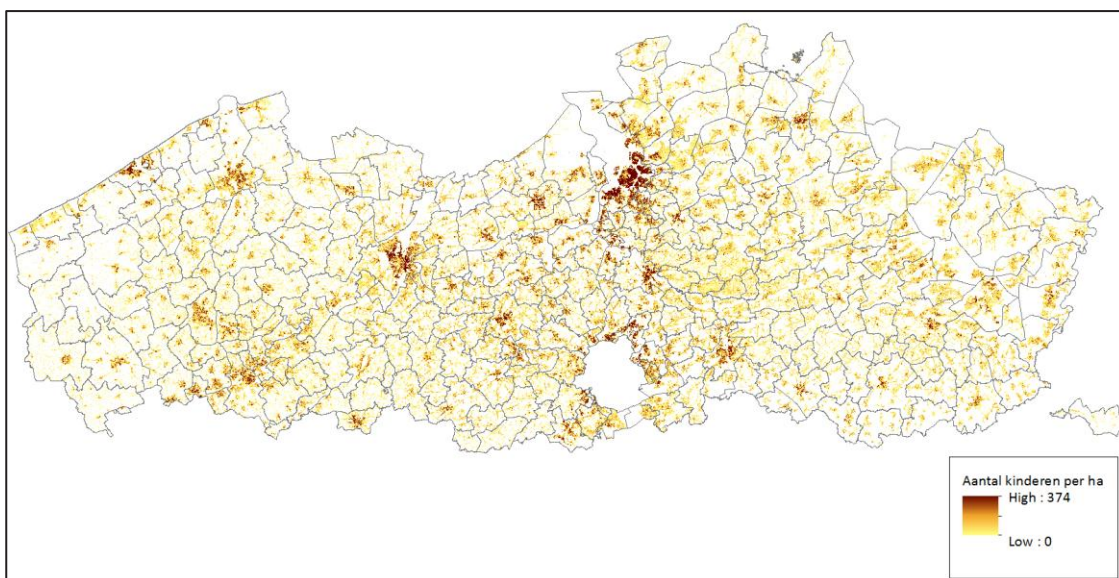
A) Startkaart

De woondichtheid voor het jaar 2010 werd reeds op kaart gezet in de studie Engelen et al. (2011). Hier werd een dasymetrische kartering uitgevoerd. Dit houdt in dat gebruik gemaakt wordt van de bevolkingsstatistiek per statistische sector en dat vervolgens binnen deze statistische sector het aantal mensen toegekend wordt aan woongebied. Dit woongebied wordt gedefinieerd door de VITO-landgebruikskaart van het jaar 2010.



Figuur 7.4: Methodologie van de berekening van de startkaart van de woondichtheid

De startkaart voor kinderendichtheid kwam tot stand door een verrastering naar hectarecellen van het puntenbestand van inwoners en kinderen, wat ook ingezet werd voor de blootstellingsberekeningen.



Figuur 7.5: Ruimtelijke spreiding van het aantal kinderen in Vlaanderen (2013)

B) Simulatie

Tijdens de simulatie met het RuimteModel wordt er voor elk jaar tussen 2010 en 2050 een nieuwe kaart met dichtheden berekend. Voor woondichtheid en kinderendichtheid wordt dezelfde methode gebruikt. Onderstaande stappen worden beschreven met woondichtheid als voorbeeld. De berekeningen verlopen in twee stappen.

Stap 1: Ruwe allocatie

Voor elke jaarlijkse stap wordt voor elke cel nagekeken wat het nieuwe landgebruik is dat berekend wordt. Afhankelijk van het feit of de rastercel een residentieel karakter had in het verleden (en dus een bepaalde woondichtheid had), in het nieuwe jaar residentieel landgebruik krijgt toegewezen of een ander landgebruik kent, wordt een bepaalde woondichtheid toegekend aan die cel. Rastercellen die voor de eerste keer bewoond worden (zie derde rij in onderstaande tabel), krijgen een woondichtheid gebaseerd op de mediaanwaarde van de woondichtheid in de omgeving met een zoekstraal van 300m. Zie onderstaande tabel voor meer details.

Cel in landgebruikskaart	Cel in woondichtheidskaart	Actie
Geen residentieel landgebruik	Woondichtheid = 0	Geen actie
Geen residentieel landgebruik	Woondichtheid > 0	Woondichtheid wordt 0
Residentieel landgebruik	Woondichtheid = 0	Woondichtheid wordt mediaanwaarde van de woondichtheid in omgeving met zoekstraal 300m*
Residentieel landgebruik	Woondichtheid > 0	Geen actie

** Indien er geen cellen van het juiste type binnen een straal van 300m voorkomen, wordt de gemiddelde dichtheid van het arrondissement toegepast.*

Stap 2: fijnstelling

Voor iedere tijdsstap worden de woondichtheden per cel uit de Stap 1 vervolgens herschaald zodat de som van de bevolking in alle residentiële cellen van een arrondissement gelijk is aan de totale bevolkingssom van het arrondissement, zoals berekend op het regionale niveau van het RuimteModel. Het tekort (of teveel) aan bevolking wordt daarbij, proportioneel aan de bevolking per cel, toegevoegd (of weggehaald) bij alle residentiële cellen in elk arrondissement.

Een simulatie van het aantal kinderen tot 2050 was enkel mogelijk voor het BAU-scenario, aangezien hier groeicijfers van het Federaal Planbureau en de FOD Economie (ADSEI) ingezet konden worden. Er werd vertrokken van de startkaart, berekend naar analogie met de totale bevolking, maar deze werd enkel gebruikt om het spreidingspatroon van de kinderen af te leiden. Voor de evolutie van de absolute aantallen werd het aandeel 0-14 jarigen per arrondissement en per jaar als een extern gegeven ingevoerd in het RuimteModel.

7.2. RESULTATEN

7.2.1. GEPLANDE KABELS EN LUCHTLIJNEN (ELIA)

Zoals reeds aangegeven wordt er gerekend met een conservatieve variant (situatie anno 2013 blijft ongewijzigd tot 2050) en met een variant 'gepland' waarbij de geplande luchtlijnen en kabels realiteit zijn vanaf 2030. Elia stelde een GIS-bestand ter beschikking met daarin ook de geplande luchtlijnen en kabels. Maar er is geen info beschikbaar over de datum waarop de geplande lijnen

en kabels in bedrijf genomen worden. Daarom wordt verondersteld dat ze actief worden vanaf 2030. Tabel 7.1 beschrijft de lengte van de actuele en geplande luchtlijnen en ondergrondse kabels. Wanneer twee lijnen zich vlak naast mekaar bevinden, wordt de lengte in onderstaande tabel toch individueel meegenomen. Daarom kan deze lengte afwijken van de geografische lengte die beschreven wordt in HOOFDSTUK 2.

Tabel 7.1: Lengte van de actuele en geplande luchtlijnen en ondergrondse kabels.

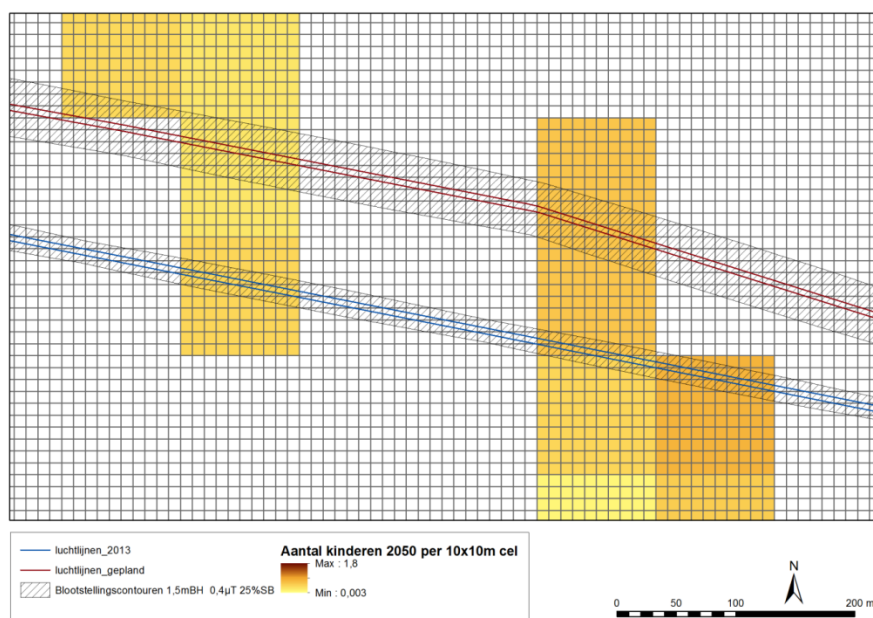
Lengte (km)	Luchtlijnen		Ondergrondse kabels	
	Situatie 2013	Gepland	Situatie 2013	Gepland
36kV	89	0	1.585	0
70kV	1.747	1	217	7
150kV	2.407	9	293	17
380kV	736	135	0	39

7.2.2. BEREKENING BLOOTSTELLING

In wat volgt wordt het magnetisch veld rond bovenstaande kabels en luchtlijnen gesimuleerd voor een magnetische veldsterkte van $0,4\mu\text{T}$ op een blootstellingshoogte van 1,5m. Typisch worden de modellen doorgerekend voor een stroombelasting van 25% (doorgaans de realiteit), maar er werd ook een 50% scenario doorgerekend.

Voor het berekenen van de blootstelling werd een andere methode gebruikt dan voor de blootstellingsberekeningen uit HOOFDSTUK 4, HOOFDSTUK 5 en HOOFDSTUK 6 omdat het aantal inwoners nu beschikbaar is op een rasterkaart. Dit vergt een andere koppeling met de blootstellingscontouren dan de typische gebouwendataset uit onderdeel 4.1. Het aantal inwoners beschikbaar per hectarecel werd omgerekend naar het aantal inwoners per arecel om voldoende nauwkeurigheid in rekening te kunnen brengen. De methode waarbij een cel enkel in rekening wordt gebracht wanneer het middelpunt van zijn cel zich in de contour bevindt, zou voor de hectarekaarten geen correct beeld geven. Onderstaande figuur illustreert deze overlay-operatie waarbij de kaart met kinderendichtheid vertaald is naar een resolutie van $10 \times 10\text{m}$.

Een ander verschil met de blootstellingsberekeningen uit HOOFDSTUK 6 is dat er geen 3D-component in rekening wordt gebracht, omdat er geen info over is. Er wordt dus uitgegaan van de veronderstelling dat alle inwoners en kinderen zich op de gelijkvloerse verdieping bevinden.



Figuur 7.6: Berekening van het aantal blootgestelde kinderen binnen een contour rond actuele en geplande luchtlijnen

7.2.3. VOOR HET BAU-SCENARIO

De blootstellingscontouren werden berekend voor een magnetische veldsterkte van $0,4 \mu\text{T}$ en een blootstellingshoogte van 1,5m. Voor de stroombelasting (SB) werden twee versies gebruikt: 25% en 50%. Naar ontwikkeling van nieuwe kabels tussen 2013-2050 toe werden ook de twee opties onderzocht: de 'conservatieve' en de 'geplande'.

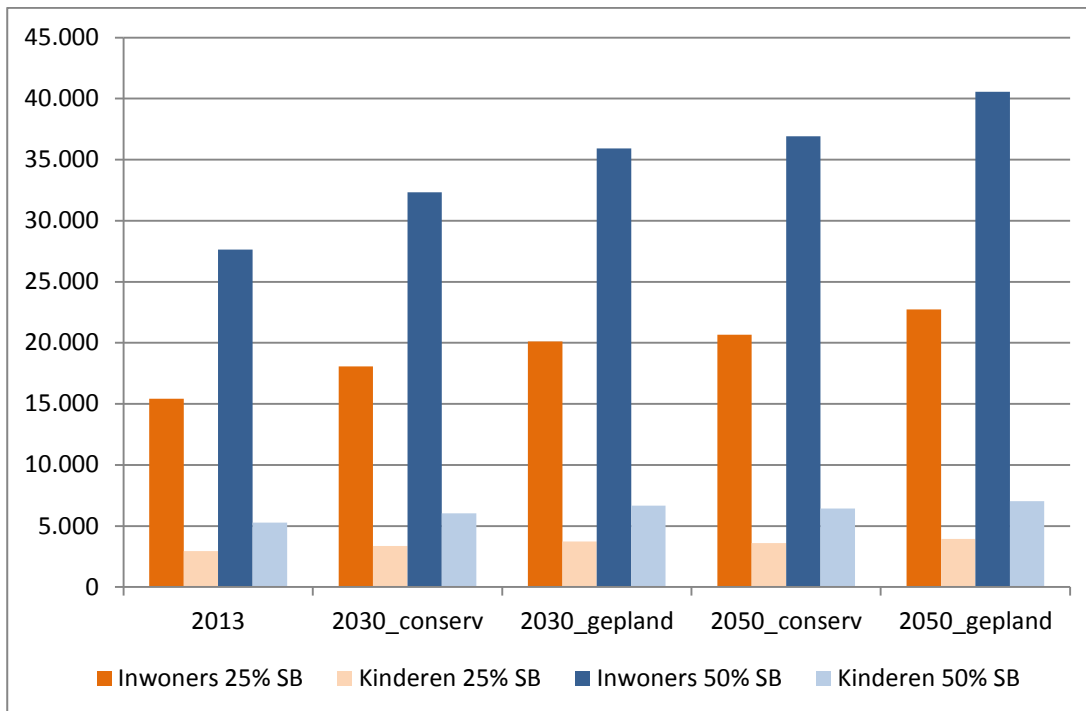
Voor al deze mogelijkheden werd het aantal blootgestelde inwoners en het aantal blootgestelde kinderen berekend en ook de verhouding ten opzichte van de totale bevolking en het totaal aantal kinderen in dat zichtjaar.

BAU - Aanne: gepland kabelbestand is realiteit vanaf 2030

Zichtjaar	25% SB				50% SB			
	Inwoners	Aandeel	Kinderen	Aandeel	Inwoners	Aandeel	Kinderen	Aandeel
2013	15.410	0,24%	2.938	0,29%	27.638	0,43%	5.288	0,51%
2030	20.107	0,30%	3.728	0,34%	35.929	0,53%	6.675	0,61%
2050	22.728	0,33%	3.937	0,36%	40.551	0,58%	7.043	0,64%

BAU - Aanne: kabelbestand 2013 wordt niet gewijzigd naar 2050 toe

Zichtjaar	25% SB				50% SB			
	Inwoners	Aandeel	Kinderen	Aandeel	Inwoners	Aandeel	Kinderen	Aandeel
2013	15.410	0,24%	2.938	0,29%	27.638	0,43%	5.288	0,51%
2030	18.069	0,27%	3.371	0,31%	32.323	0,47%	6.043	0,55%
2050	20.675	0,30%	3.587	0,33%	36.905	0,53%	6.428	0,59%



Figuur 7.7: Aantal blootgestelde inwoners en kinderen voor de zichtjaren 2013, 2030 en 2050 volgens het BAU-scenario (magnetisch veld van 0,4 μ T op een blootstellingshoogte van 1,5m)

* conserv: kabelbestand 2013 wordt niet gewijzigd naar 2050 toe

* gepland: gepland kabelbestand is realiteit vanaf 2030

Uit bovenstaande gegevens blijkt dat het aantal inwoners en kinderen dat blootgesteld wordt aan een magnetisch veld van meer dan 0,4 μ T lager is dan 1%. Wanneer de geplande kabels en luchtlijnen ook effectief in werking zullen treden, dan zal het blootgesteld aandeel lichtjes stijgen (350 kinderen extra in 2050 voor SB 25%). Voor de optie SB 25% en geplande kabels realiteit vanaf 2030 ligt de blootstelling zelfs onder de 0,5%. Dit aandeel is laag, maar het neemt niet weg dat er zich lokaal wel belangrijke blootstellingsproblemen kunnen voordoen. Bij de interpretatie van de cijfers moet echter ook rekening gehouden worden met het feit dat er bij de ruimtelijke spreiding van de inwoners en kinderen volgens de verschillende scenario's geen rekening wordt gehouden met een 3D-component. Met andere woorden bevinden alle inwoners en kinderen zich op de gelijkvloerse verdieping. Voor de berekening van het magnetisch veld op een blootstellingshoogte van 1,5m geeft dit bijgevolg aanleiding tot een worst case inschatting van het aantal blootgestellten, zowel ten aanzien van de kabels als ten aanzien van de luchtlijnen.

7.2.4. VOOR DE VIER WERELDBEELDEN

Zoals hierboven beschreven zal voor de vier Wereldbeelden enkel de blootstelling van de totale bevolking onderzocht worden. Het was in dit project niet mogelijk om de vier Wereldbeelden specifiek voor de ruimtelijke spreiding van kinderen uit te werken.

Voor de vier Wereldbeelden werden dezelfde combinaties van berekeningen uitgevoerd als bij het BAU-scenario, maar dan enkel voor het totaal aantal inwoners.

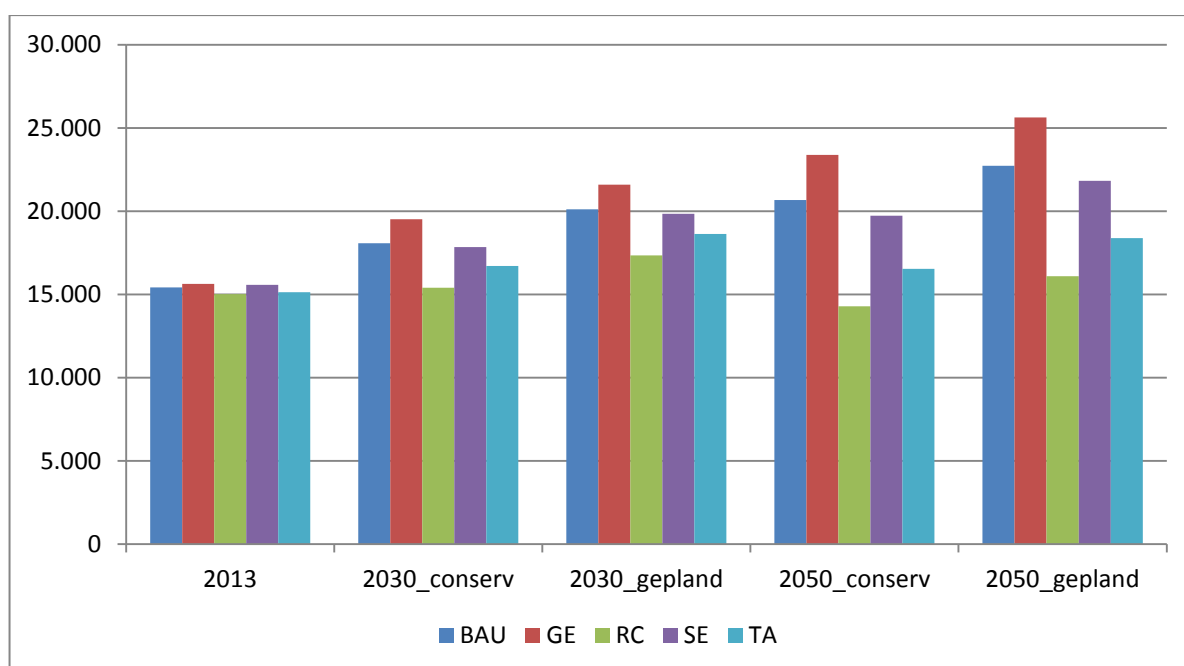
Tabel 7.2: Aantal blootgestelde inwoners (in absolute en relatieve cijfers) aan een magnetisch veld van 0,4μT op een blootstellingshoogte van 1,5m voor de verschillende scenario's.

Aanname: gepland kabelbestand is realiteit vanaf 2030

	Zichtjaar	BAU		GE		RC		SE		TA	
		Abs	Rel	Abs	Rel	Abs	Rel	Abs	Rel	Abs	Rel
25%SB	2013	15.410	0,24%	15.629	0,25%	15.008	0,24%	15.576	0,25%	15.129	0,24%
	2030	20.107	0,30%	21.580	0,31%	17.347	0,28%	19.844	0,29%	18.628	0,29%
	2050	22.728	0,33%	25.618	0,34%	16.087	0,28%	21.828	0,30%	18.380	0,30%
50%SB	2013	27.638	0,43%	27.990	0,44%	26.927	0,43%	27.924	0,44%	27.145	0,43%
	2030	35.929	0,53%	38.491	0,56%	31.066	0,50%	35.555	0,53%	33.379	0,52%
	2050	40.551	0,58%	45.685	0,60%	28.895	0,50%	39.055	0,54%	32.933	0,53%

Aanname: kabelbestand 2013 wordt niet gewijzigd naar 2050 toe

	Zichtjaar	BAU		GE		RC		SE		TA	
		Abs	Rel	Abs	Rel	Abs	Rel	Abs	Rel	Abs	Rel
25%SB	2013	15.410	0,24%	15.629	0,25%	15.008	0,24%	15.576	0,25%	15.129	0,24%
	2030	18.069	0,27%	19.513	0,28%	15.394	0,25%	17.848	0,26%	16.714	0,26%
	2050	20.675	0,30%	23.385	0,31%	14.294	0,25%	19.727	0,27%	16.532	0,27%
50%SB	2013	27.638	0,43%	27.990	0,44%	26.927	0,43%	27.924	0,44%	27.145	0,43%
	2030	32.323	0,47%	34.839	0,50%	27.582	0,44%	31.982	0,47%	29.941	0,47%
	2050	36.905	0,53%	41.734	0,55%	25.668	0,45%	35.296	0,49%	29.624	0,48%



Figuur 7.8: Aantal blootgestelde inwoners aan een magnetisch veld van 0,4μT voor een blootstellingshoogte van 1,5m en een stroombelasting van 25%

* conserv: kabelbestand 2013 wordt niet gewijzigd naar 2050 toe

* gepland: gepland kabelbestand is realiteit vanaf 2030

Zoals hierboven aangehaald, zal de ruimtelijke spreiding van het aantal inwoners volgens de vier Wereldbeelden behoorlijk van mekaar verschillen. Niet alleen gaan ze zich op een verschillende manier lokaliseren in de ruimte, ook de totale groeicijfers van de bevolking verschillen per Wereldbeeld (zie beschrijving deel 7.1.1). Voor de versie SB 25% en geplande kabels realiteit vanaf 2030 wordt er volgens de vier Wereldbeelden telkens 0,3% van de bevolking blootgesteld. Aangezien de ruimtelijke spreiding tussen de verschillende Wereldbeelden behoorlijk van mekaar verschilt, kan het hier wel telkens gaan om andere mensen. Het absoluut aantal mensen varieert tussen 16.087 (Regionale Gemeenschappen) en 25.618 (Globale Economie) voor het zichtjaar 2050, afhankelijk van het gekozen wereldbeeld. De afname van de bevolking voor het wereldbeeld Regionale Gemeenschappen vanaf 2020 komt ook tot uiting in het aantal blootgestelde mensen.

7.2.5. VERGELIJKING MET DE GLOBALE ONTWIKKELING

In dit onderdeel wordt onderzocht hoe de ontwikkeling van de bevolking in de buurt van de kabels en luchtlijnen zich verhoudt tot de globale ontwikkeling van de bevolking in Vlaanderen. Tabel 7.3 geeft de resultaten weer. Hieruit blijkt dat er zich in de toekomst stelselmatig meer mensen in de omgeving van luchtlijnen en kabels gaan lokaliseren dan wat gemiddeld voor heel Vlaanderen wordt waargenomen. Zo neemt het totaal aantal kinderen in Vlaanderen toe met 7% tussen 2013 en 2050, maar het aantal kinderen dat blootgesteld wordt aan magnetische straling afkomstig van kabels en luchtlijnen neemt in diezelfde periode toe met 34%. Ook zijn er sterke verschillen te merken tussen de verschillende scenario's. In het Wereldbeeld Globale Economie (GE), die de grootste bevolkingsgroei kent van alle scenario's (19% erbij naar 2050 toe), neemt het aantal blootgestelden zelfs toe met 64%. In het Wereldbeeld Regionale Gemeenschappen (RC) wordt een afname van de bevolking verwacht (9% minder). Het aantal blootgestelden in dit Wereldbeeld stijgt naar 2050 toe echter nog met 7%. Dit houdt verband met de typische lokalisatievoorkeuren die eigen zijn aan de verschillende Wereldbeelden (zie 7.1.1). Hieruit kan afgeleid worden of het al dan niet meer gespreid gaan wonen van de bevolking in de toekomst goed zal zijn voor de bevolking. Kennis uit dit onderzoek betekent dus een belangrijke invoer voor het ruimtelijk beleid en het ruimtelijke ordeningsbeleid in het bijzonder. Er kan dus vooraf beter een analyse gebeuren van de toestand met betrekking tot de magnetische straling vooraleer nieuwe gebieden worden toegewezen voor de meest gevoelige functies in de ruimte, te weten: scholen, kinderopvang, ziekenhuizen, ... en wonen.

Tabel 7.3: Ontwikkeling van het aantal blootgestelden en de totale bevolking in de periode 2013-2050

	Kinderen	Totale bevolking				
Totaal	<i>BAU</i>	<i>BAU</i>	<i>SE</i>	<i>GE</i>	<i>RC</i>	<i>TA</i>
Ontwikkeling 2013 - 2030	107%	107%	107%	109%	99%	102%
Ontwikkeling 2030 - 2050	100%	102%	107%	109%	92%	97%
Ontwikkeling 2013-2050	107%	109%	115%	119%	91%	99%

	Kinderen	Totale bevolking				
Blootgesteld	<i>BAU</i>	<i>BAU</i>	<i>SE</i>	<i>GE</i>	<i>RC</i>	<i>TA</i>
Ontwikkeling 2013 - 2030	127%	130%	127%	138%	116%	123%
Ontwikkeling 2030 - 2050	106%	113%	110%	119%	93%	99%
Ontwikkeling 2013-2050	134%	147%	140%	164%	107%	121%

HOOFDSTUK 8. BESLUIT

In deze studie is de blootstelling van de Vlaamse bevolking aan ELF-straling onderzocht op een systematische wijze. Er is gestreefd om alle belangrijke bronnen in de berekeningen te betrekken zoals geadviseerd werd in het consultatietraject ELF. Tezelfdertijd is ook zo nauwkeurig mogelijk de blootstelling berekend van de bevolking en de kinderen op zoveel mogelijk van de gevoelige locaties waar ze verblijven.

Ofschoon de studie de ambitie had om ook de blootstelling aan magnetische straling veroorzaakt door transformatiecabines in beeld te brengen is ze daar maar gedeeltelijk in geslaagd. De locaties van de cabines in beheer van de netbeheerders (+/- 40.000) konden niet ter beschikking worden gesteld. Bovendien zijn er een bijkomend aantal transformatiecabines in privé bezit. Hiervan zijn geen systematische overzichten beschikbaar. Maar, het resulterende model is geschikt om de straling en de blootstelling veroorzaakt door cabines door te cijferen zodra de noodzakelijke data m.b.t. de lokalisatie beschikbaar komen.

We besluiten uit de studie dat 103km² of 0,7% van het Vlaamse grondgebied op 1,5m hoogte wordt bedekt met een B-veld met een sterkte groter dan 0,4 μ T, bij een veronderstelling van een stroombelasting van 50%. Dit veld wordt voor 96% veroorzaakt door luchtlijnen, waarbij het veld tot 37m horizontale afstand van de bron een sterkte van 0,4 μ T bereikt. Ondergrondse kabels en transformatiesites zijn verantwoordelijk voor respectievelijk 3,8 en 0,01% van het veld. Volgens een “worst case” berekening worden binnen dit B-veld 15.996 huishoudens met 7.620 kinderen in hun woning blootgesteld aan deze straling. Ook 66 scholen, 103 kinderopvangcentra en 5 zorgcentra worden aan dit magnetisch veld blootgesteld. In deze cijfers wordt de blootstelling afkomstig van transformatiecabines dus niet in rekening gebracht.

Het ontwikkelde rekenmodel brengt in een operationeel instrument een belangrijke hoeveelheid materiaal samen dat relevant is voor een beter inzicht in de blootstelling aan ELF-straling van de Vlaamse bevolking. Het is een gebruiksvriendelijk, flexibel instrument dat toelaat om de blootstelling aan magnetische straling in kaart te brengen. Het levert antwoorden op gerichte vragen en bezorgdheden, al dan niet geuit door bezorgde inwoners van Vlaanderen, en, biedt ondersteuning van de overheid in de vorming van het beleid. Het is tenslotte gemakkelijk te vernieuwen en verder uit te bouwen door de overheidsdiensten begaan met het probleem. Het model rekent met een groot aantal parameters die allemaal individueel aangepast kunnen worden. Een aantal parameters zijn aanwezig in de attributentabel van de data en andere kunnen gekozen worden bij het instellen van het rekenmodel. Het gaat hier bijvoorbeeld om de blootstellingshoogte, de magnetische veldsterkte en de mate van stroombelasting. Beiden kunnen dus flexibel ingesteld worden, waardoor het aantal te onderzoeken scenario's onbeperkt is. Zo kan bijvoorbeeld de minimale hoogte of diepte van respectievelijk luchtlijnen en ondergrondse kabels aangepast worden om het effect hiervan op de grootte van het magnetische veld en het aantal blootgestelde personen te verkennen. Dit kan uitgewerkt worden voor één concrete luchtlijn (bv. wat is het effect wanneer deze ondergronds wordt geplaatst), maar ook voor alle luchtlijnen tegelijk. Andere mogelijkheden zijn het ondergronds brengen van alle of specifieke luchtlijnen of het aanpassen van de nominale stroom van geleiders. De relevante parameters waarvoor scenario's opgesteld kunnen worden, kunnen geraadpleegd worden in de rekenformules beschreven in hoofdstuk 5.

Bij het interpreteren van de resultaten moeten een aantal randvoorwaarden in acht worden genomen:

- Dit rekenmodel is gebaseerd op de meest geavanceerde GIS (Geografische Informatiesystemen) technologie en data die ervoor momenteel beschikbaar zijn in Vlaanderen. Deze technologie en data hebben een revolutie doorgemaakt in de laatste decennia, waardoor analyses op het niveau van detail waarvan sprake in dit model technisch mogelijk zijn. Maar, een omzichtige interpretatie van de resultaten is absoluut noodzakelijk onder meer omdat:
 - o Voor de lokalisatie van ondergrondse kabels, luchtlijnen, sites en cabines is het model afhankelijk van het materiaal aangeleverd door de netwerkbeheerders (Elia, Eandis, Infrax). De nauwkeurigheid van deze inputdata is voor verbetering vatbaar. Dit geldt bijvoorbeeld voor de ligging van de ondergrondse kabels. Aangezien de magnetische veldsterkte enkel hoger dan 0,4 μT is op een afstand van enkele (tientallen) meters van de bron, is een nauwkeurige ligging uitermate belangrijk. De netbeheerders zijn zich hiervan bewust en werken aan het probleem. Naar de toekomst is hier dus verbetering te verwachten.
 - o Voor het lokaliseren van inwoners, scholen, kinderopvang, ziekenhuizen enz. geldt zo mogelijk nog een groter probleem van nauwkeurigheid. Hier werd vaak gestart van een adres. Er is dus een geocodering en een extra vertaalslag nodig om het adres te koppelen aan het juiste perceel en vervolgens aan het gebouw op het perceel. Er wordt, ook binnen de Vlaamse Overheid, gewerkt aan een verbetering van de geocoderingstool. Dus ook op dit vlak is er nog optimalisatie te verwachten bij elke update van het model.
- Interferentie van velden wordt niet in rekening gebracht. Wanneer twee bronnen naast mekaar voorkomen, gaan we uit van het maximale veld om de blootstelling te berekenen. De effectieve veldsterkte kan op die plaats dus groter zijn indien beide velden mekaar versterken, maar, ze kan ook kleiner zijn indien de velden elkaar deels teniet doen.

Het model is daarom vooral in te zetten als een analytisch en systematisch instrument met een knipperlichtfunctie.

We hebben bijgevolg ook een aantal aanbevelingen voor verder onderzoek:

- De flexibiliteit kan nog vergroot worden wanneer de rekenformules met extra termen worden uitgebreid en meer parameters krijgen. Zeker voor cabines en transformatiesites is hier nog ruimte voor verbetering. Maar dit zal een meer uitgebreide meetcampagne vergen, aangezien zeker voor transformatiesites het heel moeilijk is om de invloed van andere bronnen uit te sluiten. We denken hier eerder aan een theoretische opstelling om modellen te kunnen opstellen en valideren.
- Het inschatten van de blootstelling ten aanzien van het magnetisch inductieveld veroorzaakt door cabines was in voorliggende studie enkel mogelijk voor individuele cabines. De totale blootstelling voor Vlaanderen kon niet berekend worden omdat er geen kennis was over de ligging van alle cabines in Vlaanderen. Er zou echter wel een piste uitgewerkt kunnen worden om op basis van de gekende blootstelling voor de steekproefgebieden van Eandis/Infrax extrapolaties te doen voor gans Vlaanderen op basis van typische omgevingskenmerken.
- Bij de berekening van de hoogte van de luchtlijnen is nog optimalisatie mogelijk door de effectieve topografie op het terrein in rekening te brengen. Nu wordt in de berekeningen uitgegaan van een vlak terrein. Voor het vlakke Vlaanderen is dit algemeen een kleiner probleem, maar, er zijn specifieke locaties waar dit wel een aandachtspunt is.
- Er kan onderzocht worden of het mogelijk is om interferentie in het blootstellingsmodel mee te nemen. Dit vergt bijkomende informatie van de netbeheerders.

- Blootstelling onderzoeken voor nieuwe groepen, zoals voor de actieve bevolking.
- Blootstelling berekenen op basis van het dagkalender van het individu. Momenteel wordt abstractie gemaakt van de tijdscomponent en wordt verondersteld dat de risicogroepen 7 dagen in de week en 24 uur per dag op de plek verblijven waaraan ze toegewezen zijn. Een correcte toevoeging van een tijdsdimensie vergt een grotere hoeveelheid data en bovendien veronderstellingen over de locaties waar individuen zich begeven gedurende de dag. Dit is een complexe materie. Er kan nagegaan worden in welke mate vereenvoudigde benaderingen voldoen voor het doel.
- De evolutie van het aantal kinderen voor meer scenario's onderzoeken (bijvoorbeeld voor de vier Wereldbeelden)
- De beschikbaarheid van betere data zal op niet al te lange termijn een herziening van de methodologie mogelijk, maar ook noodzakelijk maken. Verwacht mag worden dat elke 5 jaar flinke vooruitgang geboekt kan worden in deze materie.

HOOFDSTUK 9. BELEIDSAANBEVELINGEN

9.1. LUCHTLIJNEN EN ONDERGRONDSE KABELS

Voor de beleidsaanbevelingen rond luchtlijnen en ondergrondse kabels baseren we ons op het MIRA-rapport van Decat et al. (2003) 'Tijdsreeks en GIS-model om de blootstelling van de bevolking aan het 50 Hz magnetisch veld gegenereerd door bovengrondse hoogspanningslijnen in Vlaanderen in kaart te brengen' en het MIRA-rapport van Decat et al. (2007) 'Modelleren 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.'

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).

Uit de huidige studie blijkt eveneens de veel kleinere risicocorridors van de ondergrondse kabels ten opzichte van de luchtlijnen. Wat de gevolgen zijn naar blootstelling toe wanneer alle luchtlijnen ondergronds gebracht worden, kan bekeken worden in deel 6.3.

9.2. SITES

Dit is gebaseerd op het deelrapport van Decat (2013) 'Meten en modelleren van het 50 Hz magnetisch inductieveld in hoogspanningsstations.' (zie bijlage E)

In het kader van het voorzorgsprincipe wordt aangeraden om bij open stations die zich binnen een straal van 50 meter van woningen, scholen of kinderverblijven bevinden te verifiëren hoe ver de sterke veldproducerende bronnen van het station zich van kinderverblijfplaatsen bevinden. Uit de resultaten van de modellen werd ook besloten dat dergelijke verblijfplaatsen best buiten een straal van 35 m van inductiespoelen staan om alzo buiten de blootstellingszones van 0,4 μ T te staan.

In verband met de gesloten stations wordt daarom aanbevolen om navraag te doen of er dezelfde spanningstransformaties plaatsvinden als in de open stations enerzijds en te controleren hoe ver de sterke veldproducerende bronnen in het station verwijderd zijn van verblijfplaatsen van kinderen. Indien dergelijke kinderverblijfplaatsen binnen een straal van 0,4 μ T liggen zou de beste manier moeten onderzocht worden om het B-veld aan de bron te verzwakken tot de blootstelling in die kinderverblijfplaatsen tenminste zwakker is dan 0,4 μ T.

9.3. CABINES

Dit is gebaseerd op het deelrapport van Decat (2014) 'Meten en modelleren van het 50 Hz magnetisch inductieveld van hoogspanningscabines' (zie bijlage D).

Voor alleenstaande buitencabines waar de veldsterkte bij een afstand van 5 m meestal kleiner is dan $0,4 \mu\text{T}$ worden er geen aanbevelingen gedaan. Een uitzondering hierop vormen speelpleinen van scholen waar aangeraden wordt om de kinderen veiligheidshalve op een afstand van 2 m te houden door het aanbrengen van bedrading of eventueel bloemenperken rond de cabines. De aanbevelingen die volgen zijn alleen bedoeld voor cabines waaraan voor, links, achter, rechts of boven een woning of appartement grenst.

Om in appartementen/woningen overschrijding van $10 \mu\text{T}$ interventiewaarde van de Vlaamse kwaliteitsnorm voor het binnenmilieu te vermijden, kunnen er aanbevelingen geformuleerd worden voor te bouwen HS-cabines:

- daar waar het kan vrijstaande cabines bouwen
- bij iedere bouwsituatie nagaan of actief en/of passief veldreducerende ingrepen al dan niet moeten toegepast worden
- voorzien dat bij boven aangrenzende appartementen de zolderingshoogte van de cabine tenminste 3 m en liefst 3,5 m bedraagt. Indien dit niet mogelijk is, kan het nodig zijn veldreducerende ingrepen te nemen.
- de belangrijkste stroombronnen (laagspanningsborden, primaire en secundaire kabels) zodanig in de cabine aanbrengen dat ze zo ver mogelijk van aangrenzende woningen liggen
- zorgen voor een bedrading/bekabeling met compensatiestroom

Ofschoon een woning waar de $0,4 \mu\text{T}$ drempel overschreden wordt niet als onbewoonbaar verklaard wordt, gelden hier vanuit het voorzorgsprincipe dezelfde regels als voor het vermijden van het overschrijden van de $10 \mu\text{T}$ drempel. Omdat de verdeling van het B-veld noch in de cabine noch in de woning die de cabine aan de boven- of de zijkant begrenst homogeen is (zie figuren 51 en 52) wordt op basis van de gesimuleerde resultaten aanbevolen om de verdeling van het B-veld te meten alvorens eventueel veldreducerende ingrepen uit te voeren.

9.4. BELEIDSONDERSTEUNEND INSTRUMENT

Voor het versterken van het beleidsondersteunend instrument dat uit dit project voortkomt is een meer intense vorm van samenwerking met de netbeheerders aangewezen. Met hen zijn betere afspraken te maken over de precieze inhoud van de data die nuttig en noodzakelijk zijn voor dit type onderzoek, en, hoe en wanneer die ter beschikking te stellen zijn. In de meest verregaande vorm van samenwerking kan men zich inbeelden dat blootstellingswaarden in real time berekend worden in functie van de technische beslissingen die genomen worden bij het transporteren en verdelen van de elektriciteit. Daarvoor is de integratie van het ontwikkelde model met het rekeninstrumentarium van de netbeheerders noodzakelijk. Zulke integratie biedt ongebreidelde mogelijkheden om de blootstelling in zijn details in kaart te brengen, en erg gerichte en gelokaliseerde maatregelen uit te voeren.

9.5. RUIMTELIJKE BELEID

Het model en het cartografische materiaal dat in dit project tot stand is gekomen, kan een belangrijke invoer zijn voor het ruimtelijke beleid en het beleid ruimtelijke ordening in het bijzonder. Vooral voor de inplanting van nieuwe woongebieden en voorzieningen voor kinderen en

andere kwetsbare bevolkingsgroepen is uit dit project bijzonder waardevol basismateriaal beschikbaar. De aanbeveling bestaat eruit om dit materiaal te delen met de administraties en diensten verantwoordelijk voor het ruimtelijke beleid op het Vlaamse, provinciale en gemeentelijke niveau opdat het in de ontwikkeling van plannen zijn gerechtvaardigde plek kan krijgen.

LITERATUURLIJST

Decat G., Peeters E., Smolders R. en Bossuyt M. (2003) Tijdsreeks en GIS-model om de blootstelling van de bevolking aan het 50 Hz magnetisch veld gegenereerd door bovengrondse hoogspanningslijnen in Vlaanderen in kaart brengen., Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA, MIRA/2003/05, VITO, 2003/IMS/R/117.

Decat G., Meynen G., Peeters E., Van Esch L., Deckx L. en Maris U. (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., Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA, MIRA/2007/07, VITO, 2007/IMS/R/426.

Elia, 2006. Standaardsilhouetten van metalen vakwerkmasten.

Elia, 2011. 0,4μT corridorbreedte van hoogspanningsverbindingen.

Engelbrecht C. en Lundquist J., 2011. Review of insulation coordination practices for ELIA's overhead transmission lines. Report R11-792-2011

Engelen G., Poelmans L., Uljee I., De Kok J.L. en Van Esch L. De Vlaamse Ruimte in 4 Wereldbeelden – Scenarioverkenning 2050 – Kwantitatieve Verwerking. Studie voor het Departement Ruimte Vlaanderen. VITO rapport 2011/RMA/R/363. Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek(VITO), Mol, Belgium, December 2011.

Van Esch L., Poelmans L., Engelen G. & Uljee I. (2011), Landgebruikskaart Vlaanderen en Brussel, studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA, MIRA/2011/09, VITO, 2011/RMA/R/272

BIJLAGE

BIJLAGE A

Tabel A.0.1: Karakteristieken van de lijngeleiders en overeenkomstige stromen (Elia, 2014).

Kabeltype	Spanning (kV)	Aantal segmenten	Nominale stroom	Opmerkingen
150 1x1200 AL EAOFP OFP	150	1	854	
150 1x500 CU EXeLW PRC	150	1	670	
150 1x800 AL EAXeLW PRC	150	1	766	
1x1000 AL PRC	70	1	891	
1x1000 CU	150	1	1186	
36 1x1000 AL	70	1	891	spanning niet consistent met
36 1x400 AL	36	1	891	
36 1x400 AL EAXeCW PRC	36	1	489	
36 3x300 CU	36	1	?	Nominale stroom niet
70 1x185 CU EIVB PAPIER	70	2	300	
ACCC 329 LISBON 1380A	150	102	1380	
ALAC 116	150	1	370	
ALAC 129	70	404	407	
ALAC 136	70	56	410	
ALAC 154	70	482	387	
ALAC 157	36	42	450	
ALAC 210	70, 150	681	535	
ALAC 228	70	43	519	
ALAC 248	150	256	592	
ALAC 298	70, 150	1691	664	
ALAC 445	70, 150	734	855	
ALAC 455	150, 380	6	855	
ALAC 617	150	271	1057	
ALDREY 265 (=AMS)	150	28	644	
ALDREY 319 (=AMS)	70	6	722	
AMS 117	70	102	387	
AMS 134	70	157	430	
AMS 148	70	49	448	
AMS 153	70	4	457	
AMS 210	70	231	557	
AMS 228	36	275	586	
AMS 248	70	332	617	
AMS 298	70, 150	565	692	
AMS 445	70, 150	2145	883	
AMS 446	150	17363	889	

AMS 460	380	5	890	
AMS 617	36, 70, 150, 380	769	1080	
AMS 620	150, 380	459	1093	
AMS 621	70, 150, 380	932	1093	
AMS 709	380	2	1186	
AMS 851	150	19	1329	
AMS 926	150	338	1402	
AMS-1Z 620	150, 380	70	1093	
AMS-1Z 621	150	12	1093	
AMS-2Z 242	70	2	596	
AMS-2Z 245	70	10	596	
AMS-2Z 298	150	6	683	
AMS-2Z 346	70, 150	168	743	
AMS-2Z 445	150	204	883	
AMS-2Z 446	150	9	889	
AMS-2Z 504	150	103	941	
AMS-2Z 505	150	72	941	
AMS-2Z 620	150	64	1093	
AMS-2Z 705	380	54	1159	
AMS-2Z 707	150, 380	248	1161	
AMS-3Z 926	150	38	1371	
AMS-3Z 928	150	20	1371	
AMS-AC 593	150, 380	268	1000	
AMS-AC 594	380	334	1000	
AMS-AC-Z 1640	150, 380	5	1780	
CU 105	70	733	487	
CU 120	70	521	519	
CU 154	70	397	611	
CU 210	150	14	753	
CU 230	150	3	?	Wordt normaal niet op lijnen gebruikt
CU 250	150	25	841	
CU 50	70	356	301	
CU 51	70	109	301	
CU 54	70	2536	322	
CU 70	70	162	365	
CU 95	70	139	453	

Tabel A.0.2: Karakteristieken van de ondergrondse kabelgeleiders en overeenkomstige stromen (Elia, 2014).

Kabeltype	Spanning (kV)	Voor- komen	Nominale stroom	Opmerkingen
150 1x1000 CU EXeLW PRC	150	24	1186	
150 1x1000 CU EXeLW PRC + FO	150	64	1186	
150 1x1000 CU FXBL PRC	150	1	1186	
150 1x1200 AL EAOF OFP	70, 150	33	854	70 kV: spanning niet consistent met kabeltype
150 1x2000 AL EAXLPE	150	25	1375	
150 1x2000 AL EAXeCeW PRC	150	23	1375	
150 1x2000 AL EAXeCeW PRC + FO	150	33	1375	
150 1x2000 AL EAXeLW PRC	150	24	1375	
150 1x2000 AL EAXeLW PRC + FO	150	4	1375	
150 1x240 CU EXeLW PRC	150	2	?	Niet gekend
150 1x2500 AL PRC	150	6	1389	
150 1x310 CU EOF OFP	150	10	610	
150 1x500 CU EXeLW PRC	150	13	670	
150 1x500 CU EXeLW PRC + FO	150	11	670	
150 1x550 CU EOF OFP	150	32	730	
150 1x560 SILYTHENE	150	2	?	Niet gekend
150 1x630 CU EXeLW PRC	150	8	895	
150 1x800 AL EAXeCeW PRC	150	11	800	
150 1x800 AL EAXeCeW PRC + FO	150	4	800	
150 1x800 AL EAXeLW PRC + FO	150	8	800	
150 1x800 CU EOF OFP	150	5	1000	
150 1x900 AL EAOF OFP	150	21	790	
1x1000 CU	150	1	1186	
1x185 AL PRC	36	2	?	Niet gekend
1x240 AL PRC	70	3	240	
1x400 AL PRC	36, 70, 150	8	515	
1x500 CU	36	2	670	
1x700 AL	36	4	?	Niet gekend
36 1x1200 AL	36	1	?	Niet gekend
36 1x240 AL	36	1	?	Niet gekend
36 1x240 AL PRC	36	106	420	
36 1x310 CU	36	1	610	
36 1x400 AL	36	11	585	
36 1x400 AL EAXeLW PRC	36	204	585	
36 1x400 CU EXeCW PRC	36	2	585	
36 1x400 CU PAP	36	2	585	
36 1x630 AL EAXeCW PRC	36	22	754	
36 1x630 CU EXeeW PRC	36	3	754	
36 3x120 CU EI3AVB (jute)	36	1	270	
36 3x150 AL	36	2	?	Niet gekend
36 3x150 CU EI3AVB	36	104	320	

36 3x150 CU EI3AVB (jute)	36	21	320	
36 3x185 CU EI3AVB	36	11	370	
36 3x240 CU EI3AVB	36	95	415	
36 3x240 CU EI3AVB (jute)	36	23	415	
36 3x120 CU EI3AVB (jute)	36	1	270	
36 3x240 CU EI3AVB (PVC)	36	1	415	
36 3x300 AL	36	1	?	Niet gekend
36 3x300 CU	36	6	?	Niet gekend
36 3x70 CU EI3AVB (jute)	36	3	195	
36 3x95 CU EI3AVB	36	25	240	
36 3x95 CU EI3AVB (jute)	36	8	240	
36 3x95 CU EI3AVB (PVC)	36	1	240	
36 1x400 AL EAXeCW PRC	36	8	489	
36 3x150 CU EI3AVB	36	12	320	
36 3x185 CU EI3AVB	36	4	370	
36 3x240 CU EI3AVB	36	10	415	
36 1x400 AL EAXeCW PRC	36	8	489	
36 3x150 CU EI3AVB	36	12	320	
70 1x1000 AL EAXeLW PRC	70	29	895	
70 1x1000 AL EAXeCeW PRC	70	4	895	
70 1x1000 AL EAXeCeW PRC + FO	70	4	895	
70 1x1000 AL EAXLPE + FO	70	1	895	
70 1x1000 AL SILYTHENE PE	70	2	895	
70 1x1300 AL SILYTHENE PE	70	1	895	
70 1x1400 AL SIPRELEC PRC	70	1	1270	
70 1x185 AL EIAWB PAPIER	70	2	240	
70 1x185 CU EIVB PAPIER	70	19	300	
70 1x185 CU EOF OFP	70	19	440	
70 1x240 AL PRC	70	2	-/-	
70 1x240 CU EXeLW PRC	70	10	540	
70 1x300 AL SILYTHENE PE	70	4	435	
70 1x360 AL PRC Silec	70	9	460	
70 1x400 AL PRC	70	3	560	
70 1x400 CU EXLW PRC	70	3	678	
70 1x630 AL EAIW PAPIER	70	12	525	
70 1x630 CU EXLW PRC	70	7	751	
70 1x630 CU EXeCeW PRC	70	2	751	
70 1x630 CU EXeLW PRC	70	102	751	
70 1x1000 AL EAXeLW PRC	70	4	895	
70 1x185 CU EIVB PAPIER	70	3	300	
ALAC 445	150	1	855	
ALAC 455	150	4	855	
AMS 620	150	1	1093	
AMS-2Z 505	150	1	941	

BIJLAGE B

*International Environmental Modelling and Software Society (iEMSS)
2012 International Congress on Environmental Modelling and Software
Managing Resources of a Limited Planet, Sixth Biennial Meeting, Leipzig, Germany
R. Seppelt, A.A. Voinov, S. Lange, D. Bankamp (Eds.)
<http://www.iemss.org/society/index.php/iemss-2012-proceedings>*

Spatial-dynamic visualization of long-term scenarios for demographic, social-economic and environmental change in Flanders

**Jean-Luc de Kok, Lien Poelmans, Guy Engelen,
Inge Uljee and Leen van Esch**

jeanluc.dekok@vito.be, lien.poelmans@vito.be, guy.engelen@vito.be,
inge.uljee@vito.be, leen.vanesch@vito.be

*Flemish Institute for Technological Research (VITO)
Boeretang 200 – 2400 Mol - Belgium*

Abstract: land-use change in Flanders is characterized by a rapidly growing proportion of the hard surfaced area with ongoing ribbon development and an increasing pressure on the remaining open space. The Spatially-Dynamic Land-Use Model for Flanders or RuimteModel Vlaanderen has been developed for the Flemish Ministry of the Environment and the Flemish Ministry of Spatial Planning and Housing to examine the underlying causes of spatial transformations at different scale levels. The model uses a constrained cellular automata approach, incorporating 35 residential, economic and natural land uses to describe the annual change of the land use in Flanders for the period 2010-2050. In a scenario exercise developed to support the formulation of the Spatial Policy Plan Flanders, the four scenarios developed as part of the Dutch WLO study for the Netherlands (www.welvaartenleefomgeving.nl) are applied to Flanders in an exercise involving stakeholders consultation, qualification and quantification. The integral consequences of four worldviews representing different demographic, social-economic and environmental developments in the world, Europe and Flanders are simulated with respect to the detailed spatial implications during the period 2010-2050. The presentation will focus on the steps taken to implement the scenarios into the RuimteModel and the qualitative evaluation of the model outcomes for the different scenarios.

Keywords: land-use change, scenarios, cellular automata

1 INTRODUCTION

During the last decades the geosciences and domain of spatial planning benefitted considerable from the development of Earth Observation and Geographical Information Systems using a high resolution. Different modelling approaches have been used to examine the social-economic and geophysical mechanisms underlying land-use change. Cellular Automata (CA) models have the advantage of being spatially explicit and process-based [Couclelis, 1988, White and Engelen, 1997] allowing for the high spatial resolution required for planning purposes and efficient computation of land use. The new state of the cells is calculated from the previous cell states in a restricted neighbourhood by means of local transition rules. The RuimteModel is a more advanced application of the MOLAND modelling framework [Engelen et al., 2007], an example of a hybrid CA model, and has been developed to support spatial planning in Flanders. The spatial dynamics are restricted by the physical, social-economic, infrastructural and policy conditions imposed at the regional and

global scale level [Engelen et al., 2007; Poelmans and Van Rompaey, 2010]. The RuimteModel is based on three hierarchically embedded levels: the *macroscopic, global level*, consisting of the combined Flemish and Brussels Regions, the *regional level* of 23 arrondissements (EU-NUTS3 entities), and the *local, cellular level* consisting of a matrix of individually modelled cells. The cell states represent the dominant land use at a 1 ha resolution and can be dynamic function states, non-dynamic feature states such as parks or vacant states such as unregistered agricultural land affected indirectly by the local dynamics. Based on the local interactions with neighbour cells, the physical suitability, administrative zoning and accessibility a transition potential is calculated for each of the cells in a function or vacant state. The land use class with the highest transition potential is assigned as new cell state. The latest version of the RuimteModel [Van Esch et al., 2011] uses a single-year time step and 35 different land-use classes, including residential land use and 12 economic activities. A typical simulation run requires 30 minutes on a standard desktop PC. In addition to the land use, a simulation results in a large number of environmental and economic spatial indicators which are all available as maps, and can be custom-defined. The Business-As-Usual (BAU) scenario of the RuimteModel [Engelen et al., 2011] describes the land-use change in Flanders between 2010 and 2050 and has been applied to support a cost-effectiveness study of flood risk mitigation measures [De Kok et al., 2011]. The population growth in this scenario is based on the long-term forecasts of the population size by age, gender at the EU-NUTS3 or arrondissement level [FPB/ADSEI, 2008]. The employment forecasts for each of the economic sectors in the period are based on an extrapolation of the development of the sector structure of the PLANET economic model [Desmet et al., 2008], the expected changes of the population age structure [FPB/ADSEI, 2008; Maene, 2011], and the labour participation rates by gender and EU-NUTS1 region [Pelfrene, 2005] while taking into account commuting to and from the Brussels Capital region. The WLO study [CPB-MNP-RPB, 2006] is a scenario exercise for the Netherlands which resulted in four world views, differing in terms of the demographic, social-economic, environmental and political developments from 2002 until 2040 with an intermediate state in 2020 (Figure 1).



Figure 1. The WLO worldviews [CPB-MNP-RPB, 2006]

The world view Strong Europe (SE) is based on effective European unification, strong regulation by the EU and lower administrations, and strong population growth as a result of economic migration. In the world view Global Economy (GE), on the contrary, the private initiative and individual freedom prevail, with limited administrative control and a very strong population growth and prosperity at the cost of social inequality. The world view Regional Communities (RC) is the opposite scenario with low economic growth, a loss of material wealth, and larger influence of local administrations as well as regional self-sufficiency. The Transatlantic Markets (TA) world view, finally, is comparable to the Global Economy world view but at the regional instead of the global scale, resulting in lower economic growth. Although the WLO study was developed for the Netherlands, the scenarios were considered to be applicable to Flanders as well because of the proximity, the social-economic similarities and confrontation with comparable demographic, economic challenges and developments at the EU and global scale [Kuhk et al., 2011]. Nevertheless, differences could be expected with respect to issues such as housing, water management, safety against flooding, agricultural policy and the residential patterns. Based on the 4 worldviews, the RuimteModel was recently used to develop four different spatial scenarios for the Flemish Policy Research Center of Spatial Planning and Housing to support the formulation of the new Spatial Masterplan Flanders (www.rsv.vlaanderen.be). The scenarios for Flanders are based on a combination of expert and

stakeholder consultations [Kuhk et al., 2011], and qualitative and quantitative interpretation and translation of the trends from the WLO scenario study. Furthermore, the WLO scenarios for the Netherlands are not spatially explicit and little detail is given about the spatial aspects of the envisaged developments. This implies certain adaptations were necessary for a spatial application in the Flemish context [Engelen et al., 2011].

2. SPATIAL-DYNAMIC APPLICATION OF THE WLO SCENARIOS TO FLANDERS

2.1 General methodology

The procedure started with the recalibration of the global sub model of the RuimteModel, followed by setting the relevant parameters for the regional and local sub model, taking the initial state for 2010 in the BAU scenario as starting point (Figure 2).

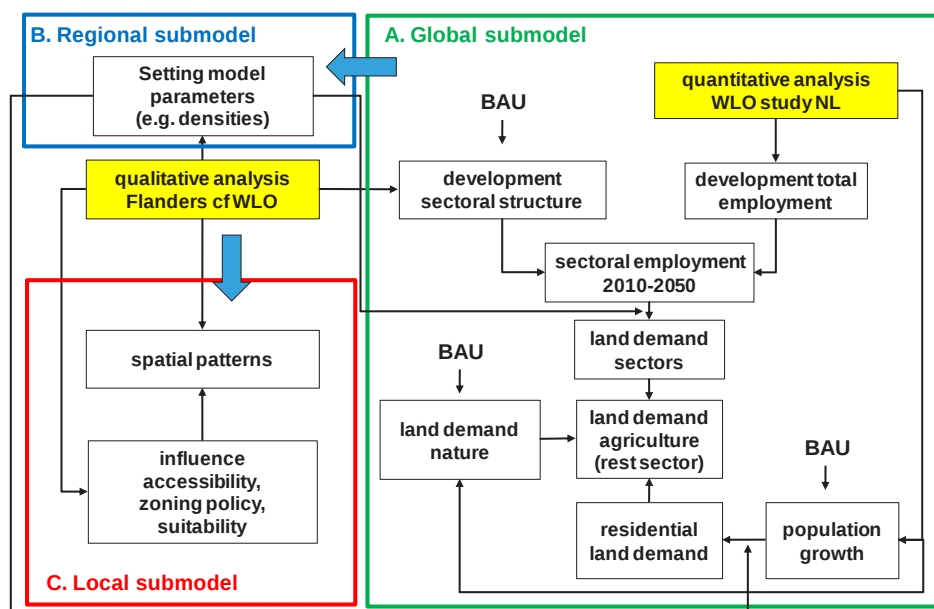


Figure 2. Methodology for spatial-dynamic application of the WLO world views [Engelen et al., 2011].

During the sessions with Flemish stakeholders and end users each WLO world view was described in terms of 88 qualitative indicators, which were screened for their relevance for the three levels of the RuimteModel for this exercise. The trend differences from the WLO scenario were used to adjust the model parameters for the population growth, development of employment and the demand for space by the natural and agricultural land use classes at the global level of the RuimteModel. Next, qualitative screening and sensitivity analyses were carried out to identify the most relevant model parameters at the regional level of the RuimteModel. Finally, at the local level, the transition rules, describing the spatial interactions between cells occupied by the various land uses, were recalibrated and the suitability maps, zoning maps and accessibility parameters, representing the heterogeneous character of the Flemish region, were updated to ensure the spatial patterns generated with the RuimteModel were sufficiently consistent with the differences in the descriptions for the WLO scenarios.

2.2 Global sub model

At the global level the parameters describing the population growth, total employment and land demand for nature and agriculture were to be adjusted for each of the world views. The different population growth rates of the four WLO worldviews were recalculated by a combination of inter- and extrapolation and then applied to the initial state for 2010 of the BAU scenario of the RuimteModel to

obtain the total population size for the years 2010-2050. The proportional distribution over the Flemish and Brussels capital region was obtained from the distribution in the BAU scenario. The procedure used to derive the employment figures was more complex. First, the WLO growth rates for the labour participation rate and size of the active population (age 15-64) were applied to the initial size of the active population in 2010. As for population size the total employment figures were proportionally distributed over the two regions. A semi-qualitative approach was used to allocate the employment figures to the different economic sectors in the RuimteModel, representing the differences in the economic sector structure for each of the world views. This, for example, resulted in a larger importance of services in the GE world view scenario compared to the other world views (Figure 3).

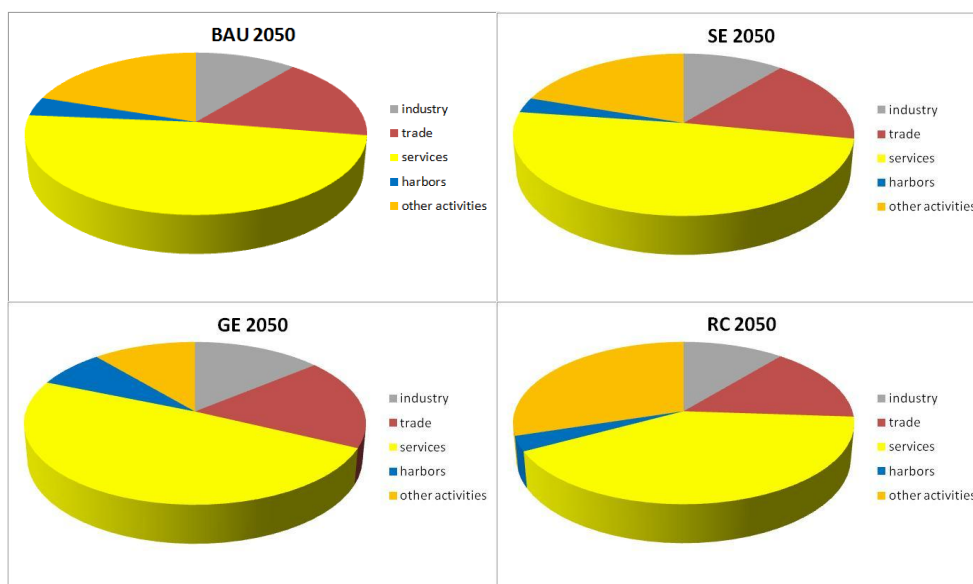


Figure 3. Differences in the aggregated sector structure for 2050 for three of the world views compared to the BAU scenario of the RuimteModel.

Finally, the more detailed distribution of the employment over the 12 economic sectors in the RuimteModel was obtained from the development of the economic sector structure in the BAU scenario for 2010-2050. Next, the land demand for natural land use classes had to be determined for each of the world views. The total land demand for nature was obtained first by applying the ratio of the land use for nature in the Netherlands in 2040 and the area in use in 2002 for each world view to the growth rates from the BAU scenario for 2010-2050. This area was then distributed over the different natural use classes based on assumptions reflecting the differences between the world views. For example, the forest area was assumed to grow by 50% in the SE world view as a result of a stricter implementation of EU regulations. Agriculture, finally, was considered to be a rest category. Hereto, the total area in use for residential land use, economic activities, nature and features such as parks, infrastructure etc. was calculated for each world view. The remaining area was distributed over five different agricultural land use types, based on assumptions reflecting the world views. An important distinction with respect to the Dutch WLO study was the fixation of proportion of area in use for grasslands in Flanders for the SE world view, in line with the EU regulations.

2.3 Regional sub model

The regional model settings for the BAU scenario had to be adapted in two respects: (i) the distribution of the population and employment over the 23 NUTS3 regions and (ii) the translation of these figures to the land demand. Both aspects of the regional sub model were considered to be susceptible for differences between the world views. Quantitative sensitivity analyses were carried out to identify the model parameters with the largest influence on the regional attractiveness. These parameters were then set to achieve a maximal difference between the world views in terms of the distribution of the population and employment growth over the 23 arrondissements, whereas the other parameters were fixed at the value of the BAU scenario. This resulted, for example, in a

proportionally large population growth in the central arrondissements such as Antwerp and Ghent for the SE and GE world view. Next, an iterative approach was used to estimate the appropriate value of the density parameters determining the translation of the population size and economic activities to the land demand for each of the world views. This resulted in a continued decline in the population density for the RC and TA world view, and a decline followed by an increase for the SE and GE world view.

2.4 Local sub model

The local sub model had to be readjusted for each of the world views. The 88 distinguishing characteristics were aggregated into 13 thematic, qualitative descriptions for each world view. The themes, ranging from demography, energy, and mobility to the use of open space, were screened for aspects which were relevant for the spatial patterns that could be used to support the calibration of the local sub model. Firstly, the zoning maps reflecting the institutional restrictions at the cell level were readjusted. For the SE and RC scenarios this zoning was based on the existing residential growth plans, landscape plans and differences in the importance given to nature development for both world views. No restrictive conditions for residential land use were imposed for the GE and TA world view, and identical zoning maps were used for natural and agricultural land use classes for all world views. Secondly, the suitability maps, which represent the physical potential of the cells for each land use type and which are based on weighted summation of map layers, were readjusted to correspond as well as possible with the qualitative scenario descriptions of the WLO study. For example, the limiting influence of flood prone areas was considered to be less important for the SE world view, and the presence of waterways more important for the RC world view. The accessibility maps in the RuimteModel describe the combined importance of the presence of transport networks (roads, railways, etc) on the attractiveness for the urbanized land use classes (residential and economic activities). Different assumptions were made with regard to the role of transport networks for each world view. For example, the presence of public transport was considered to be more important for the SE and RC world view. Finally, the influence rules for the local interactions between the cell states were adjusted for each world view, starting from the rules for the BAU scenario. This was done in an iterative approach with a view to generate realistic spatial patterns for each of the four world views.

3. RESULTS

Figure 4 shows the difference between the RC and GE world view for the land use in the region to the South-East of Antwerp by 2050.

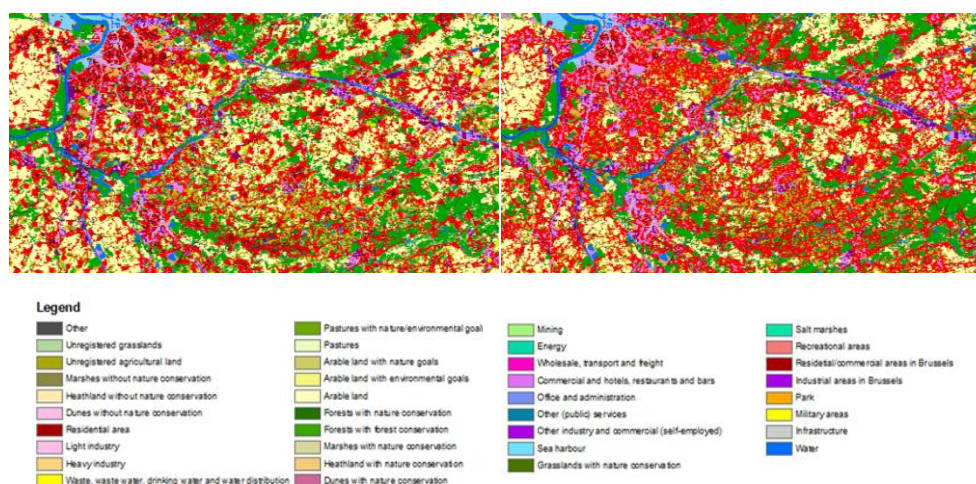


Figure 4. Land use to the South-East of Antwerp by 2050 for the Regional Communities (left) and Global Economy (right) world views [Engelen et al., 2011].

This example illustrates the difference in terms of the residential-urban pressure exerted on the surrounding rural-agricultural area (mainly arable land) for the two world views, with a clear

clustering of smaller residential centres in the RC world view. In addition to land use the outcomes of the scenario study for Flanders consist of a variety of time series and spatial indicators in GIS format which can be derived from the model results directly or indirectly and are as such extremely useful for detailed analysis of the spatial consequences of the different world views and for spatial planning purposes. Typical examples of indicators which were calculated are the cluster size of contiguous urban land or open space, the employment density, pressures exerted by one land-use type on another, difference maps for the presence of e.g. tertiary activities, or the residential density.

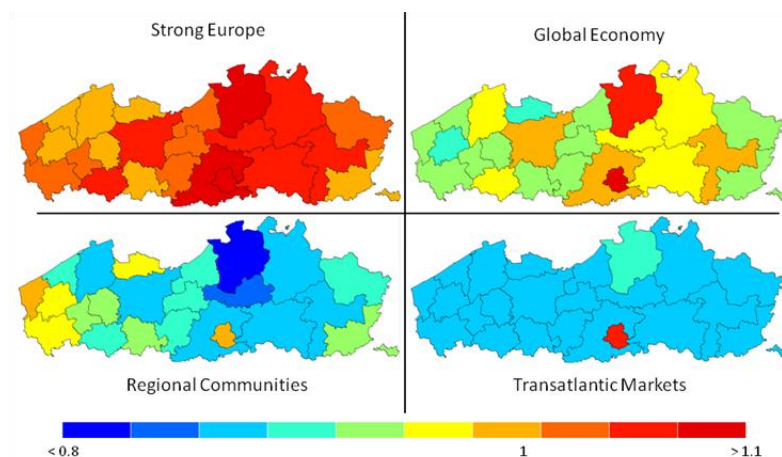


Figure 5. Regional differences in the development of the residential density in the four world views between 2010 and 2050 [Engelen et al., 2011].

As an example Figure 5 shows the regional differences in the development of the residential density, defined as the number of inhabitants per cell, for the world views between 2010 and 2050.

4. DISCUSSION

Uncertainties are inherent to the formulation of scenarios, the assumptions underlying the application to Flanders as well as the procedure followed for the spatially explicit translation to the RuimteModel, which had to be based on a combination of different qualitative and quantitative sources. The main objective of the procedure was to obtain parameter settings resulting in model behaviour matching the qualitative descriptions of the world views in the best possible way. A general conclusion is that the outcomes generated with the RuimteModel are sufficiently different for the world views and consistent with the qualitative descriptions given: the added value of a spatially explicit interpretation of the long-term scenarios for regional and local planning is obvious. All in all the spatial information generated is substantial given the limited time and budget available for the exercise. Nevertheless, the real value of the outcomes of the exercise for planning purposes should be verified in a practical application. Furthermore, it should be emphasized that the exercise is based on a rapid qualitative interpretation of the WLO study and application to Flanders by domain experts and key stakeholders. A more systematic follow-up of the approach should be based on a qualitative systems analysis of Flanders. This would serve as a basis for a more quantitative modelling of the integrated system. Future scenario studies could benefit considerably from the inherent consistency of such a system model.

ACKNOWLEDGMENTS

This research has been supported by the Policy Research Program of the Flemish Community.

REFERENCES

CPB, MNP, RPB. *Welvaart en Leefomgeving , een scenariostudie voor Nederland in 2040 (Welfare, Prosperity and Quality of the Living Environment, A scenario study of the Netherlands in 2040).*

- Centraal Planbureau, Milieu Natuurplanbureau, Ruimtelijk Planbureau, Nederland. In Dutch. www.welvaartenleefomgeving.nl. 2006.
- Couclelis, H., Of mice and men: what rodent populations can teach us about complex spatial dynamics, *Environment and Planning A*, Vol.20, 99-109, 1988.
- CPB, MNP, RPB, *Welvaart en Leefomgeving, een scenariostudie voor Nederland in 2040*. Centraal Planbureau, Milieu Natuurplanbureau, Ruimtelijk Planbureau, Nederland, 2006.
- De Kok J.L., Poelmans L., Uljee I. en Engelen G., Landgebruiksveranderingen voor de kostenraming van overstromingsrisico's (Land-use changes for a cost estimate of flood risks). VITO Report 2011/RMA/R/269. In Dutch. Flemish Institute for Technological Research (VITO), Mol, Belgium. September, 2011.
- Desmet R., Hertveldt B., Mayeres I., Mistiaen P. en Salimata S, The PLANET Model: Methodological Report. PLANET 1.0. Working Paper 10-08. Federal Planning Bureau, Brussels, 2008.
- Engelen G., C. Laval, J. I. Barredo, M. van der Meulen and R. White, The MOLAND modelling framework for urban and regional land-use dynamics, in: *Modelling Land-Use Change. Progress and Applications*, edited by: E. Koomen, J. Stillwell, A. Bakema, H. J. Scholten. Springer, The Netherlands, 297-320, 2007.
- Engelen G., Poelmans L., Uljee I., De Kok J.L. and Van Esch L. De Vlaamse Ruimte in 4 Wereldbeelden – Scenarioverkenning 2050 – Kwantitatieve Verwerking (The Flemish Space in 4 World Views – Scenario Exploration 2050 - Quantification). A study for the Policy Research Center for Spatial Planning and Housing. VITO Report 2011/RMA/R/363. Flemish Institute for Technological Research (VITO), Mol, Belgium, December 2011.
- FPB/ADSEI, Federal Planning Bureau and Directorate-general Statistics and Economic Information, Bevolkingsvooruitzichten 2007-2060 (Population projections 2007-2060), Planning Paper 105. www.plan.be/databases, 2008.
- Kuhk A., Engelen G., Lievois E., Schreurs J. en Moulaert F., De toekomst van de Vlaamse Ruimte in een veranderende wereld, Scenario- analyse voor ruimtelijk beleid (The future of the Flemish Space in a changing world, Scenario analysis for spatial planning). Kwalitatieve analyse van de Scenario workshop op 30 maart 2011. In Dutch. 2011.
- Maene S., Nieuwe Bevolkingsprojecties en huishoudensprojecties 2009-2030 Studiedienst Vlaamse Regering – Een vergelijking met projecties Federaal Planbureau 2007-2060 gebruikt in Milieuverkenning 2030, 2011.
- Pelfrene E., Ontgroening en vergrijzing in Vlaanderen 1990 – 2050 (Dejuvenation and aging in Flanders 1990-2050), Oktober 2005. Verkenningen op basis van de NIS-bevolkingsvooruitzichten. Stativaria 36, Administratie Planning en Statistiek, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. 48p. 2005.
- Poelmans L. and Van Rompaey A., Complexity and performance of urban expansion models, *Computers, Environment, and Urban Systems*, vol. 34, 17-27, 2010.
- Van Esch, L., Engelen, G., Gobin, A. en Uljee, I., *Landgebruikskaat Vlaanderen en Brussel*, VITO Report 2010/RMA/R/158. Flemish Institute for Technological Research (VITO), Mol, Belgium, 2010.
- White R. and Engelen G., Cellular Automata as the Basis of Integrated Dynamic Regional Modelling, *Environment and Planning B*, 24, 235-246, 1997.

BIJLAGE C

Decat G. (2014) Aangepaste modellen voor boven- en ondergrondse hoogspanningslijnen. Studie uitgevoerd in opdracht van VITO. GD-EMF-Consulting

BIJLAGE D

Decat G. (2014) Meten en modelleren van het 50 Hz magnetisch inductieveld van hoogspanningscabines. Studie uitgevoerd in onderaanneming van VITO. GD-EMF-Consulting

BIJLAGE E

Decat G. (2013) Meten en modelleren van het 50 Hz magnetisch inductieveld in hoogspanningsstations. Studie uitgevoerd in onderaanneming van VITO. GD-EMF-Consulting.

Met Bijlage Emdex Lite grafieken van veldregistraties bij het rapport.