



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Berekening magneetveldzone bij bovengrondse hoogspanningslijnen in elkaars nabijheid

RIVM rapport 610790019/2013
G. Kelfkens | M.J.M. Pruppers



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Berekening magneetveldzone bij bovengrondse hoogspanningslijnen in elkaars nabijheid

RIVM Rapport 610790019/2013

Colofon

© RIVM 2013

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

G. Kelfkens, Centrum Duurzaamheid, Milieu en Gezondheid
M.J.M. Pruppers, Centrum Duurzaamheid, Milieu en Gezondheid

Contact:
Mathieu Pruppers
Centrum Duurzaamheid, Milieu en Gezondheid
mathieu.pruppers@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van directie Veiligheid en Risico's van het ministerie van Infrastructuur en Milieu, in het kader van project 'Elektromagnetische velden'.

Rapport in het kort

Berekening magneetveldzone bij bovengrondse hoogspanningslijnen in elkaars nabijheid

Het RIVM stelt voor om de Handreiking waarmee de magneetveldzone bij bovengrondse hoogspanningslijnen wordt berekend, te actualiseren. De huidige Handreiking is in 2009 opgesteld om ervoor te zorgen dat de magneetveldzone steeds op dezelfde manier berekend wordt. De Handreiking beschrijft de berekening voor een afzonderlijke bovengrondse hoogspanningslijn. In andere situaties, bijvoorbeeld bij hoogspanningsverbindingen die zo dicht bij elkaar liggen dat ze elkaars magneetveld beïnvloeden, konden adviesbureaus het RIVM per geval om verduidelijking vragen. Het voorstel is om de Handreiking uit te breiden met rekenvoorschriften voor die situaties waarin twee of meer bovengrondse hoogspanningsverbindingen zich in elkaars nabijheid bevinden. De voorgestelde wijzigingen zijn het resultaat van verkennende berekeningen voor situaties waarin deze beïnvloeding aan de orde is.

De uitbreiding is van belang omdat het aantal locaties waar hoogspanningsverbindingen zich dicht bij elkaar bevinden toeneemt. Dat komt omdat nieuwe hoogspanningslijnen met het oog op een goede ruimtelijke ordening zo veel mogelijk met bestaande lijnen worden gebundeld, waardoor twee rijen masten naast elkaar ontstaan. Ook kan het zijn dat de draden van een nieuwe verbinding met de draden van een bestaande lijn op één rij masten worden gecombineerd.

Als gevolg van de voorgestelde aanpassingen zullen de adviesbureaus die in staat zijn om een magneetveldzone volgens de huidige Handreiking te berekenen, opnieuw moeten worden beoordeeld. Er zal dan worden getest of zij ook in staat zijn om berekeningen uit te voeren voor de situaties waar sprake is van beïnvloeding.

De Handreiking is voortgekomen uit het voorzorgsbeleid voor bovengrondse hoogspanningslijnen uit 2005. Hierin is een magneetveldzone gedefinieerd waarbinnen in nieuwe situaties zo weinig mogelijk woningen, scholen, crèches en kinderopvangplaatsen terecht mogen komen. Aanleiding hiervoor was wetenschappelijk onderzoek dat aangeeft dat kinderen die in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen wonen een grotere kans hebben om leukemie te krijgen.

Trefwoorden:

bovengrondse hoogspanningslijnen; magneetveldzone; voorzorgsbeleid; kinderleukemie

Abstract

Calculating magnetic field zone near overhead power lines in close proximity

RIVM proposes to update the Dutch Guideline used to calculate the magnetic field zone near overhead power lines. The present Guideline has been prepared in 2009 to ensure that the magnetic field zones are always calculated in the same way. The Guideline describes the calculation for one separate overhead power line. In other situations, such as power connectors that are so close together that they influence each other's magnetic field, consultants could ask RIVM per case for clarification. The proposal is to expand the Guideline with calculation instructions for those situations where two or more overhead power connectors are in close proximity. The proposed amendments are the result of exploratory calculations for situations in which this influence is relevant.

The expansion is important because the number of locations is increasing where overhead power connectors are close to each other. This is because - to ensure good spatial planning - new power connectors are bundled, resulting in two rows of masts close together. It is also possible that the cables of a new connector are combined with the cables of an existing line resulting in one row of masts.

Due to the proposed changes, the consultants who are able to calculate a magnetic field zone according to the present Guideline should be reassessed. There will then be tested whether they are also able to perform calculations for the situations where mutual influence is relevant.

The Guideline emerged from the precautionary policy to overhead power lines issued in 2005. This policy defines a magnetic field zone within which, in new situations, as few as possible dwellings, schools and crèches are to be situated. The reason for the policy was that scientific research indicates that children who live in the vicinity of overhead power lines are more likely to develop leukaemia.

Key words:

overhead power lines; magnetic field zone; precautionary policy; childhood leukaemia

Inhoudsopgave

Samenvatting – 9

1 Inleiding – 11

- 1.1 Aanleiding en vraagstelling – 11
- 1.2 Epidemiologie en risicoreductie – 12
- 1.3 Nieuwe projecten en situaties met beïnvloeding – 13
- 1.4 Rekenen met beïnvloeding – 14
- 1.5 Leeswijzer – 14

2 Wetenschappelijk onderzoek en verduidelijking Handreiking – 15

- 2.1 Inleiding – 15
- 2.2 Wetenschappelijk onderzoek – 15
 - 2.2.1 Berekende magneetvelden – 15
 - 2.2.2 Gemeten magneetvelden – 17
 - 2.2.3 Alleen afstand – 18
- 2.3 Verduidelijking Handreiking – 18
 - 2.3.1 Hoogspanningsverbinding te Helmond Brandevoort – 18
 - 2.3.2 Hoogspanningsverbinding Westerbeerdijk-Ens – 18
 - 2.3.3 Hoogspanningsverbinding Randstad 380 kV – 19
 - 2.3.4 Hoogspanningsverbinding Oterleek-Westwoud – 19
- 2.4 Aanvullende overwegingen – 20
- 2.5 Conclusies – 21

3 Situaties met beïnvloeding – 23

- 3.1 Inleiding – 23
- 3.2 Invloed belastingspercentage – 23
- 3.3 Invloed stroomrichting – 24
- 3.4 Weergave zonebreedte – 25
- 3.5 Samenvatting berekeningen – 25
- 3.6 Conclusies – 32

4 Voorstellen voor aanpassingen – 33

- 4.1 Inleiding – 33
- 4.2 Handreiking – 33
 - 4.2.1 Gevolgen belastingspercentage en stroomrichting – 33
 - 4.2.2 Weergave magneetveldzone – 37
- 4.3 Netkaart – 40
- 4.4 Lijst met adviesbureaus – 40
- 4.5 Afbakening situaties met beïnvloeding – 41
 - 4.5.1 Gebruik Handreiking in situaties met beïnvloeding – 41
 - 4.5.2 Gebruik Netkaart in situaties met beïnvloeding – 42

Referenties – 43

Bijlage 1 Invloed belastingspercentage - Wintrack/Donau parallel –47

Bijlage 2 Invloed belastingspercentage - Donau parallel – 53

Bijlage 3 Invloed belastingspercentage - Wintrack combi – 59

Bijlage 4 Invloed van de stroomrichting – 65

Bijlage 5 Onderbouwing toeslagfactor – 71

Samenvatting

Vanuit het oogpunt van goede ruimtelijke ordening is in het Derde Structuurschema Elektriciteitsvoorziening (SEV III) uitgangspunt om nieuwe hoogspanningsverbindingen zo veel mogelijk met bestaande lijnen te bundelen of op één mast te combineren. Daardoor neemt het aantal locaties waar hoogspanningsverbindingen zich dicht bij elkaar bevinden toe. De magneetvelden van die verbindingen beïnvloeden elkaar. Deze beïnvloeding wordt soms ook cumulatie genoemd. De term cumulatie suggereert onterecht dat de sterkte van het magneetveld altijd hoger wordt. In dit rapport is daarom voor de term beïnvloeding gekozen.

De Rijksoverheid heeft in 2005 voorzorgsbeleid gemaakt voor bovengrondse hoogspanningslijnen. Dit beleid is vastgelegd in een advies aan gemeenten, provincies en netbeheerders. Centraal in het beleid staat de magneetveldzone waarbinnen het jaargemiddelde magneetveld sterker is dan 0,4 microtesla. Het doel van het beleid is om zo veel als redelijkerwijs mogelijk is te voorkomen dat er nieuwe situaties ontstaan waarbij kinderen langdurig in deze magneetveldzone verblijven. Het RIVM heeft in Handreiking 3.0 (operationeel sinds 25 juni 2009) een berekeningsmethode voor de breedte van deze magneetveldzone uitgewerkt. De Handreiking beschrijft de berekening voor een afzonderlijke hoogspanningslijn. In andere situaties, bijvoorbeeld bij hoogspanningsverbindingen die zo dicht bij elkaar liggen dat ze elkaars magneetveld beïnvloeden, konden adviesbureaus het RIVM per geval om verduidelijking vragen.

Uit de uitvoeringspraktijk heeft het RIVM indicaties gekregen dat de berekening van de magneetveldzone zoals uitgewerkt in Handreiking 3.0 in situaties met beïnvloeding niet altijd tot de breedste zone leidt. Het ministerie van Infrastructuur en Milieu staat een benadering voor waarbij de breedte van de magneetveldzone niet wordt onderschat. Op grond van de analyse in dit rapport stelt het RIVM daarom voor om de Handreiking te actualiseren en uit te breiden met rekenvoorschriften voor dit soort situaties. De belangrijkste wijziging is dat er voor situaties met beïnvloeding mogelijk extra combinaties van belastingspercentages voor de verschillende verbindingen moeten worden doorgerekend en dat zeker met de stroomrichting rekening moet worden gehouden. Ook zal in de Handreiking een systematiek voor het presenteren van de magneetveldzone voor deze situaties worden opgenomen. De details (welke combinaties van belastingspercentages, welke systematiek) zullen in de nieuwe versie van de Handreiking (3.1) worden uitgewerkt.

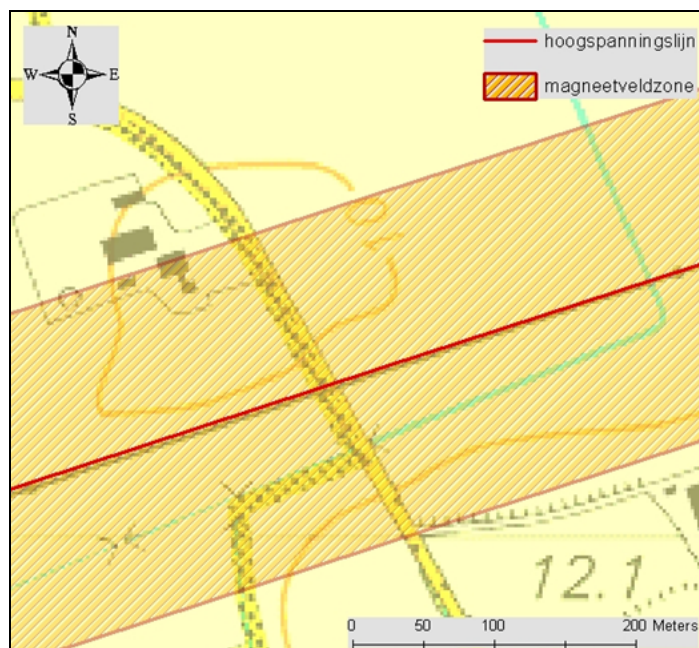
De gebruiker van de Netkaart op de RIVM-website moet er op worden geattendeerd dat als zich een andere hoogspanningslijn in de buurt bevindt, de voor de individuele verbindingen weergegeven indicatieve zone niet het volledige beeld geeft. Dat kan door een generieke opmerking op de webpagina of door een locatiespecifieke melding bij het klikken op de Netkaart.

Tot slot zullen ook de adviesbureaus die volgens de lijst een zoneberekening in overeenstemming met Handreiking 3.0 kunnen uitvoeren, opnieuw beoordeeld moeten worden. Adviesbureaus die zich willen kwalificeren voor zoneberekeningen voor bovengrondse hoogspanningsverbindingen die zich in elkaars nabijheid bevinden, nemen deel aan een toepassingstest van de nieuwe Handreiking 3.1. De test leidt uiteindelijk ertoe dat de adviesbureaus die in situaties met beïnvloeding kunnen rekenen apart op de lijst worden aangegeven.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en vraagstelling

Tijdens gebruik, transport en opwekking van elektriciteit ontstaan magneetvelden met extreem lage frequentie (ELF). Er wordt al circa 35 jaar onderzoek gedaan naar mogelijke gezondheidseffecten van deze ELF-velden. Dat internationale epidemiologisch onderzoek wijst op een mogelijk hoger leukemierisico bij kinderen die in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen wonen. Het magneetveld van die hoogspanningslijnen zou daarvoor verantwoordelijk kunnen zijn, maar een oorzakelijk verband is niet aangetoond. De Rijksoverheid heeft op grond van het voorzorgprincipe beleid gemaakt. Dat beleid is eind 2005 vastgelegd in een brief (met bijlage) van voormalig staatssecretaris Van Geel aan gemeenten, provincies en netbeheerders [1]. In 2008 is het beleid door minister Cramer nader toegelicht [2]. Centraal in het beleid staat de magneetveldzone die is gedefinieerd als de strook grond die zich aan beide zijden langs de bovengrondse hoogspanningslijn uitstrekt en waarbinnen het magneetveld gemiddeld over een jaar hoger dan 0,4 microtesla is of in de toekomst kan worden. Doel van het beleid is om zo veel als redelijkerwijs mogelijk is te vermijden dat er nieuwe situaties ontstaan waarbij kinderen langdurig in deze magneetveldzone verblijven. De grenswaarde van 0,4 microtesla in het beleidsadvies is door het ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM) gekozen op basis van de epidemiologische onderzoeken genoemd in paragraaf 2.2.



Figuur 1 Voorbeeld van een berekende magneetveldzone bij een bovengrondse hoogspanningslijn, weergegeven op een topografische kaart

Het RIVM heeft in 2005 een Handreiking voor de berekening van de magneetveldzone bij bovengrondse hoogspanningslijnen opgesteld die in 2009 geactualiseerd is [3]. Deze Handreiking legt de berekening van de breedte van de magneetveldzone vast voor de standaard situatie: één bovengrondse hoogspanningslijn (enkelvoudige of gecombineerde verbindingen) die door een

relatief vlak landschap loopt. Daarbij is een aantal vereenvoudigingen doorgevoerd. Een berekening volgens de Handreiking beoogt een toekomstgerichte magneetveldzone vast te leggen die past binnen het hoogspanningslijnenbeleid. In Figuur 1 is een voorbeeld van de uitkomst van zo'n berekening voor de magneetveldzone weergegeven.

Uit de uitvoeringspraktijk heeft het RIVM indicaties gekregen dat de berekening van de magneetveldzone zoals uitgewerkt in Handreiking 3.0 in situaties met beïnvloeding niet altijd tot de breedste zone leidt. Het ministerie van IenM staat een benadering voor waarbij de breedte van de magneetveldzone niet wordt onderschat.

Voorbeelden van situaties waarbij van beïnvloeding sprake is zijn:

- Bundeling: twee (of meer) bovengrondse hoogspanningslijnen die parallel aan elkaar lopen of een (kleine) hoek met elkaar maken;
- Combinatie: twee bovengrondse verbindingen die samen één lijn vormen, met andere woorden die aan één mast worden opgehangen;
- Kruising: twee (of meer) bovengrondse hoogspanningslijnen die kruisen; de ene lijn loopt – meestal via een juk – onder de andere bovengrondse lijn door.

Een hoogspannings*lijn* is een reeks masten met twee of meer circuits. Een hoogspannings*verbinding* bestaat uit een (of meer) circuit(s) dat(die) hoogspanningsstation A met hoogspanningsstation B verbindt (verbinden). Één *lijn* kan dus bestaan uit twee (of meer) *verbindingen*.

Situaties met beïnvloeding

In situaties waarin hoogspanningsverbindingen zich in elkaars nabijheid bevinden, beïnvloeden de magneetvelden van de verschillende hoogspanningsverbindingen elkaar. Deze beïnvloeding betekent niet per definitie dat de sterkte van het magneetveld altijd hoger wordt. Afhankelijk van de specifieke configuratie kan de aanwezigheid van een andere hoogspanningslijn ook tot een lagere sterkte van het magneetveld leiden. Voorbeelden van situaties met beïnvloeding zijn: gebundelde, gecombineerde en kruisende verbindingen.

In 2012 kreeg het ministerie van IenM de vraag hoe om te gaan met parallelle bovengrondse hoogspanningslijnen. Met het oog op een daarover te nemen besluit heeft het ministerie van IenM aan het RIVM gevraagd hoe er in de wetenschappelijke onderzoeken is omgegaan met deze beïnvloeding van magneetvelden, hoe het RIVM in het verleden de Handreiking heeft verduidelijkt voor deze situaties waarin hoogspanningsverbindingen zich in elkaars nabijheid bevinden en om te verkennen hoe de berekeningsmethode voor situaties met beïnvloeding gewijzigd kan worden. Verder heeft het ministerie gevraagd wat de gevolgen van een andere berekeningsmethode zijn voor de producten van het RIVM ter ondersteuning van de uitvoeringspraktijk, te weten de Handreiking, de Netkaart en de lijst met adviesbureaus.

1.2 Epidemiologie en risicoreductie

De epidemiologische onderzoeken geven aanwijzingen voor een verhoogde kans op leukemie voor kinderen die in de buurt van een bovengrondse hoogspanningslijn wonen, waar het magneetveld sterker is dan verder van de hoogspanningslijn af. Dat magneetveld is mogelijk de oorzaak, maar een causaal verband is niet aangetoond. Ook het feit dat het Internationale Agentschap voor

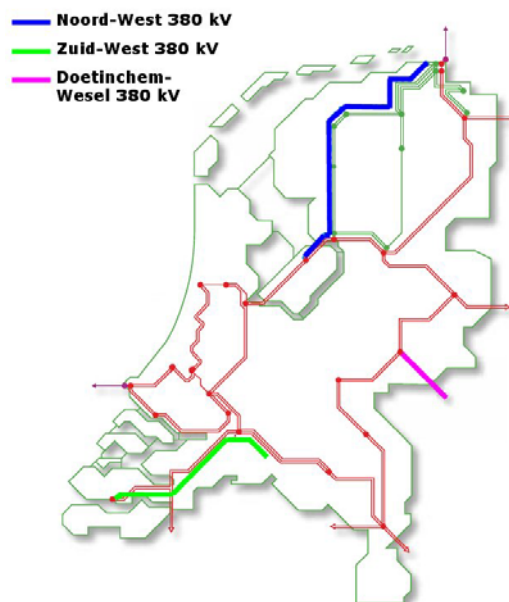
Onderzoek naar Kanker (IARC) ELF *magneetvelden* in categorie 2B [4] indeelt, verandert dat niet. Tegen deze achtergrond zijn er verschillende strategieën om het mogelijke risico op kinderleukemie te verminderen, zoals afstand houden of beperken van de blootstelling aan het magneetveld. Het kennisbericht 'Hoogspanningslijnen en kinderleukemie' [5] van het Kennisplatform Elektromagnetische Velden gaat hier dieper op in.

In het beleidsadvies uit 2005 heeft de Rijksoverheid gekozen voor beleid dat uitgaat van het magneetveld van bovengrondse hoogspanningslijnen [1]. Op basis van dat magneetveld is een magneetveldzone gedefinieerd. Technische maatregelen die de magneetveldzone verkleinen, worden gezien als een valide aanpak voor risicoreductie.

Het magneetveldenbeleid van de Rijksoverheid gaat over bovengrondse hoogspanningslijnen. Ondergrondse kabels, hoogspanningsstations en opstijgpunten (daar waar een bovengrondse verbinding overgaat in een ondergrondse of vice versa) zijn geen onderdeel van het beleid, mede omdat er geen wetenschappelijke publicaties zijn die aanwijzingen geven voor een verhoogd risico in de buurt van die onderdelen van het hoogspanningsnet.

1.3 Nieuwe projecten en situaties met beïnvloeding

Momenteel worden er in Nederland drie grote projecten via de rijkscoördinatieregeling planologisch voorbereid. Deze projecten moeten leiden tot nieuwe bovengrondse 380 kV hoogspanningsverbindingen: de Zuid-West 380 kV verbinding, de Noord-West 380 kV verbinding en de Doetinchem-Wesel 380 kV verbinding (zie Figuur 2).



Figuur 2 Locatie van de drie nieuwe grote projecten (op basis van informatie uit TenneT-brochures)

Bij het vaststellen van de tracés van deze verbindingen zijn - vanuit efficiënt ruimtegebruik en conform het Derde Structuurschema Elektriciteitsvoorziening (SEV III) [6] - bundeling van hoogspanningslijnen en/of het combineren van hoogspanningsverbindingen op één mast sturende principes. Dat betekent dat

de situaties met beïnvloeding die vóór 2009 nog als uitzonderlijk werden gezien, bij het realiseren van die nieuwe verbindingen vaker zullen voorkomen.

Nu de situaties waarin bovengrondse hoogspanningslijnen elkaar beïnvloeden bij nieuwe hoogspanningsverbindingen eerder regel dan uitzondering zijn, ligt het voor de hand om die expliciet in de berekeningsmethode op te nemen.

1.4 Rekenen met beïnvloeding

Rekening houden met beïnvloeding vraagt uitbreiding van de rekenmethode die in de Handreiking is vastgelegd. De berekening van de magneetveldzone zoals uitgewerkt in Handreiking 3.0 in situaties met beïnvloeding leidt niet altijd tot de breedste zone. Het ministerie van IenM staat een benadering voor waarbij de breedte van de magneetveldzone niet wordt onderschat. Daarnaast heeft rekening houden met beïnvloeding gevolgen voor de manier waarop de indicatieve zone van hoogspanningsverbindingen in de Netkaart wordt weergegeven, vooral daar waar hoogspanningsverbindingen zich in elkaars nabijheid bevinden. Op dit moment beheert het RIVM een lijst met adviesbureaus die een zoneberekening kunnen uitvoeren in overeenstemming met Handreiking 3.0. Een uitgebreidere rekenmethode vraagt om krachtigere rekenmodellen en nieuwe vaardigheden bij deze adviesbureaus. De check of de berekeningen van verschillende adviesbureaus ook in situaties met beïnvloeding tot vergelijkbare magneetveldzones leiden, wordt herhaald. Dit kan gevolgen hebben voor de lijst met adviesbureaus die het RIVM beheert.

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt onderzocht op welke manier de wetenschappelijke onderzoeken met beïnvloeding rekening houden. Daar wordt ook bekeken of rekenen met beïnvloeding in overeenstemming is met de verduidelijkingen die het RIVM in het verleden heeft gegeven. Hoofdstuk 3 geeft aan welke aspecten bij een zoneberekening met beïnvloeding een rol spelen. Dit hoofdstuk bevat ook de resultaten van verkennende berekeningen die het RIVM heeft uitgevoerd om de effecten van variërende belastingspercentages en de omkering van de stroomrichting op de breedte van de zone in beeld te brengen. Hoofdstuk 4 bevat voorstellen voor aanpassingen van de Handreiking, de Netkaart en de lijst met adviesbureaus.

2 Wetenschappelijk onderzoek en verduidelijking Handreiking

2.1 Inleiding

Bij het opstellen van het beleidsadvies is rekening gehouden met de twee gepoolde analyses van Ahlbom et al. en van Greenland et al. [7, 8]. Allereerst is onderzocht in hoeverre deze onderzoeken rekening houden met onderlinge beïnvloeding (paragraaf 2.2). Ook is de gepoolde analyse onderzocht van de onderzoeken die na deze twee gepoolde analyses zijn verschenen. Vervolgens is bekeken hoe het RIVM bij vragen over de Handreiking met de beïnvloeding rekening heeft gehouden (paragraaf 2.3).

2.2 Wetenschappelijk onderzoek

Het geheel van epidemiologisch onderzoek wijst op een associatie tussen leukemie bij kinderen en magneetvelden in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen. Een belangrijke rol spelen de twee gepoolde analyses van Ahlbom et al. en van Greenland et al. [7, 8]. Deze gepoolde analyses zijn gebaseerd op dertien epidemiologische onderzoeken die tot het jaar 2000 zijn uitgevoerd. In 2010 zijn zeven nieuwe epidemiologische onderzoeken, uitgevoerd in de periode 2000-2010, door Kheifets et al. in een derde gepoolde analyse verwerkt [9]. In totaal zijn er twintig epidemiologische onderzoeken beschikbaar die, volgens de auteurs van de gepoolde analyses, onderling voldoende vergelijkbaar en van voldoende kwaliteit zijn (zie Tabel 1). Het magneetveld wordt in deze onderzoeken bepaald door berekening en/of meting.

2.2.1 Berekende magneetvelden

Zeven onderzoeken [10, 13, 19, 21, 24, 28, 29] zijn gebaseerd op berekende magneetvelden. Twee onderzoeken [21, 29] geven expliciet aan dat beïnvloeding van hoogspanningslijnen wordt meegenomen: *'If several power lines were within 500m of a building the combined effect of all power lines was estimated'* [21] en *'In the few cases of vicinity between two or more power lines, we used the alternative model generated by commercial EFC400 software to estimate magnetic fields distribution in these complex situations.'* [29]. De andere onderzoeken benoemen de beïnvloeding niet expliciet, maar uit de definitie van de blootstelling kan soms worden geconcludeerd dat wel met beïnvloeding rekening is gehouden:

- *... the calculations could also take into account all nearby lines ...* [10];
- *All high voltage power lines (11 kV or greater) were considered in the calculations of exposure.* [13];
- *We defined exposure as the magnetic fields strength that originates from transmission overhead lines, transmission cables, and substations (50 - 400 kV)* [19].

De berekeningen houden dus in deze zeven onderzoeken rekening met onderlinge beïnvloeding van magneetvelden afkomstig van twee (of meer) hoogspanningsverbindingen. Wel verschilt het in rekening brengen van ondergrondse verbindingen en onderstations. In het onderzoek van Olsen [19] worden verkabelde verbindingen en onderstations meegenomen en in dat van Verkasalo [21] de kabels waarschijnlijk ook.

Tabel 1 Blootstellingsgegevens voor de onderzoeken in de drie gepoolde analyses van Ahlbom et al. [7], Greenland et al. [8] en Kheifets et al. [9]

Onderzoek	Gemeten blootstelling	Berekende blootstelling	Land	[7]	[8]	[9]
Feychting [10]	Eenmalige meting (4x 5 minuten) in centrale kamer. Ook meting met stroom in huis afgesloten.	Jaargemiddelde belasting op basis van historische gegevens voor het kalenderjaar voorafgaand aan de diagnose.	Zweden	X	X	
Savitz [11]	Metingen in kinderslaapkamer, en ouderslaapkamer. Ook meting bij de voordeur en met stroom in huis afgesloten.		Verenigde Staten	X		
London [12]	24-uurs gemiddelde meting in kinderslaapkamer. Ook meting met stroom in huis afgesloten.		Verenigde Staten	X		
Tynes [13]		Jaargemiddelde historische belasting en cumulatieve dosis gedurende eerste levensjaar en gedurende eerste 4 jaar.	Noorwegen	X	X	
Coghill [14]	Blootstellingsmaat is het gemeten 12-uurs gemiddelde in de kinderslaapkamer gekozen.		Engeland	X		
Dockerty [15]	24-uurs gemiddelde (kamer waar kind het meest verblijft en kinderslaapkamer).		Nieuw-Zeeland	X	X	
Linnet [16]	Tijdgemiddelde blootstelling huishouden. Gebaseerd op activiteiten patroon kind, 24-uurs gemiddelde meting in kinderslaapkamer en incidentele metingen in keuken, woonkamer en buiten voordeur.		Verenigde Staten	X	X	
McBride [17]	Persoonlijke dosimeter in rugzak kind en 24-uurs meting in de kinderslaapkamer. Eenmalige meting buiten voordeur en langs perceelgrens.		Canada	X	X	
Michaelis [18]	24-uurs gemiddelde meting in kinderslaapkamer en woonkamer.		Duitsland	X	X	

Onderzoek	Gemeten blootstelling	Berekende blootstelling	Land	[7]	[8]	[9]
Olsen [19]		Magneetveldberekening gebaseerd op jaargemiddelde stroom over een volledig kalenderjaar.	Dene-marken	X	X	
Tomenius [20]	Eenmalige meting magneetveld buiten de voordeur.		Zweden	X		
Verkasalo [21]		Magneetveldberekening gebaseerd op jaargemiddelde stroom, lijneigenschappen en afstand.	Finland	X	X	
UKCCS [22]	Spot metingen, aangevuld met 48-uurs gemiddelde meting voor de hoge dosisgroep.		Engeland		X	
Wünsch-Filho [23]	Spotmeting voor voordeur en in elke kamer; 24-uurs meting in kinderslaapkamer onder het bed.		Brazilië			X
Bianchi [24]		Magneetveldberekening op basis van lijnbelasting en afstand.	Italië			X
Schuz [25]	24-uurs meting in kinderslaapkamer onder het bed.		Duitsland			X
Kabuto [26]	Spotmeting binnen en buiten; 1 week meting in kinderslaapkamer.		Japan			X
Lowenthal [27]		Afstand bepaald, geen berekening magneetveld.	Tasmanië			X
Kroll [28]		Magneetveldberekening op basis van afstand, configuratie en schatting lijnbelasting.	Verenigd Koninkrijk			X
Malagoli [29]		Magneetveldberekening op basis van afstand, configuratie en lijnbelasting in 2001.	Italië			X

2.2.2 Gemeten magneetvelden

In dertien van de twintig onderzoeken [10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 22, 23, 25, 26] wordt de blootstelling door meting vastgesteld over een periode variërend van 12-168 uur. Bij een meting wordt het totale magneetveld (dus met beïnvloeding) van alle bronnen in de buurt bepaald. Een aantal onderzoeken [10, 11, 12, 16, 17, 20, 23, 26] probeert een schatting van de bijdrage van de hoogspanningslijnen aan het totale magneetveld te maken door de netspanning in de woning uit te zetten of buiten de voordeur te meten.

Voor alle onderzoeken gebaseerd op metingen geldt daarom dat zij in ieder geval het totale magneetveld (dus met beïnvloeding) van alle hoogspanningsverbindingen meenemen.

2.2.3 *Alleen afstand*

Tot slot is in één onderzoek [27] alleen de afstand tot de dichtstbijzijnde hoogspanningslijn bepaald. In dit onderzoek speelt onderlinge beïnvloeding van magneetvelden geen rol.

2.3 **Verduidelijking Handreiking**

Voor de standaard situatie is het berekenen van de magneetveldzone in de Handreiking van het RIVM vastgelegd. Het betreft de situatie waarin één bovengrondse hoogspanningslijn (enkelvoudige of gecombineerde verbindingen) door een relatief vlak landschap loopt. De Handreiking is in principe ook geschikt voor combinatielijnen. In dat geval wordt de beïnvloeding van de circuits met verschillende spanning 'automatisch' meegenomen bij de berekening van de magneetveldzone. Conform de Handreiking wordt een adviesbureau geacht voor situaties die afwijken van de standaard contact met het RIVM op te nemen. Deze situatie heeft zich sinds 2005 vier keer voorgedaan.

2.3.1 *Hoogspanningsverbinding te Helmond Brandevoort*

Voor het rapport van Petersburg, GE100100-R02 AD rev. 1, 13 augustus 2010 is het RIVM om verduidelijking gevraagd. Deze verduidelijking is in het rapport verwerkt en de methodiek is omschreven als: *'Vanwege de kruising van de hoogspanningslijnen is de te hanteren berekeningsmethodiek met RIVM afgestemd [3]. RIVM heeft geadviseerd om voor de situatie bij de kruising van de hoogspanningslijnen de gezamenlijke 0,4 microtesla magneetveldcontour van beide hoogspanningslijnen te berekenen in plaats van de afzonderlijke specifieke zones. Daarnaast is geadviseerd om over te gaan naar de specifieke magneetveldzones per hoogspanningslijn zodra de bijdrage van de andere hoogspanningslijn geen invloed meer heeft op de afzonderlijke specifieke magneetveldzones.'*

Ook voor een vervolgberekening in 2011 is het RIVM om verduidelijking gevraagd. Petersburg omschrijft deze verduidelijking in het rapport, TE112200-R37 MJ, 27 december 2011 als volgt: *'Voor enkele delen van de beschouwde trajecten is sprake van niet-parallelle geleiders (bij de in- en uitlissing van de 150 kV circuits). In overeenstemming met de handreiking en in overleg met RIVM d.d. 2 november 2011 zijn voor deze delen van de trajecten de magneetveldcontouren met drie-dimensionele veldberekeningen vastgesteld en in het rapport weergegeven. Voor de trajecten waar sprake is van parallelle geleiders zijn de zones conform de handreiking vastgesteld op basis van de één-dimensionele berekeningsmethodiek, waarbij de magneetveldzones zijn berekend uitgaande van de plek tussen twee opeenvolgende masten waar de geleiders het laagst hangen.'*

2.3.2 *Hoogspanningsverbinding Westermeerdijk-Ens*

Het adviesbureau Energy Solutions heeft berekeningen gedaan aan de ondergrondse hoogspanningsverbinding van Westermeerdijk naar Ens (ENSOL-RPT-2010.20 rev 1.3 12 augustus 2010). Op twee delen van het tracé lopen de ondergrondse verbinding en een bovengrondse verbinding parallel. Voor dat tracé is na overleg met het RIVM de volgende aanpak gekozen: *'Daar*

waar de ondergrondse kabelverbinding parallel loopt aan de bovenlijnen is de wederzijdse beïnvloeding meegenomen in de berekening.

Het gaat hier om de volgende verbindingen:

- 110 kV bovenlijn Ens Zwijnstocht – Emmeloord (mast 214 t/m mast 222);
- 220 kV verbinding Ens – Oudehaske (mast 124 t/m mast 139).'

In de versie van deze rapportage die in het Bijlagenboek van het uiteindelijke inpassingsplan terecht is gekomen (ENSOL-RPT-2011.19 rev. 2.2 18 april 2011) staat: 'Daar waar de ondergrondse kabelverbinding parallel loopt aan de bovenlijnen is de wederzijdse beïnvloeding meegenomen in de berekening. Het gaat hier om de volgende verbinding: - 220 kV verbinding Ens – Oudehaske. De beïnvloeding van deze bovenlijn is alleen meegenomen op plekken waar de 0,4 μ T zone van de bovenlijn en kabeltracé elkaar overlappen. Op enkele plekken waar het kabeltracé parallel loopt aan de hoogspanningslijn en de kabel in een boring ligt, is de beïnvloeding niet meegenomen. Op deze locaties is het magneetveld door superpositie bepaald.'

2.3.3 Hoogspanningsverbinding Randstad 380 kV

KEMA heeft in september 2011 voor TenneT berekeningen uitgevoerd van magneetveldzones van een nieuw aan te leggen lijn die een tweetal ondergrondse kabelverbindingen kruist (11-2050 Rap_LocatieV1 Versie 1.00; deze rapportage is een vroeg concept van één van de rapportages - 'Westeinde' - met de resultaten van berekeningen van de specifieke zone in het kader van de Noordring). Het RIVM heeft toen voorgesteld om een deel van de tekst in het rapport te wijzigen in '*... De specifieke magneetveldzone wordt voorgesteld door rechte lijnen evenwijdig aan de hoogspanningslijn. Voor de situaties waarin de nieuwe bovengrondse verbinding zich in de nabijheid van reeds bestaande ondergrondse hoogspanningskabels bevindt, is de exacte "magneetveldcontour" berekend en op de kaart weergegeven. ...*'. Verder is voorgesteld om '*... de woorden 'cumulatieve' en 'cumulerende' NIET te gebruiken. Het hoogspanningslijnenbeleid van de Rijksoverheid geldt niet voor ondergrondse kabels en houdt daarom geen rekening met reeds aanwezige hoogspanningskabels. Dat TenneT dat wel wil, mag maar hoeft niet. ...*' en ook om alle vermeldingen van wat cumulatieve magneetveldzone werd genoemd als "magneetveldzone" te worden weergegeven (dus tussen aanhalingstekens): '*... De term magneetveldzone zonder aanhalingstekens mag alleen voor de magneetveldzone van een bovengrondse lijn worden gebruikt. ...*'.

Bij het beoordelen van de berekeningen aan de specifieke magneetveldzone van de Noordring heeft het RIVM in september 2012 (mondeling) aangegeven om bij ondergrondse kabels niet met beïnvloeding te rekenen (in tegenstelling tot de in september 2011 gegeven verduidelijking). De reden hiervoor is dat het hoogspanningslijnenbeleid niet van toepassing is op ondergrondse kabels. Wel zou rekening kunnen worden gehouden met invloed van een bovengrondse lijn op de omvang van de zone rond een ondergrondse kabel. Omgekeerd acht het ministerie van IenM dat niet wenselijk: het ministerie heeft expliciet aangegeven dat de aanwezigheid van een ondergrondse kabel er niet toe kan leiden dat de specifieke magneetveldzone van een bovengrondse lijn smaller wordt (ten opzichte van de situatie zonder ondergrondse kabel).

2.3.4 Hoogspanningsverbinding Oterleek-Westwoud

Liandon heeft in december 2012 voor TenneT berekeningen uitgevoerd voor de verbinding Oterleek-Westwoud. TenneT wil de bestaande transportcapaciteit tussen station Oterleek en station Westwoud uitbreiden door het aanleggen van

een ondergrondse 150 kV kabel. Op telefonisch verzoek van TenneT heeft het RIVM daarover op 12 december 2012 een verduidelijking per e-mail gestuurd. Deze verduidelijking houdt in dat de zones van de bovengrondse lijn en van de kabel apart moeten worden berekend zonder met beïnvloeding rekening te houden. Voor de bovengrondse lijn dient daarbij uitgegaan te worden van Handreiking 3.0. Voor de kabelverbinding is uitgegaan van de afspraken die in het kader van de Randstad 380 kV verbinding zijn gemaakt [30]. De magneetveldzones van bovengrondse hoogspanningslijn en ondergrondse kabel dienen in de rapportage apart te worden gepresenteerd.

2.4 Aanvullende overwegingen

Beïnvloeding van magneetvelden is ook van belang bij de volgende onderwerpen.

1 Magneetveldzone volgens het beleidsadvies

In de bijlage bij het beleidsadvies uit 2005 [1] is de magneetveldzone gedefinieerd als de strook grond die zich aan beide zijden langs de bovengrondse hoogspanningslijn uitstrekt en waarbinnen het magneetveld gemiddeld over een jaar hoger dan 0,4 microtesla is of in de toekomst kan worden. Het berekenen van de magneetveldzone waarbij rekening wordt gehouden met beïnvloeding past binnen de in 2005 gegeven definitie van de magneetveldzone.

2 Beïnvloeding tussen fasedraden

Bij een enkelvoudige lijn door een maagdelijk landschap beïnvloeden de twee circuits elkaar, en ook beïnvloeden de drie fasedraden binnen één circuit elkaar. Als de magneetvelden van elk circuit of elke fasedraad apart zouden worden berekend, zonder met die onderlinge beïnvloeding rekening te houden, leidt dat tot een onrealistische berekening van het magneetveld. Alleen al op deze basis lijkt rekenen zonder met beïnvloeding rekening te houden geen reële mogelijkheid. Bij het berekenen van de zonebreedte van de Wintrack-combimasten (twee circuits 380 kV en twee circuits 150 kV) is deze 'beïnvloeding' zelfs bewust gebruikt. De manier waarop de individuele fasedraden aan de mast worden gehangen is zodanig gekozen dat de beïnvloeding tot een zo smal mogelijke magneetveldzone leidt.

3 Beleid bij Randstad 380 kV

Het hoogspanningslijnenbeleid, en daarmee ook de Handreiking, is van toepassing op bovengrondse hoogspanningslijnen. Bij de voorbereiding van de Randstad 380 kV verbinding is door de toenmalige ministers van EZ en VROM besloten om voor de ondergrondse delen en hoogspanningstations behorende tot Randstad 380 kV aan te sluiten bij het beleid voor bovengrondse hoogspanningslijnen. Netbeheerder TenneT en enkele adviesbureaus die berekeningen volgens de Handreiking van het RIVM [31] kunnen uitvoeren, hebben toen met het oog op uniformering van de berekeningswijze aanvullende afspraken gemaakt over de te hanteren rekenmethodiek. Om tot deze afspraken te komen is er in 2010 drie keer overlegd. Het RIVM was daarbij als secretaris betrokken en heeft de gemaakte afspraken vastgelegd en eind 2011 gebundeld [30]. Deze afspraken zijn door het ministerie van IenM geaccordeerd. Voor het berekenen van de magneetveldcontour rond een hoogspanningstation is toen, mede vanwege de complexiteit van de systemen, afgesproken dat wordt uitgegaan van alle stroomvoerende geleiders met een spanning van 50 kV, 110 kV, 150 kV, 220 kV of 380 kV, binnen en buiten het station, zowel boven-

als ondergronds. Feitelijk betekent dit dat er bij de berekening van de magneetveldcontour van stations met beïnvloeding rekening wordt gehouden.

4 Inventarisatie kinderleukemie

Het RIVM heeft in 2001 [32] en 2003 [33] - onder de niet bewezen aanname dat het magneetveld werkelijk tot leukemie kan leiden - het aantal extra gevallen van leukemie bij kinderen berekend. Bij deze berekening zijn magneetveldzones gehanteerd die zijn uitgerekend zonder rekening te houden met onderlinge beïnvloeding van nabijgelegen lijnen. Gegevens op landelijk niveau over magneetveldzones berekend met beïnvloeding waren (en zijn) niet voorhanden.

2.5 Conclusies

Bij het vormgeven van het voorzorgsbeleid, dat in het beleidsadvies uit 2005 en de verduidelijking uit 2008 is geformuleerd, is rekening gehouden met twee gepoolde analyses van Ahlbom et al. en van Greenland et al, die dertien epidemiologische onderzoeken omvatten waarin gekeken is naar de invloed van wonen bij bovengrondse hoogspanningslijnen op het ontstaan van leukemie bij kinderen. De analyse van deze epidemiologische onderzoeken en de zeven onderzoeken die daar door Kheifets et al. sinds 2000 aan zijn toegevoegd, laat zien dat deze in de meeste gevallen uitgaan van het totale magneetveld, dus met beïnvloeding.

Het RIVM heeft in het verleden voor enkele situaties waarin hoogspanningsverbindingen zich in elkaars nabijheid bevinden een verduidelijking van de Handreiking gegeven, gelet op het beleidsadvies. Deze verduidelijkingen geven aan dat met onderlinge beïnvloeding van magneetvelden van bovengrondse hoogspanningslijnen rekening moet worden gehouden. Voor de beïnvloeding van het magneetveld van een bovengrondse lijn door een ondergrondse kabel is in de meeste gevallen aangegeven geen rekening te houden met de wederzijdse beïnvloeding van de ondergrondse kabel en de bovengrondse lijn.

3 Situaties met beïnvloeding

3.1 Inleiding

Uit de uitvoeringspraktijk heeft het RIVM indicaties gekregen dat de berekening van de magneetveldzone zoals uitgewerkt in Handreiking 3.0 in situaties met beïnvloeding niet altijd tot de breedste zone leidt. Het ministerie van IenM staat een benadering voor waarbij de breedte van de magneetveldzone niet wordt onderschat. In dit hoofdstuk is beschreven welke situaties het RIVM heeft verkend waarin bij het bepalen van de magneetveldzone beïnvloeding een rol zou kunnen spelen. De verkennende berekeningen hebben zich gericht op de volgende drie punten:

- de manier waarop met het belastingspercentage van de verschillende verbindingen in een situatie met beïnvloeding rekening wordt gehouden;
- de manier waarop met de richting van het energietransport (hierna te noemen: de stroomrichting) in de verschillende verbindingen in een situatie met beïnvloeding rekening wordt gehouden;
- de manier waarop de magneetveldzone in een situatie met beïnvloeding op een kaart kan worden weergegeven.

In de volgende paragrafen zijn deze drie punten – waar mogelijk kwantitatief - verder uitgewerkt.

3.2 Invloed belastingspercentage

In Handreiking 3.0 wordt uitgegaan van de standaardsituatie: één bovengrondse hoogspanningslijn die door een relatief vlak landschap loopt. In de standaardsituatie heeft de hoogspanningslijn twee circuits, waarbij er van wordt uitgegaan dat de stroom door beide circuits gelijk is, zowel qua grootte als qua richting. Een *circuit* is een groep van drie geleiders (ook wel drie fasen genoemd) die aan één zijde van de hoogspanningsmast is opgehangen; meestal hangen drie geleiders links en drie geleiders rechts van de mast, dus een circuit links en een circuit rechts. Bij een berekening volgens de Handreiking wordt de stroom door een circuit gerelateerd aan de maximale stroom waarvoor dat circuit is ontworpen, de ontwerpbelasting. De verhouding tussen de jaargemiddelde stroom en de ontwerpbelasting wordt het belastingspercentage genoemd. Bij de berekening van de magneetveldzone wordt voor 380 kV en 220 kV circuits van een belastingspercentage van 30% uitgegaan en voor de 150 kV, 110 kV en 50 kV circuits van 50% [34]. Omdat in deze situatie een lagere stroom (en lager belastingspercentage) automatisch tot een smallere magneetveldzone leidt, onderschat deze aanpak de zonebreedte niet, zolang de jaargemiddelde stroom beneden de gekozen percentages blijft. Het RIVM is momenteel bezig met het analyseren van de werkelijk in 2011 opgetreden belastingspercentages voor het gehele bovengrondse hoogspanningsnet. De resultaten daarvan zullen in een RIVM rapport op de website worden gepubliceerd.

Bij een situatie waar hoogspanningsverbindingen zich dicht bij elkaar bevinden, bijvoorbeeld een 380 kV/150 kV combinatielijn, hoeft een belastingspercentage van 30% (380 kV circuits) en 50% (150 kV circuits) niet automatisch de breedste magneetveldzone op te leveren. Om inzicht te krijgen in de manier waarop de belastingspercentages doorwerken en wat dit voor het rekenvoorschrift kan betekenen, heeft het RIVM verkennende berekeningen uitgevoerd. Hiervoor is het rekenmodel EFC-400 (Forschungsgesellschaft für

Energie und Umwelttechnologie, Berlin) gebruikt. Er is aan de volgende drie configuraties gerekend:

- Wintrack/Donau parallel: 380 kV Wintrack parallel aan 150 kV Donaumasten (nog te realiseren);
- Donau parallel: 150 kV parallel aan 380 kV;
- Wintrack combi: Wintrack combinatiemast: twee circuits 380 kV en twee circuits 150 kV (nog te realiseren).

De Donaumast is een veel toegepast type hoogspanningsmast waarbij de geleiders in een driehoeksconfiguratie worden opgehangen. De Wintrackmast is een recent ontwikkeld type hoogspanningsmast met twee pylonen dat vooral in de nieuwe 380 kV verbindingen wordt toegepast.

Voor elke configuratie is een berekening uitgevoerd met niet-geoptimaliseerde klokgetallen en met geoptimaliseerde klokgetallen, waarbij is uitgegaan van een belastingspercentage van 30% en 50%. De drie fasen binnen een circuit worden elk apart aangeduid met de fasehoek of met het klokgetal (fasehoeken 0°, 120° en 240° worden vaak 'vertaald' naar de klokgetallen 4-8-12; de hoek die de wijzers van de klok op die tijdstippen maken komt dan overeen met de fasehoek, dus klokgetal 4 -> 120°, klokgetal 8 -> 240° en klokgetal 12 -> 0°). Niet-geoptimaliseerde klokgetallen leiden tot een brede magneetveldzone en geoptimaliseerde klokgetallen tot de smalste zone. Voor beide verbindingen zijn de volgende belastingen, als percentage van de ontwerpbelasting, doorgerekend: 0%, 15%, 30%, 50%, 75% en 100%. De uitgevoerde berekeningen en de resultaten daarvan zijn in detail beschreven in de Bijlagen 1 t/m 3.

Deze verkennende berekeningen geven inderdaad aan dat in situaties waar van beïnvloeding sprake is één berekening met een belastingspercentage van 30% voor de 380 kV lijnen en 50% voor de 150 kV lijnen niet altijd tot de magneetveldzone met de grootste breedte leidt. Voor geoptimaliseerde klokgetallen zijn er combinaties met lagere belastingspercentages die tot een bredere zone leiden. De maximale toename voor de doorgerekende configuraties is bij de Wintrack combinatielijn gevonden. De breedte van de zone verandert van 51 m (links) en 49 m (rechts) naar 55 m respectievelijk 56 m, een toename van 11 m op de totale zonebreedte.

3.3 Invloed stroomrichting

Als hoogspanningsverbindingen zich dicht bij elkaar bevinden, kan de stroomrichting in de verschillende verbindingen afhankelijk van invoeding en belasting variëren. Toekomstige veranderingen in het hoogspanningsnet, zoals het opstellen van meer decentrale opwekking van zon- en windenergie, kunnen deze fluctuaties versterken. De netbeheerder heeft aangegeven dat hij in het algemeen niet kan voorzien in welke mate en voor welke verbindingen dit effect zal optreden.

Om te onderzoeken welke invloed het omkeren van de stroomrichting in een van beide verbindingen op de breedte van de magneetveldzone heeft, zijn de berekeningen voor de drie in paragraaf 3.2 beschreven configuraties (wel en niet geoptimaliseerd) uitgebreid met tegengestelde stromen, aangegeven als belastingspercentages -15%, -30%, -50%, -75% en -100%. Een belastingspercentage van bijvoorbeeld '-50%' betekent een energietransportrichting (stroom) in de ene verbinding die tegengesteld is aan die in de andere verbinding. De uitgevoerde berekeningen en de resultaten daarvan zijn in detail beschreven in Bijlage 4.

In die gevallen waarin de klokgetallen zijn geoptimaliseerd, leidt omkering van de stroomrichting in één van de verbindingen tot een bredere zone. Voor de Wintrack combinatielijn gaat de zonebreedte aan de linkerzijde van 51 m naar 65 m en aan de rechterzijde van 49 m naar 68 m een totale toename van 33 m.

3.4 Weergave zonebreedte

In de standaard situatie wordt de magneetveldzone per vaksegment¹ als rechte lijnen parallel aan de hoogspanningslijn weergegeven (met de term *vaksegment* wordt het gedeelte van een hoogspanningslijn tussen twee opeenvolgende masten aangeduid). Bij combinatielijnen kan dat ook omdat de beide verbindingen aan dezelfde rij masten hangen. Bij parallelle en kruisende lijnen kan het vereenvoudigen van de berekende zone tot rechte lijnen tot een ruimtebeslag leiden, dat vanuit het oogpunt van goede ruimtelijke ordening onwenselijk is. Mogelijk kan de omvang van de magneetveldzone in die situaties beter met een (gekromde) contour gepresenteerd worden. Paragraaf 4.2.2 geeft enkele mogelijkheden voor de manier waarop dat zou kunnen.

3.5 Samenvatting berekeningen

Tabel 2, Tabel 3 en Tabel 4 vatten de resultaten voor de berekeningen van de zonebreedtes met EFC-400 samen. Elke tabel geeft de invloed van de belastingspercentages en omkering van de stroomrichting op de zonebreedte. De zonebreedte wordt bepaald links van de linker lijn en rechts van de rechter lijn. Aan de linkerzijde wordt de breedte van de zone bepaald als afstand tot het hart van de linker lijn. Aan de rechterzijde wordt de zonebreedte bepaald als afstand tot het hart van de rechter lijn. Voor combinatielijnen valt het hart van de 'linker' lijn samen met het hart van de 'rechter' lijn. De kleuren in de tabel geven aan:

- **zwart en vet**, de zonebreedte voor de belastingspercentages uit Handreiking 3.0 (30% voor 380 kV en 50% 150 kV) en stromen in gelijke richting, de referentie zonebreedte;
- **blauw**, de maximale zonebreedte in de tabel;
- **rood**, die combinaties van belastingspercentage en stroom die tot een bredere magneetveldzone dan de referentie leiden;
- **zwart**, die combinaties van belastingspercentage en stroom die tot een smallere magneetveldzone dan de referentie leiden;
- *, soms strekt de zone zich niet tot de linker of rechterzijde van een lijn uit; in die gevallen is een * genoteerd.

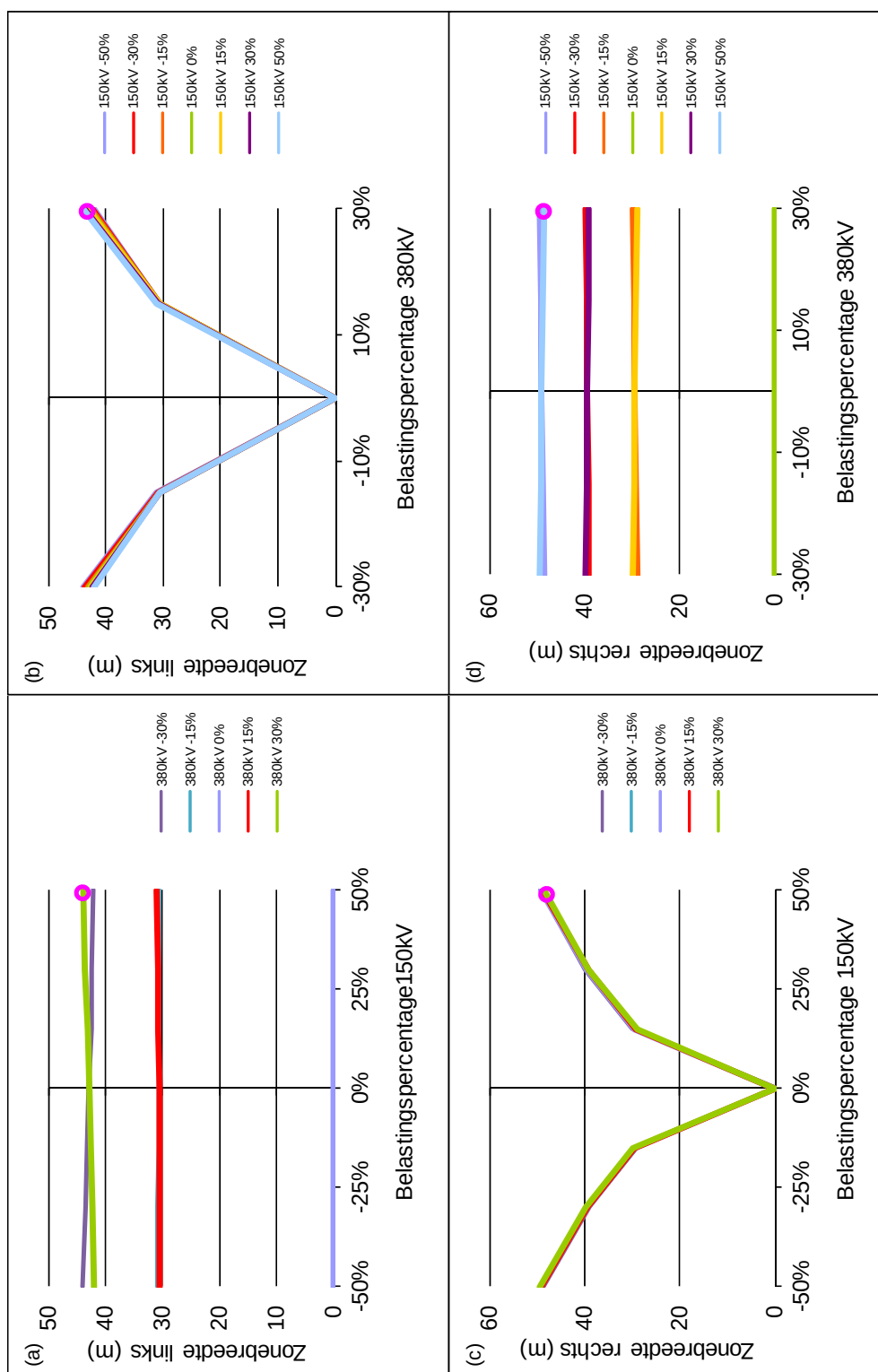
¹ Met de term *vaksegment* wordt het gedeelte van een hoogspanningslijn tussen twee opeenvolgende masten aangeduid.

Tabel 2 Wintrack/Donau parallel: zonebreedtes links (van de hartlijn 380 kV) en rechts (van de hartlijn 150 kV) voor verschillende combinaties van belastingspercentages, zonder (a) en met (b) optimalisatie van de klokgetallen

(a) zonebreedte; niet-geoptimaliseerde klokgetallen										
belastings- percentage	links					rechts				
380 kV 150 kV	-30	-15	0	15	30	-30	-15	0	15	30
-50	111,4	79,1	*	75,2	107,7	75,1	67,8	62,2	58,1	55,7
-30	110,6	78,1	*	75,8	108,4	62,2	54,2	48,5	45,0	43,5
-15	110,0	77,5	*	76,3	108,9	48,8	39,7	34,4	32,1	32,3
0	109,4	76,9	*	76,9	109,4	20,1	*	*	*	20,1
15	108,9	76,3	*	77,5	110,0	32,3	32,1	34,4	39,7	48,8
30	108,4	75,8	*	78,1	110,6	43,5	45,0	48,5	54,2	62,2
50	107,7	75,2	*	79,1	111,4	55,7	58,1	62,2	67,8	75,1

(b) zonebreedte; geoptimaliseerde klokgetallen										
belastings- percentage	links					rechts				
380 kV 150 kV	-30	-15	0	15	30	-30	-15	0	15	30
-50	43,9	31,0	*	30,6	42,0	48,6	48,8	49,0	49,2	49,4
-30	43,5	30,8	*	30,6	42,3	39,0	39,2	39,4	39,6	39,8
-15	43,1	30,7	*	30,6	42,5	28,9	29,1	29,4	29,6	29,9
0	42,8	30,6	*	30,6	42,8	*	*	*	*	*
15	42,5	30,6	*	30,7	43,1	29,9	29,6	29,4	29,1	28,9
30	42,3	30,6	*	30,8	43,5	39,8	39,6	39,4	39,2	39,0
50	42,0	30,6	*	31,0	43,9	49,4	49,2	49,0	48,8	48,6

Het onderste deel van Tabel 2, dus de situatie met geoptimaliseerde klokgetallen, is grafisch weergegeven in Figuur 3. Dit figuur bestaat uit vier onderdelen: (a) en (b) tonen de zonebreedte aan de linkerzijde van deze configuratie en (c) en (d) aan de rechterzijde. De onderdelen (a) en (c) tonen hoe de zonebreedte links en rechts verandert als het belastingspercentage van de 150 kV lijn wordt gevarieerd; de onderdelen (b) en (d) tonen hoe de zonebreedte links en rechts verandert als het belastingspercentage van de 380 kV lijn wordt gevarieerd.



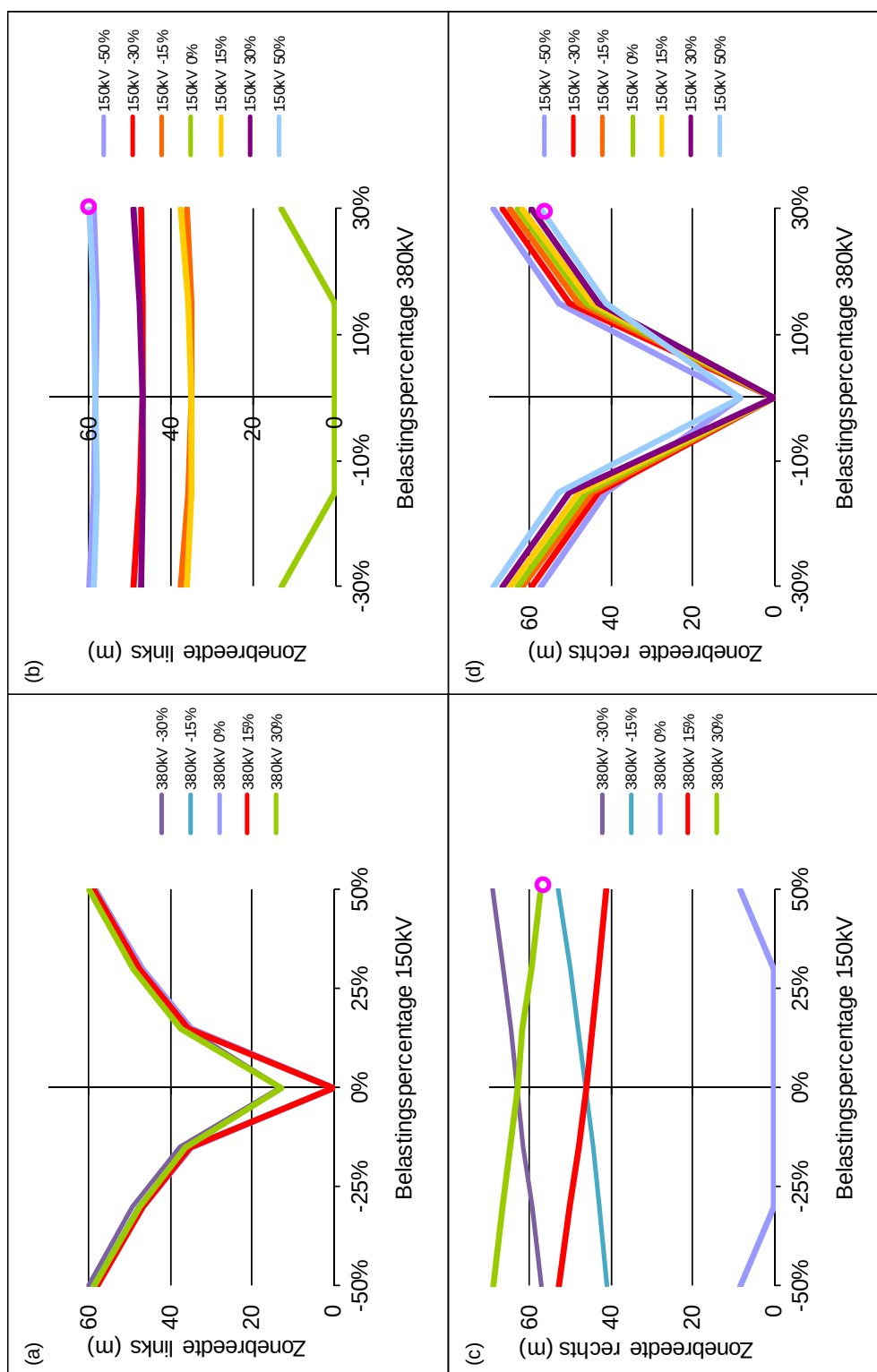
Figuur 3 Grafische weergave van de zonebreedtes voor Wintrack/Donau parallel, met geoptimaliseerde klokgetallen (Tabel 2(b)). Het roze rondje geeft de zonebreedte voor de belastingspercentages uit Handreiking 3.0 weer (30% voor 380 kV en 50% 150 kV, stromen in gelijke richting).

Tabel 3 Donau parallel: zonebreedtes links (van de hartlijn 150 kV) en rechts (van de hartlijn 380 kV) voor verschillende combinaties van belastingspercentages, zonder (a) en (b) met optimalisatie van de klokgetallen

(a) zonebreedte; niet-geoptimaliseerde klokgetallen										
belastings- percentage	links					rechts				
380 kV \ 150 kV	-30	-15	0	15	30	-30	-15	0	15	30
-50	90,0	82,6	75,2	68,0	61,4	95,1	73,8	25,2	50,6	74,2
-30	75,7	67,1	58,9	51,4	45,3	90,8	68,6	8,9	54,4	78,2
-15	61,2	51,1	42,0	35,2	31,2	87,6	64,8	*	57,7	81,2
0	34,4	11,1	*	11,1	34,4	84,4	61,1	*	61,1	84,4
15	31,2	35,2	42,0	51,1	61,2	81,2	57,7	*	64,8	87,6
30	45,3	51,4	58,9	67,1	75,7	78,2	54,4	8,9	68,6	90,8
50	61,4	68,0	75,2	82,6	90,0	74,2	50,6	25,2	73,8	95,1

(b) zonebreedte; geoptimaliseerde klokgetallen										
belastings- percentage	links					rechts				
380 kV \ 150 kV	-30	-15	0	15	30	-30	-15	0	15	30
-50	60,0	58,9	58,3	58,2	58,7	57,1	41,1	8,3	52,9	69,0
-30	49,1	47,6	46,8	46,8	47,4	59,4	42,9	*	50,1	66,5
-15	37,6	35,7	34,9	35,1	36,3	61,7	44,5	*	48,1	64,6
0	12,9	*	*	*	12,9	62,9	46,2	*	46,2	62,9
15	36,3	35,1	34,9	35,7	37,6	64,6	48,1	*	44,5	61,7
30	47,4	46,8	46,8	47,6	49,1	66,5	50,1	*	42,9	59,4
50	58,7	58,2	58,3	58,9	60,0	69,0	52,9	8,3	41,1	57,1

Het onderste deel van Tabel 3, dus de situatie met geoptimaliseerde klokgetallen, is grafisch weergegeven in Figuur 4. Dit figuur bestaat uit vier onderdelen: (a) en (b) tonen de zonebreedte aan de linkerzijde van deze configuratie en (c) en (d) aan de rechterzijde. De onderdelen (a) en (c) tonen hoe de zonebreedte links en rechts verandert als het belastingspercentage van de 150 kV lijn wordt gevarieerd; de onderdelen (b) en (d) tonen hoe de zonebreedte links en rechts verandert als het belastingspercentage van de 380 kV lijn wordt gevarieerd.



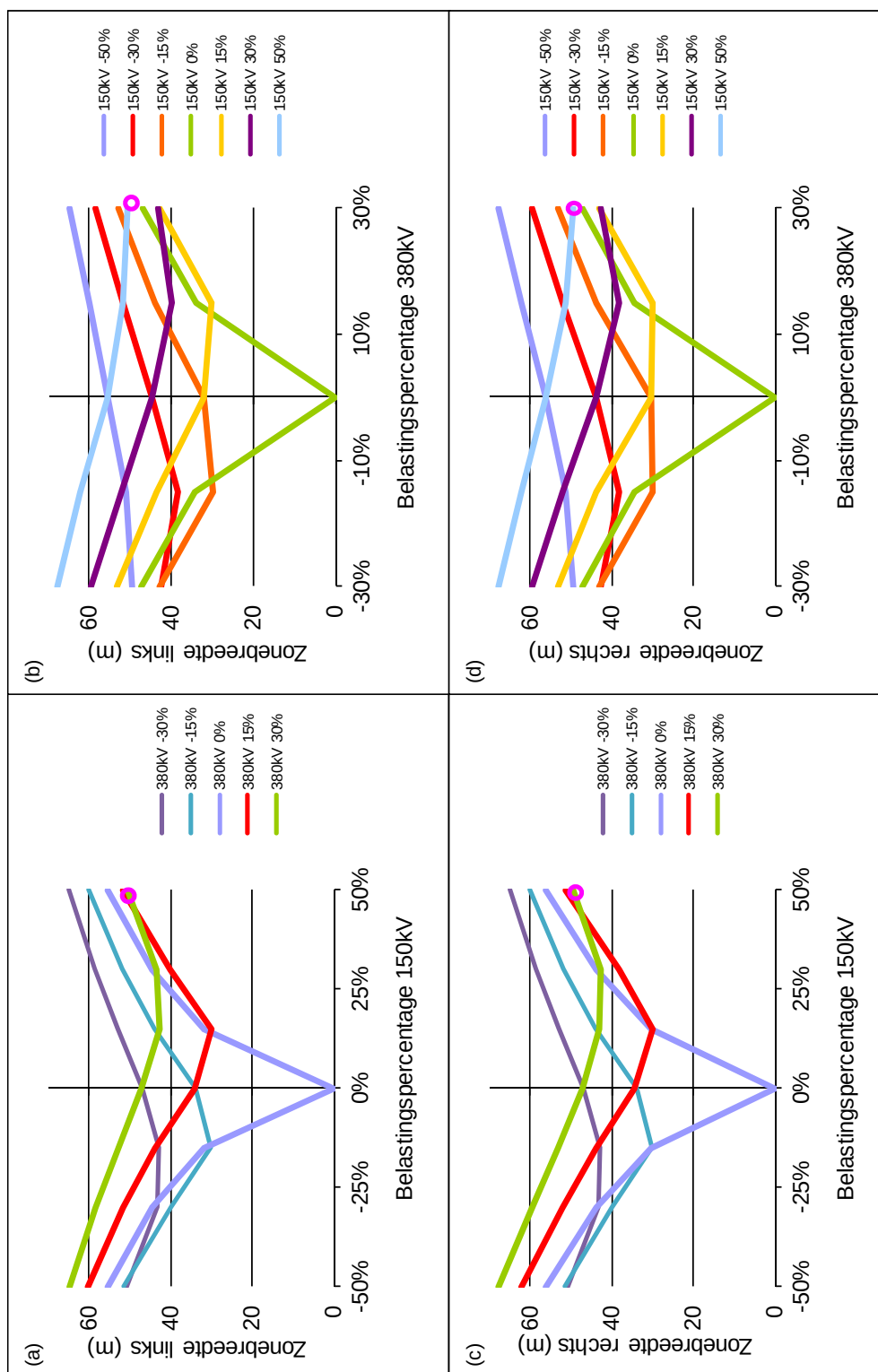
Figuur 4 Grafische weergave van de zonebreedtes voor Donau parallel met geoptimaliseerde klokgetallen (Tabel 3(b)). Het roze rondje geeft de zonebreedte voor de belastingspercentages uit Handreiking 3.0 weer (30% voor 380 kV en 50% 150 kV, stromen in gelijke richting).

Tabel 4 Wintrack combi: zonebreedtes links en rechts van de hartlijn voor verschillende combinaties van belastingspercentages, zonder (a) en met (b) optimalisatie van de klokgetallen

(a) zonebreedte; niet-geoptimaliseerde klokgetallen										
belastings- percentage	links					rechts				
380 kV / 150 kV	-30	-15	0	15	30	-30	-15	0	15	30
-50	147,7	122,1	87,8	38,1	92,6	148,3	122,6	87,8	38,2	94,4
-30	139,3	110,8	68,3	53,4	107,6	140,2	111,3	68,2	54,7	108,9
-15	132,6	100,8	46,6	74,2	116,9	133,5	101,3	46,6	75,0	118,0
0	125,1	89,0	*	89,0	125,1	126,1	89,6	*	89,6	126,1
15	116,9	74,2	46,6	100,8	132,6	118,0	75,0	46,6	101,3	133,5
30	107,6	53,4	68,3	110,8	139,3	108,9	54,7	68,2	111,3	140,2
50	92,6	38,1	87,8	122,1	147,7	94,4	38,2	87,7	122,6	148,3

(b) zonebreedte; geoptimaliseerde klokgetallen										
belastings- percentage	links					rechts				
380 kV / 150 kV	-30	-15	0	15	30	-30	-15	0	15	30
-50	50,6	51,6	55,4	60,1	64,9	49,4	51,1	56,1	62,0	67,6
-30	43,3	40,0	44,7	51,8	58,4	42,6	38,3	43,8	52,2	59,5
-15	42,7	30,1	32,0	43,9	52,9	42,9	29,9	30,3	43,7	53,3
0	47,1	34,0	*	34,0	47,1	47,3	34,3	*	34,3	47,3
15	52,9	43,9	32,0	30,1	42,7	53,3	43,7	30,3	29,9	42,9
30	58,4	51,8	44,7	40,0	43,3	59,5	52,2	43,8	38,3	42,6
50	64,9	60,1	55,4	51,6	50,6	67,6	62,0	56,1	51,1	49,4

Het onderste deel van Tabel 4, dus de situatie met geoptimaliseerde klokgetallen, is grafisch weergegeven in Figuur 5. Dit figuur bestaat uit vier onderdelen: (a) en (b) tonen de zonebreedte aan de linkerzijde van deze configuratie en (c) en (d) aan de rechterzijde. De onderdelen (a) en (c) tonen hoe de zonebreedte links en rechts verandert als het belastingspercentage van de 150 kV lijn wordt gevarieerd; de onderdelen (b) en (d) tonen hoe de zonebreedte links en rechts verandert als het belastingspercentage van de 380 kV lijn wordt gevarieerd.



Figuur 5 Grafische weergave van de zonebreedtes voor Wintrack combi, met geoptimaliseerde klokgetallen (Tabel 4(b)). Het roze rondje geeft de zonebreedte voor de belastingspercentages uit Handreiking 3.0 weer (30% voor 380 kV en 50% 150 kV, stromen in gelijke richting).

3.6 Conclusies

Uit Tabel 2 t/m Tabel 4 blijkt dat voor de drie geschetste situaties de breedte van de magneetveldzone, als er met beïnvloeding gerekend wordt, afhangt van de keuze van de combinaties van belastingspercentages en de stroomrichting. De berekening voor een vast percentage van 30% (380 kV) en 50% (150 kV) en parallelle stroom in alle circuits (volgens Handreiking 3.0), geeft - voor de configuraties met geoptimaliseerde klokgetallen - niet altijd de magneetveldzone met de grootste breedte. Voor Wintrack/Donau parallel bedraagt het maximale verschil aan de rechterzijde 0,8 m (1,6%). Voor Donau parallel is dat rechts een maximaal verschil van 11,9 m (14,5%). Voor Wintrack combi bedraagt het maximale verschil aan de linkerzijde 11,3 m (22,5%) en aan de rechterzijde 20,1 m (40,7%).

4 Voorstellen voor aanpassingen

4.1 Inleiding

Het voornemen van het ministerie van IenM om, in overeenstemming met het voorzorgsbeleid, rekening te houden met onderlinge beïnvloeding van de hoogspanningslijnen heeft gevolgen voor de Handreiking. Het RIVM concludeert dat de berekening zoals uitgewerkt in Handreiking 3.0 in situaties met beïnvloeding niet altijd leidt tot de breedste magneetveldzone. Het ministerie van IenM staat een benadering voor waarbij de breedte van de magneetveldzone niet wordt onderschat. Rekening houden met beïnvloeding heeft ook gevolgen voor de andere RIVM-producten die de uitvoeringspraktijk ondersteunen: de Netkaart en de lijst met adviesbureaus. De indicatieve zones op de Netkaart zijn bepaald zonder met deze beïnvloeding rekening te houden en de vergelijking van de adviesbureaus op de lijst omvatte geen gebundelde of kruisende verbindingen.

Hieronder wordt aangegeven op welke manier de Handreiking, de Netkaart en de lijst met adviesbureaus gewijzigd zouden kunnen worden om met onderlinge beïnvloeding rekening te houden. Het gaat om een globale aanpak. Bij de aanpassing van elk individueel product afzonderlijk zullen de details verder worden uitgewerkt en zullen door het ministerie van IenM definitieve keuzen worden gemaakt.

4.2 Handreiking

4.2.1 *Gevolgen belastingspercentage en stroomrichting*

Het ministerie van IenM streeft naar een voldoende beschermingsniveau voor de bevolking en wil vanuit het voorzorgsbeginsel voorkomen dat de omvang van de magneetveldzone wordt onderschat. Dat betekent in situaties waarbij van beïnvloeding sprake is dat bij de berekening mogelijk met een aantal combinaties van belastingspercentages maar zeker met de stroomrichting rekening gehouden moet worden.

Wanneer de netbeheerder op basis van de eigenschappen van een specifieke situatie aan het bevoegd gezag (gemeente, provincie of het Rijk bij het vaststellen van een bestemmings- of inpassingsplan voor een nieuwe situatie zoals bedoeld in het magneetveldenbeleid) aantoont en onderbouwt dat voor die situatie bepaalde combinaties van belastingspercentages of stroomrichting niet (kunnen) voorkomen, dan kan het rekenwerk worden beperkt. Een voorbeeld is als de stroom door de verbindingen altijd parallel of altijd tegengesteld is.

Omdat niet bekend is hoe de zonebreedte met de belastingspercentages varieert, kunnen relatief kleine stappen in de belastingspercentages nodig zijn om de zonebreedtes goed in beeld te brengen. Dat zou een substantiële uitbreiding van het rekenwerk betekenen. Een mogelijke keuze voor de combinaties van belastingspercentages en de bijbehorende zonebreedtes voor een Wintrack combinatielijn is weergegeven in Tabel 5.

De kleuren zijn overeenkomstig Tabel 2 t/m Tabel 4:

- **zwart en vet**, de zonebreedte voor de belastingspercentages uit Handreiking 3.0 (30% voor 380 kV en 50% 150 kV) en stromen in gelijke richting, de referentie zonebreedte;
- **blauw**, de maximale zonebreedte in de tabel;
- **rood**, die combinaties van belastingspercentage en stroom die tot een bredere magneetveldzone dan de referentie leiden;
- **zwart**, die combinaties van belastingspercentage en stroom die tot een smallere magneetveldzone dan de referentie leiden.

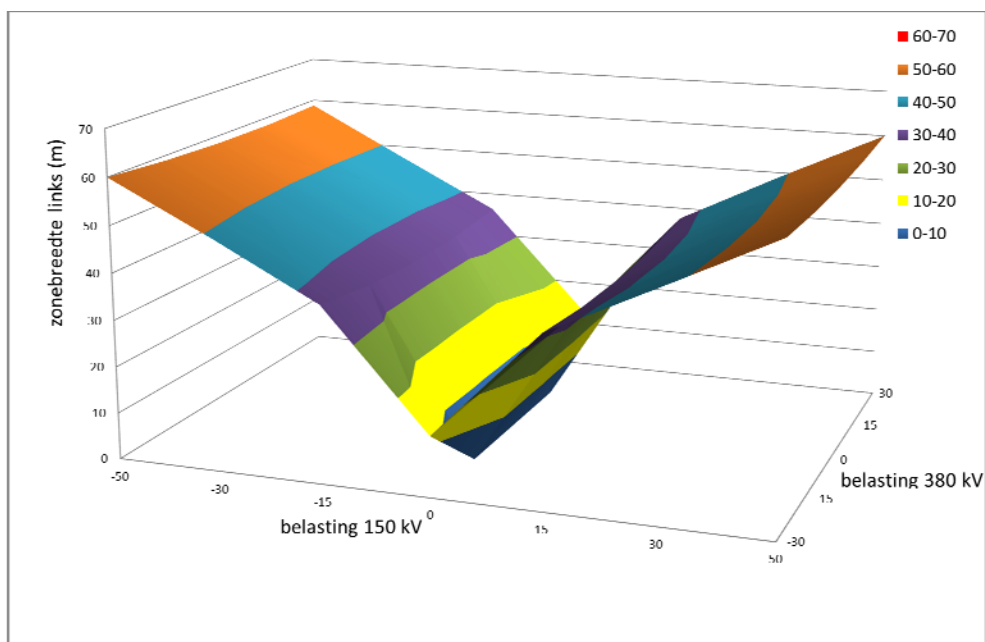
Tabel 5 Mogelijke keuze voor belastingspercentages en de bijbehorende zonebreedtes voor de Wintrack-combinatielijn aan de linkerzijde (grijze circuit)

		zonebreedte links				
380 kV 150 kV		-30%	-15%	0%	15%	30%
	-50%	50,6	51,6	55,4	60,1	64,9
	-25%	42,4	36,5	41,2	49,4	56,6
	0%	47,1	34,0		34,0	47,1
	25%	56,6	49,4	41,2	36,5	42,4
	50%	64,9	60,1	55,4	51,6	50,6

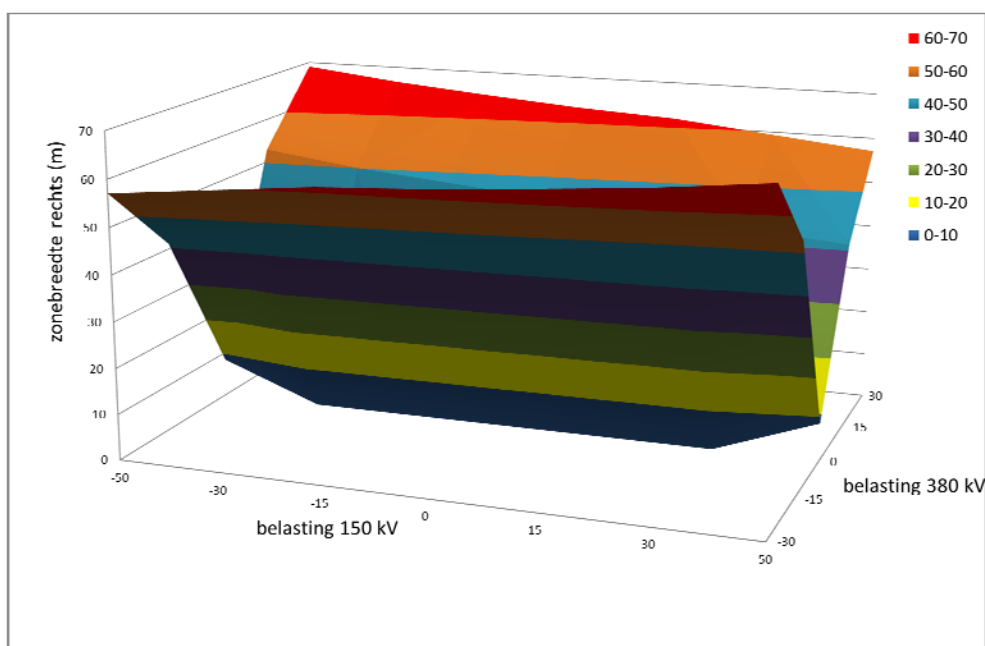
In totaal gaat het (als de combinatie 0%/0% niet wordt meegerekend) om 24 combinaties voor één situatie met beïnvloeding.

Dit aantal kan gereduceerd worden. Alle berekeningen tot nu toe geven aan dat 'gespiegelde' combinaties van belastingspercentages zoals 30%/-15%; -30%/15% en -30%/-50%; 30%/50% tot dezelfde zonebreedte leiden. Dat reduceert het aantal berekeningen voor één situatie met beïnvloeding (twee verbindingen) tot twaalf (de gele vakjes in Tabel 5). Waarschijnlijk kan het aantal door te rekenen combinaties nog verder worden gereduceerd. In Tabel 2 t/m Tabel 4 en worden de breedste zones steeds gevonden in de hoekpunten van de tabel, bij een van de combinaties -30%/50% of 30%/50%.

Om inzicht te krijgen welke belastingspercentages uiteindelijk zullen moeten worden doorgerekend indien niet eenduidig de maximale waarden vooraf zijn te bepalen, is het belangrijk een indruk te krijgen van de 'ruimte' met zonebreedtes en belastingspercentages. Daarvoor is een driedimensionale weergave gemaakt van de zonebreedte aan de linker- en rechterzijde voor de configuraties Donau parallel en Wintrack combi (met geoptimaliseerde klokgetallen): zie Figuur 6 en Figuur 7.

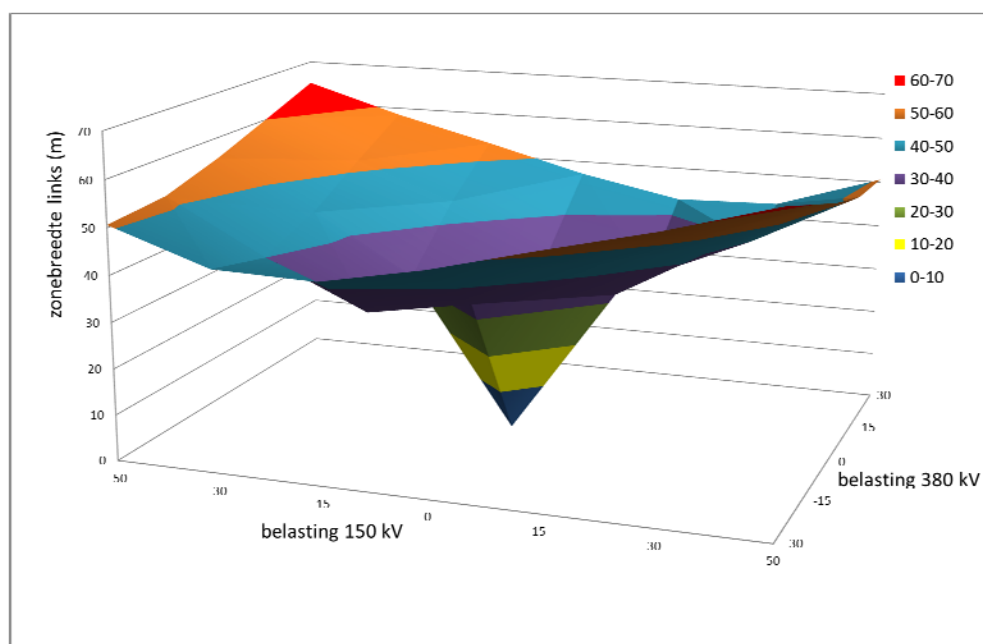


(a)

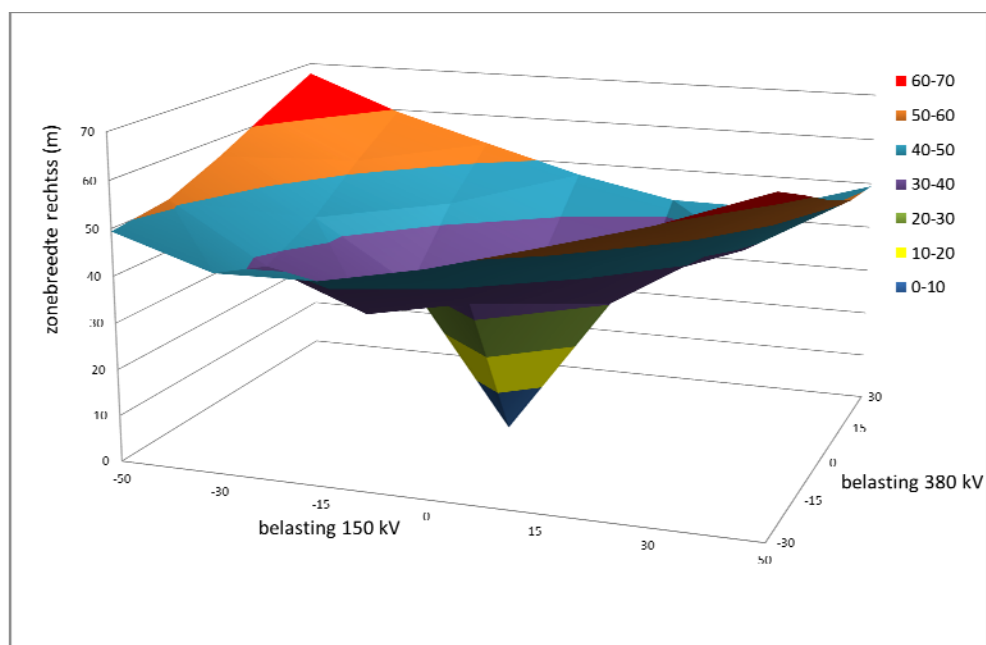


(b)

Figuur 6 Driedimensionale weergave van de zonebreedtes voor Donau parallel, met geoptimaliseerde klokgetallen (Tabel 3(b)): (a) linkerzijde, (b) rechterzijde



(a)



(b)

Figuur 7 Driedimensionale weergave van de zonebreedtes voor Wintrack combi, met geoptimaliseerde klokgetallen (Tabel 4(b)): (a) linkerzijde, (b) rechterzijde

In de driedimensionale weergave kan de belasting van de 380 kV verbinding variëren tussen -30% en 30% en die van de 150 kV verbinding tussen -50% en 50%. De mogelijke belastingen liggen dus in het binnengebied en op de rand van de rechthoek (het grondvlak) met hoekpunten -50%/-30%, -50%/30%, 50%/30% en 50%/-30%. De weergave laat zien dat de zonebreedte gaande naar de rand van deze rechthoek toeneemt. De maximale zonebreedte ligt steeds op een van de hoekpunten van deze rechthoek. Lokale maxima met een hogere waarde ergens in het binnengebied komen bij deze drie configuraties niet

voor. Figuur 7 ondersteunt de veronderstelling dat voor twee verbindingen in elkaars nabijheid één van de belastingscombinaties -30%/50% of 30%/50% altijd tot de magneetveldzone met de grootste breedte leidt. Als deze veronderstelling algemeen bewezen zou kunnen worden, hoeven voor een volledig beeld slechts twee belastingscombinaties te worden doorgerekend. TenneT heeft, in samenwerking met de Technische Universiteit Delft, het initiatief genomen om dit bewijs te leveren.

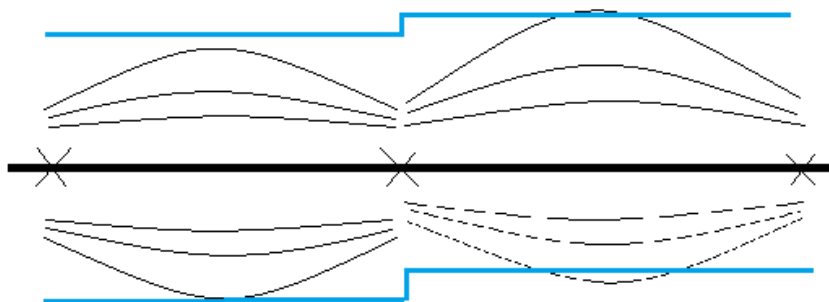
Voor de situaties waarbij zich meer dan twee verbindingen in elkaars nabijheid bevinden, moet mogelijk een groter aantal combinaties van belastingspercentages worden doorgerekend.

4.2.2 Weergave magneetveldzone

Bij een tweecircuitlijn wordt de magneetveldzone per vaksegment als een rechte lijn parallel aan de hoogspanningslijn weergegeven. De magneetveldzone voor een situatie met beïnvloeding heeft een ander karakter. Allereerst omdat er bij elke doorgerekende combinatie van belastingspercentages een magneetveldcontour hoort. Dit samenstel van magneetveldcontouren moet vereenvoudigd worden tot de uiteindelijke magneetveldzone. Soms, zoals bij een combinatielijn of bij parallelle lijnen waarvan de masten 'in de pas' staan, kan die samengestelde contour nog tot rechte lijnen worden vereenvoudigd, soms zal die contour worden gebruikt om de magneetveldzone vast te leggen.

Combinatielijn

Bij de berekening van de magneetveldzone voor een combinatielijn of een parallelle lijn waarvan de masten 'in de pas' staan, wordt, voor de voorgeschreven combinaties van belastingspercentages, de magneetveldcontour bepaald. Dit levert een reeks magneetveldcontouren per vaksegment aan beide zijden van de combinatielijn. Van deze contouren wordt per vaksegment en per zijde van de lijn die gekozen die in zich het verst van de hartlijn uitstrekt. Bij die contour wordt, op de plek waar de contour het verst van de hartlijn ligt, de afstand tot de hartlijn bepaald. Deze afstand wordt afgerond op de in Handreiking 3.0 voorgeschreven manier. Op de zo bepaalde afstand wordt de magneetveldzone als rechte lijnen per vaksegment weergegeven (Figuur 8).

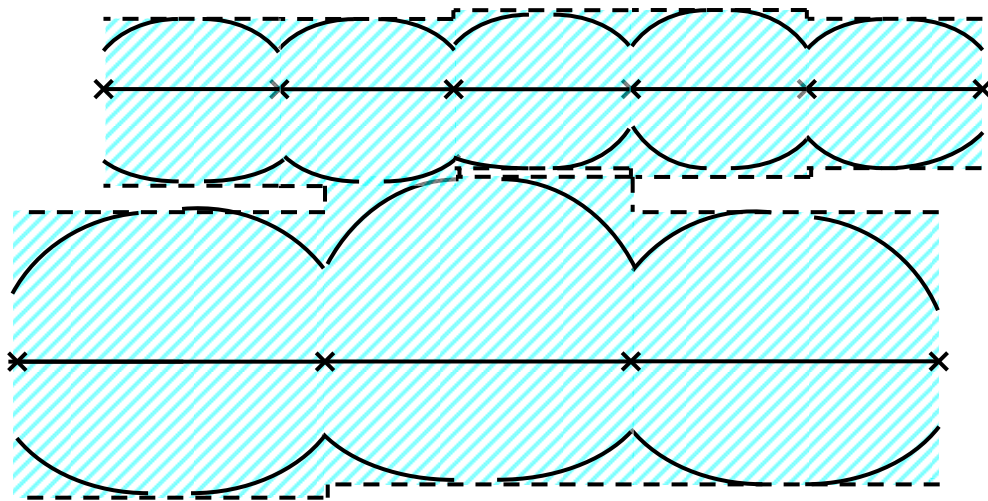


Figuur 8 Weergave van de magneetveldzone bij een combinatielijn; de zwarte contouren zijn uitgerekend voor de verschillende belastingspercentages; de blauwe lijnen geven de grenzen van de magneetveldzone weer die daar, na de voorgeschreven afronding, overheen is gelegd

Parallelle lijnen

Bij de berekening van de magneetveldzone voor parallelle lijnen waarbij de masten niet 'in de pas' staan (zie Figuur 9), wordt voor de voorgeschreven combinaties van belastingspercentages de magneetveldcontour bepaald.

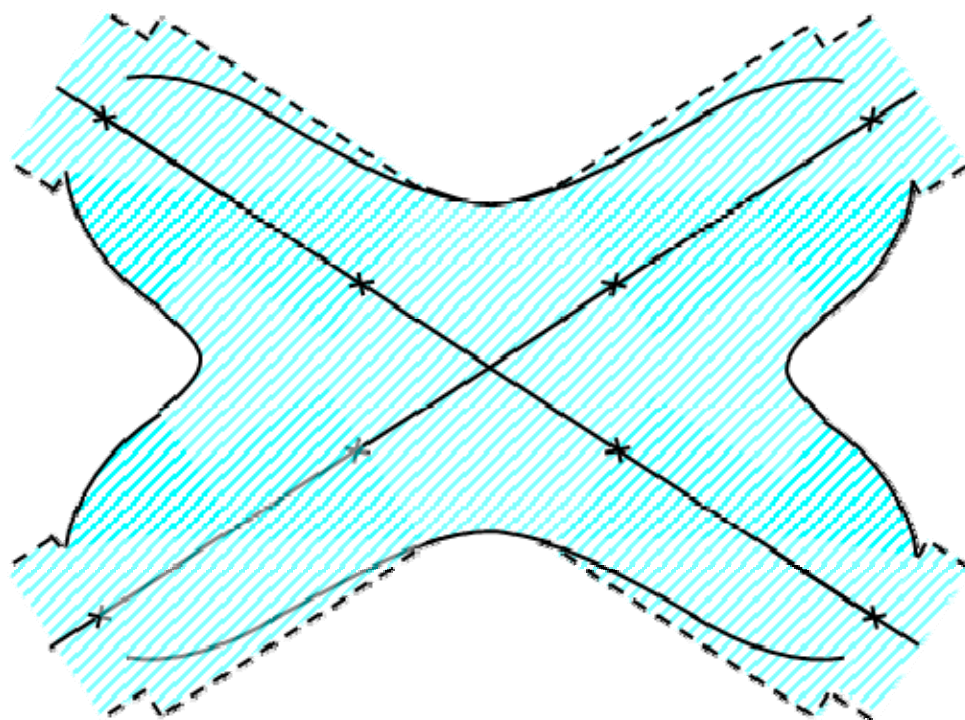
Vervolgens wordt per lijn, voor elk vaksegment bepaald welk van deze contouren zich het verst van de hartlijn uitstrekt. Bij die contour wordt, op de plek waar de contour het verst van de hartlijn ligt, de afstand tot de hartlijn bepaald. Deze afstand wordt afgerond op de in Handreiking 3.0 voorgeschreven manier. Op deze afstand wordt voor elke lijn per vaksegment de magneetveldzone vastgelegd. Als de zones van de individuele lijnen overlappen, vloeit de magneetveldzone samen. Dit levert de magneetveldzone zoals weergegeven in Figuur 9. De weergegeven contouren per vaksegment volgen niet direct uit een berekening, maar zijn in dit fictieve voorbeeld zo gekozen dat een aantal mogelijke manieren van overlap tussen zones van de verschillende vaksegmenten voorkomen.



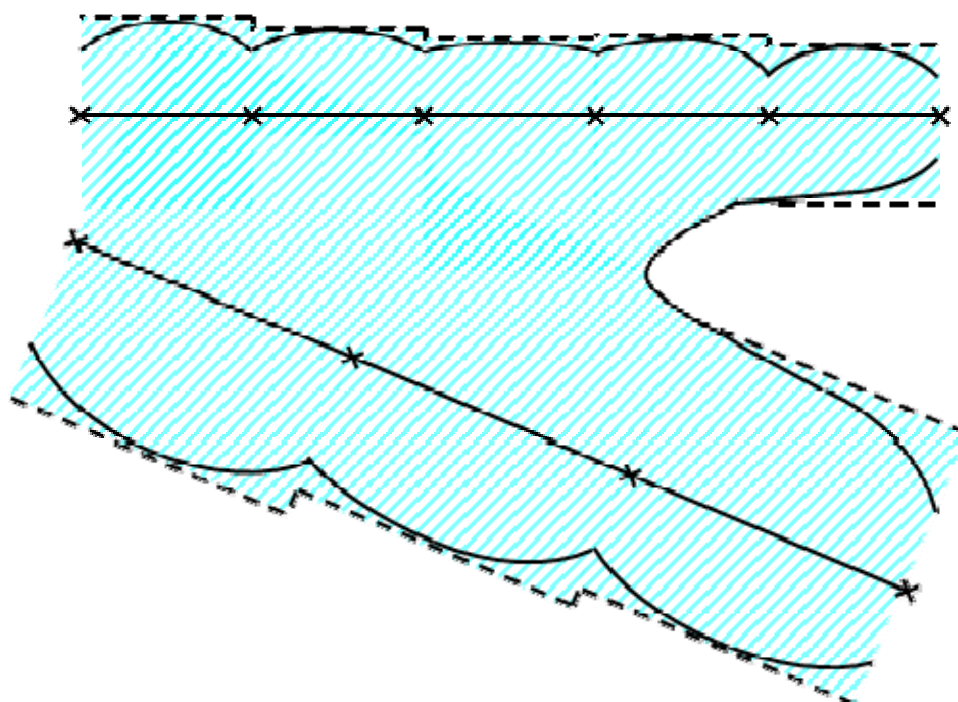
Figuur 9 Mogelijke weergave van de magneetveldzone bij parallelle lijnen; de 'gekromde' zones zijn berekend voor het systeem als geheel en niet voor de individuele lijnen apart; vervolgens zijn na afronding tot op 5 m nauwkeurig de rechte lijnen aangebracht

Kruisende of elkaar naderende lijnen

Bij de berekening van de magneetveldzone in deze situatie wordt voor de voorgeschreven combinaties van belastingspercentages de magneetveldcontour bepaald. Deze contour wordt berekend op basis van het gehele systeem, en niet voor beide lijnen apart. Van deze magneetveldcontouren wordt de omhullende contour samengesteld, die zich het verst van de lijnen uitstrekt. Waar mogelijk wordt de magneetveldzone per vaksegment als rechte lijnen (rechthoeken) weergegeven. Hierbij wordt de afronding volgens Handreiking 3.0 gehanteerd. Mogelijk lukt dit in de oksels van de kruising (of waar de lijnen dicht bij elkaar komen) niet op een eenduidige manier. In die gevallen zal de (omhullende) contour als magneetveldzone worden gepresenteerd. Figuur 10 en Figuur 11 geven een eerste aanzet voor zo'n presentatie. Details zullen in de Handreiking nader worden uitgewerkt.



Figuur 10 Mogelijke weergave van de magneetveldzone bij kruisende lijnen



Figuur 11 Mogelijke weergave van de magneetveldzone bij lijnen die elkaar naderen

4.3 Netkaart

Op dit moment geeft de Netkaart van het RIVM de breedte van de indicatieve zone voor individuele hoogspanningslijnen. De indicatieve zone geeft aan of op die locatie een zoneberekening wenselijk is. Ligt een perceel buiten de indicatieve zone, dan vormt de hoogspanningslijn geen belemmering voor het realiseren van woningen, scholen, crèches en kinderopvangplaatsen en is berekening van de magneetveldzone niet nodig omdat het jaargemiddelde magneetveld beneden 0,4 microtesla blijft. Ligt een perceel binnen de indicatieve zone, dan is berekening van de specifieke magneetveldzone nodig om vast te stellen of het perceel binnen of buiten de specifieke zone ligt. De indicatieve zone die nu op de Netkaart staat, houdt geen rekening met de eventuele aanwezigheid van andere bovengrondse hoogspanningslijnen.

In situaties waarbij van beïnvloeding sprake is geeft de indicatieve zone van een individuele lijn geen volledig beeld van de magneetveldzone. Dat zou tot gevolg kunnen hebben dat een berekening van de specifieke magneetveldzone achterwege blijft op een plek waar die eigenlijk wel nodig is en dat men op basis van onvolledige/onjuiste informatie zou kunnen besluiten om gevoelige bestemmingen binnen de specifieke magneetveldzone te realiseren. De gebruiker van de Netkaart zal op deze complicatie geattendeerd moeten worden. Deze attendering zou op twee manieren kunnen plaatsvinden, namelijk via een generieke waarschuwing op de webpagina over de Netkaart of via een pop-up als de gebruiker in de Netkaart op een hoogspanningslijn klikt waar een andere hoogspanningslijn in de buurt is. De eerste optie is relatief eenvoudig uitvoerbaar maar minder specifiek. De tweede optie bedient de gebruiker beter en is specifiek voor de bekeken locatie. Onderzocht moet worden of deze optie binnen de structuur van de Netkaart technisch realiseerbaar is en voldoende betrouwbaar is. Een combinatie van beide opties is ook mogelijk.

4.4 Lijst met adviesbureaus

Voor Handreiking 3.0 is een toepassingstest uitgevoerd en in een RIVM-rapport vastgelegd [35]. De door de zeven deelnemers aan deze test berekende zonebreedtes bleken voldoende (binnen 5 m) overeen te komen. Op basis van deze toepassingstest is een referentie voor de zonebreedte van de vijf standaardconfiguraties vastgesteld. De bij de toepassingstest betrokken bureaus zijn op een lijst geplaatst met adviesbureaus die een zoneberekening volgens Handreiking 3.0 kunnen uitvoeren. Nieuwe adviesbureaus die in de lijst willen worden opgenomen, moeten aantonen dat hun berekeningen voor de standaardconfiguraties tot vergelijkbare waarden van de zonebreedte leiden [35]. Op deze manier wordt gerealiseerd dat als verschillende adviesbureaus dezelfde situatie doorrekenen er vergelijkbare zonebreedtes uitkomen.

Als het rekenvoorschrift voor situaties met beïnvloeding in de Handreiking is opgenomen, worden voor die situaties extra eisen gesteld aan de rekenmodellen en aan de manier waarop de resultaten gerapporteerd worden.

Om eenzelfde vergelijkbaarheid te bereiken voor de rekenmethode voor verbindingen die zich in elkaars nabijheid bevinden, zal een toepassingstest op basis van de nieuwe Handreiking plaats moeten vinden. Voor zo'n test zal eerst worden geïnventariseerd welke adviesbureaus geïnteresseerd zijn om deel te nemen. Vervolgens zal in overleg met TenneT een aantal typische configuraties vastgesteld moeten worden, bijvoorbeeld: een combinatielijn 380 kV/380 kV, twee parallelle lijnen die splitsen (in het parallelle stuk en bij de splitsing), en

een kruising van een 380 kV en 150 kV hoogspanningslijn. Deze configuraties worden samen met versie 3.1 van de Handreiking aan de deelnemers voorgelegd met het verzoek om de magneetveldzones volgens de nieuwe Handreiking te berekenen en te rapporteren. De ingestuurde magneetveldzones worden geanalyseerd en vergeleken. Er worden criteria opgesteld of een zoneberekening al dan niet voldoet en de adviesbureaus die aan de criteria voldoen worden in de lijst opgenomen.

Naar verwachting zullen niet alle adviesbureaus van de lijst willen deelnemen aan de toepassingstest op basis van de nieuwe Handreiking. De adviesbureaus die dat niet doen, blijven gekwalificeerd voor de standaardsituatie uit Handreiking 3.0. In de lijst met adviesbureaus zal worden aangegeven welke adviesbureaus gekwalificeerd zijn voor de standaardsituatie en welke adviesbureaus daarnaast gekwalificeerd zijn voor zoneberekeningen in situaties waar van onderlinge beïnvloeding sprake is die in de toepassingstest zijn meegenomen. Er kunnen situaties bestaan die afwijken van de situaties met beïnvloeding die in de toepassingstest zijn meegenomen, waarvoor bij een zoneberekening een verduidelijking van de Handreiking nodig blijft.

Er ontstaat een periode waarin de rekenmethode voor situaties waarin van beïnvloeding sprake is in de Handreiking 3.1 is vastgelegd, maar waarin nog niet duidelijk is in hoeverre de rekenresultaten van verschillende adviesbureaus onderling vergelijkbaar zijn en welke adviesbureaus in staat zijn zo'n ingewikkelde berekening uit te voeren. Een initiatiefnemer dient in die periode bij de opdrachtverlening te onderzoeken of een adviesbureau met onderlinge beïnvloeding kan rekenen en of het ervaring met dat type berekeningen heeft.

4.5 Afbakening situaties met beïnvloeding

In situaties waar hoogspanningsverbindingen zich in elkaars nabijheid bevinden is het, zowel voor de gebruiker van de Handreiking als voor de gebruiker van de Netkaart, belangrijk vast te stellen in welk gebied met de onderlinge beïnvloeding rekening moet worden gehouden. Het is wenselijk dat gebied beperkt te houden om te voorkomen dat er onnodig uitgebreide berekeningen worden uitgevoerd.

Hieronder worden enkele mogelijkheden beschreven. De details zullen bij de aanpassing van de Handreiking en de Netkaart verder worden uitgewerkt. Dan zullen ook definitieve keuzen worden gemaakt.

4.5.1 *Gebruik Handreiking in situaties met beïnvloeding*

Voor combinatielijnen is de onderlinge beïnvloeding over het gehele te beoordelen traject van belang. Voor alle vaksegmenten moet met die onderlinge beïnvloeding rekening worden gehouden. In deze situatie vraagt de berekening van de zonebreedte weinig extra inzet.

Voor de andere systemen met beïnvloeding (parallele lijnen, kruisingen) kan gebruik worden gemaakt van de 0,2 microteslazone van de individuele lijnen om het 'beïnvloedingsgebied' te identificeren. Uitgangspunt is dat als een locatie buiten de 0,2 microteslazone van beide verbindingen ligt, het jaargemiddelde veld ook bij een berekening met beïnvloeding niet boven de 0,4 microtesla komt. De 0,2 microteslazone is hierbij gedefinieerd als de strook grond die zich aan beide zijden langs een bovengrondse hoogspanningslijn uitstrekt en waarbinnen het magneetveld gemiddeld over een jaar hoger dan 0,2 microtesla

is of in de toekomst kan worden. In de situatie waarin een zoneberekening wordt uitgevoerd kan de 0,2 microteslazone van de individuele verbindingen direct worden berekend, vrijwel zonder extra inzet. Net als bij de 0,4 microteslazone wordt de 0,2 microteslazone weergegeven als rechte lijnen parallel aan de hoogspanningslijn. Vervolgens wordt het gebied vastgesteld waar beide 0,2 microteslazonen overlappen. Dat gebied is het beïnvloedingsgebied. Voor de vaksegmenten van beide verbindingen die geheel of gedeeltelijk binnen het beïnvloedingsgebied liggen wordt de magneetveldzone berekend met beïnvloeding. Voor de overige vaksegmenten (van beide lijnen) hoeft geen rekening met beïnvloeding te worden gehouden.

4.5.2 *Gebruik Netkaart in situaties met beïnvloeding*

Een gebruiker die op basis van de Netkaart wil beoordelen of er sprake is van een situatie waar met onderlinge beïnvloeding van hoogspanningsverbindingen rekening moet worden gehouden, zou daarvoor een 'indicatieve 0,2 microteslazone' kunnen gebruiken. Als hij een ruimtelijk plan wil realiseren, is, naast de check op overlap met de indicatieve zone, een extra check nodig of zijn plan overlapt met de 'indicatieve 0,2 microteslazone' van de individuele lijnen. Is dat nergens het geval, dan kan een zoneberekening achterwege blijven. Is er wel overlap met de 'indicatieve 0,2 microteslazone' van een van de lijnen, dan is een zoneberekening nodig om vast te stellen of het perceel binnen of buiten de magneetzone ligt. Dat zal in deze situatie vaak een berekening zijn waarbij met beïnvloeding rekening wordt gehouden (zie paragraaf 4.5.1).

Er zijn verschillende mogelijkheden om deze 'indicatieve 0,2 microteslazone' te bepalen. Een manier is om de breedte van deze zone op precies dezelfde manier te bepalen als de gewone indicatieve zone, met als enige verschil dat er voor de 'indicatieve 0,2 microteslazone' wordt uitgegaan van een grenswaarde van 0,2 microtesla voor het magneetveld in plaats van de 0,4 microtesla die voor de indicatievezone wordt gebruikt. Deze 'indicatieve 0,2 microteslazone' zou aan de Netkaart kunnen worden toegevoegd.

Een andere aanpak is gebruik te maken van vuistregels. Zo'n vuistregel geeft aan met welke factor de breedte van de indicatieve zone, zoals die nu in de Netkaart is opgenomen, moet worden vermenigvuldigd om een goede indicatie te krijgen voor de breedte van de 0,2 microteslazone. Tabel 6 geeft een voorbeeld van deze toeslagfactoren

Tabel 6 Toeslagfactor voor het schatten van de breedte van de zone in een situatie met beïnvloeding uit de breedte van de zone van de individuele lijn

	toeslagfactor
110 kV, 150 kV, 220 kV, 380 kV	1,5
combi-lijnen (vakwerk)	1,7
combi-lijnen (Wintrack 380/150)	1,4

Bijlage 5 bevat de gedetailleerde beschrijving van het bepalen van deze toeslagfactoren.

Deze aanpak kan nog worden vereenvoudigd door voor alle spanningsniveaus en configuraties met één vaste toeslagfactor, bijvoorbeeld 1,5 of 2 te werken.

Referentie

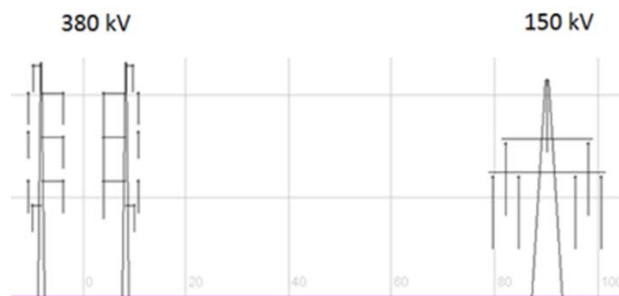
- 1 Advies (en bijlage) met betrekking tot hoogspanningslijnen van voormalig staatssecretaris Van Geel van VROM aan Colleges van Burgemeester en Wethouders, Colleges van Gedeputeerde Staten, IPO, VNG, EnergieNed, Netbeheerders Elektriciteit, gedateerd 3 oktober 2005, kenmerk SAS/2005183118. Zie onderaan webpagina www.rivm.nl/Onderwerpen/Onderwerpen/H/Hoogspanningslijnen
- 2 Verduidelijking advies met betrekking tot hoogspanningslijnen. Brief minister Cramer van VROM, gedateerd 4 november 2008, kenmerk DGM\2008105664.
- 3 Kelfkens G, Pruppers MJM. Handreiking voor het berekenen van de specifieke 0,4 microtesla zone in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen. Versie 3.0, RIVM, juni 2009.
- 4 IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Static and Extremely Low-Frequency Electric and Magnetic Fields Vol. 80, June 2001.
- 5 Kennisplatform Elektromagnetische Velden. Kennisbericht 'Hoogspanningslijnen en kinderleukemie', Kennisbericht 2009-004, 1 september 2009.
- 6 Derde Structuurschema Elektriciteitsvoorziening (SEV III). Planologische Kernbeslissing Deel 3a: Kabinetsstandpunt na behandeling door de Tweede Kamer. Tweede Kamer, vergaderjaar 2008–2009, 31 410, nr. 15. Publicatiedatum 29-06-2009. (<http://parlis.nl/pdf/kamerstukken/KST132330.pdf>)
- 7 Ahlbom A, Day N, Feychting M et al. A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. Br. J. Cancer 2000; 83(5):692-8.
- 8 Greenland S, Sheppard AR, Kaune WT, Poole C, Kelsh MA. A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia. Epidemiology 2000; 11(6):624-34.
- 9 Kheifets L, Ahlbom A, Crespi CM, Draper G, Hagihara J, Lowenthal RM, Mezei G, Oksuzyan S, Schüz J, Swanson J, Tottarelli A, Vincenti M and Wunsc Filho W. Pooled analysis of recent studies on magnetic fields and childhood leukemia. Br. J. Cancer 2010 103: 1128-1135.
- 10 Feychting M, Ahlbom A. Magnetic fields and cancer in children residing near Swedish high-voltage power lines. Am. J. Epidemiol. 1993; 138(7):467-81.
- 11 Savitz DA, Wachtel H, Barnes FA, John EM, Tvrdik JG. Case-control study of childhood cancer and exposure to 60 Hz magnetic fields. Am. J. Epidemiol. 1988; 128(1):21-38.
- 12 London SJ, Thomas DC, Bowman JD, Sobel E, Cheng T-C, Peters JM. Exposure to residential electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia. Am. J. Epidemiol. 1991; 134(9):923-37.
- 13 Tynes T, Haldorsen T. Electromagnetic fields and cancer in children residing near Norwegian high-voltage power lines. Am. J. Epidemiol. 1997; 145(3):219-26.
- 14 Coghill RW, Steward J, Philips A. Extra low frequency electric and magnetic fields in the bedplace of children diagnosed with leukaemia: a case-control study. Eur. J. Cancer Prev. 1996; 5(3):153-8.
- 15 Dockerty JD, Elwood JM, Skegg DCG, Herbison GP. Electromagnetic field exposures and childhood leukaemia in New Zealand [letter]. The Lancet 1999; 354(9194):1967-8.

- 16 Linet MS, Hatch EE, Kleinerman RA, Robison LL, Kaune WT, Friedman DR. Residential exposure to magnetic fields and acute lymphoblastic leukemia in children. *The New England Journal of Medicine* 1997; 337(1):1-7.
- 17 McBride ML, Gallagher RP, Theriault G. Power-frequency electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia in Canada. *Am. J. Epidemiol.* 1999; 149(9):831-42.
- 18 Michaelis J, Schüz J, Meinert R et al. Combined risk estimates for two German population-based case-control studies on residential magnetic fields and childhood acute leukemia. *Epidemiology* 1998; 9(1):92-4.
- 19 Olsen JH, Nielsen A, Schulgen G. Residence near high voltage facilities and risk of cancer in children. *Br. Med. J.* 1993; 307(6909):891-5.
- 20 Tomenius L. 50-Hz electromagnetic environment and the incidence of childhood tumors in Stockholm County. *Bioelectromagnetics* 1986; 7(2):191-207.
- 21 Verkasalo PK, Pukkala E, Hongisto MY et al. Risk of cancer in Finnish children living close to power lines. *Br. Med. J.* 1993; 307(6909):895-9.
- 22 UK Childhood Cancer Study Investigators. Exposure to power-frequency magnetic fields and the risk of childhood cancer. *The Lancet* 1999; 354(9194):1925-31.
- 23 Wünsch-Filho V, Pelissari DM, Barbieri FE, Sant'Anna L, de Oliveira CT, de Mata JF, Tone LG, Lee MLDM, Andréa MLMD, Bruniera P, Epelman S, Filho VO, Kheifets L. Exposure to magnetic fields and childhood acute lymphocytic leukemia in São Paulo, Brazil. *Cancer Epidemiology* 2011 35, 6: 534-539.
- 24 Bianchi N, Crosignani P, Rovelli A, Tittarelli A, Carnelli CA, Rossitto F, Vanelli U, Porro E, Berrino F. Overhead electricity power lines and childhood leukemia: A registry- based, case-control study. *Tumori* 2000 86 3: 195-198.
- 25 Schüz J, Grigat JP, Brinkmann K, Michaelis J. Residential magnetic fields as a risk factor for childhood acute leukaemia: Results from a German population-based case-control study. *International Journal of Cancer* 2001 91, 5:728-735.
- 26 Kabuto M, Nitta H, Yamamoto S, Yamaguchi N, Akiba S, Honda Y, Hagihara J, Isaka K, Saito T, Ojima T, Nakamura Y, Mizoue T, Ito S, Eboshida A, Yamazaki S, Sokejima S, Kurokawa Y, Kubo O. Childhood leukemia and magnetic fields in Japan: A case-control study of childhood leukemia and residential power-frequency magnetic fields in Japan. *International Journal of Cancer* 2006 119, 3:643-650.
- 27 Lowenthal RM, Tuck DM and Bray IC. Residential exposure to electric power transmission lines and risk of lymphoproliferative and myeloproliferative disorders: A case-control study. *Internal Medicine Journal* 2007 37, 9: 614-619.
- 28 Kroll ME, Swanson J, Vincent TJ, Draper GJ. Childhood cancer and magnetic fields from high-voltage power lines in England and Wales: A case-control study. *Br. J. Cancer* 2010 103, 7:1122-1127.
- 29 Malagoli C, Fabbi S, Teggi S, Calzari M, Poli M, Ballotti E, Notari B, Bruni M, Palazzi G, Paolucci P, and Vinceti M. Risk of hematological malignancies associated with magnetic fields exposure from power lines: A case-control study in two municipalities of northern Italy. *Environmental Health* 2010 9, 1: article number 16.

- 30 RIVM, 3 november 2011. Afspraken over de rekenmethodiek voor de
"magneetveldzone" bij ondergrondse kabels en hoogspanningstations
behorende tot de Randstad 380 kV verbinding.
- 31 Handreiking voor het berekenen van de breedte van de specifieke
magneetveldzone bij bovengrondse hoogspanningslijnen (zie voor de
actuele versie: [www.rivm.nl/Onderwerpen/Onderwerpen/H/
Hoogspanningslijnen/Handreiking](http://www.rivm.nl/Onderwerpen/Onderwerpen/H/Hoogspanningslijnen/Handreiking)).
- 32 Plas M van der, Houthuijs DJM, Dusseldorp A, Pennders RMJ,
Pruppers MJM. Magnetische velden van hoogspanningslijnen en leukemie
bij kinderen. RIVM, Bilthoven, Rapport 610050007, 2001.
- 33 Pruppers MJM. Blootstelling aan extreem laag frequente elektromagne-
tische velden van hoogspanningslijnen - Herberekening naar aanleiding
van het KEMA/RIVM-onderzoek naar de kosten en baten van maatregelen
ter beperking van magnetische velden bij hoogspanningslijnen.
RIVM-briefrapport 032/2003.
- 34 Kelfkens G, Pruppers MJM. Achtergronden beleid bovengrondse
hoogspanningslijnen. RIVM, Bilthoven, Rapport 861020014, 2007.
- 35 Kelfkens G en Pruppers MJM. Berekeningsmethoden magneetveldzone.
RIVM, Bilthoven, Rapport 610790015, 2011.

Bijlage 1 Invloed belastingspercentage - Wintrack/Donau parallel

In een deel van de nog te realiseren ZuidWest 380 kV verbinding Borssele - Tilburg (twee circuit, ontwerpbelasting 3000 A, rekenstroom 900 A) zullen 380 kV Wintrack masten worden geplaatst op een afstand van 90 m van en parallel aan de bestaande 150 kV verbinding Roosendaal - Woensdrecht (twee circuits, ontwerpbelasting 1000 A, rekenstroom 500 A).



De zonebreedte wordt bepaald links van de 380 kV en rechts van de 150 kV masten. Aan de linkerzijde wordt de breedte van de zone bepaald als afstand tot het hart van de 380 kV lijn. Als de zone zich niet links van het hart van de lijn uitstrekt, wordt een * in de tabel gezet. Aan de rechterzijde wordt de zone bepaald als afstand tot het hart van de 150 kV lijn. Als de zone zich niet rechts van het hart van de lijn uitstrekt wordt een * genoteerd.

Allereerst is gezocht naar de combinatie van klokgetallen met een brede zone bij de standaardbelasting van 30% voor de 380 kV lijn en 50% voor de 150 kV lijn. Vervolgens is voor die gevonden combinatie van klokgetallen de breedte van de zone aan beide zijden (dus de afstand van de hartlijn tot de rand van de magneetveldzone) berekend voor alle combinaties van de zes belastingsfracties 0, 15, 30, 50, 75 en 100% ($6 \times 6 - 1 = 35$ combinaties). Deze procedure is herhaald voor de combinatie van klokgetallen met de smalste zone.

In Figuur 12 en Figuur 14 zijn voor de beide doorgerekende combinaties van klokgetallen de resultaten weergegeven:

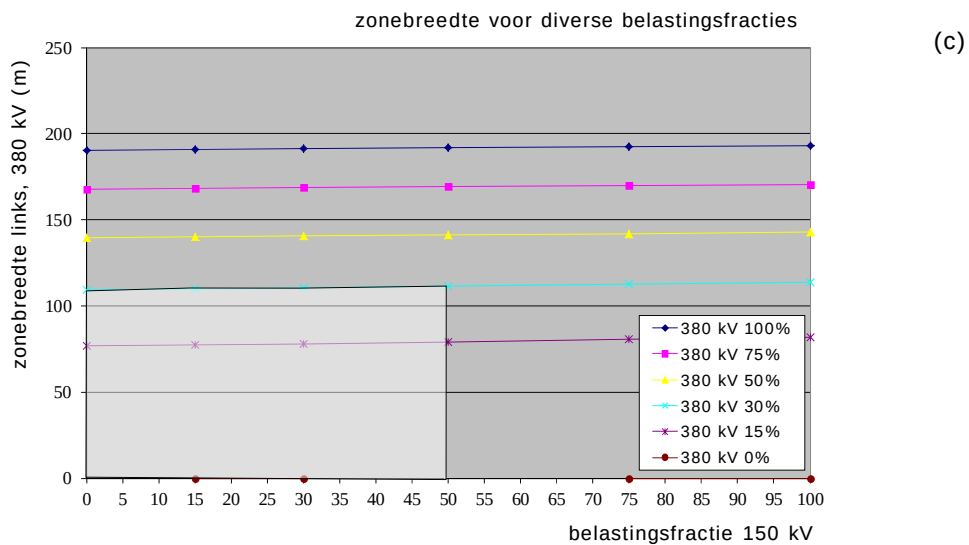
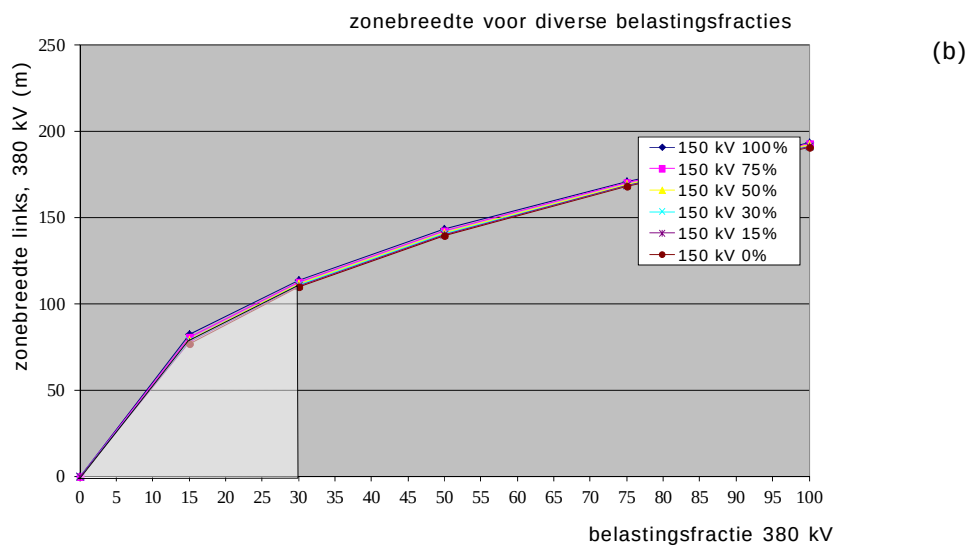
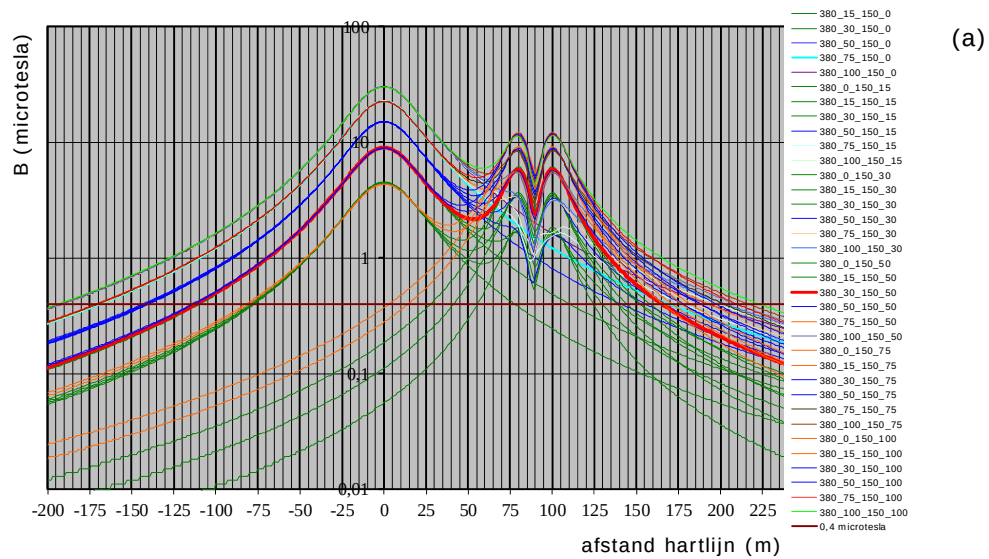
- a het berekende profiel met de 380 kV lijn links en de 150 kV lijn rechts;
- b de invloed van de belastingsfracties op de breedte van de zone aan de linker zijde (380 kV) als functie van de 380 kV belastingsfractie;
- c de invloed van de belastingsfracties op de breedte van de zone aan de linker zijde (380 kV) als functie van de 150 kV belastingsfractie.

In onderdelen b en c van deze figuren is het gebied aangegeven waarin de belastingsfracties geacht worden te variëren: jaargemiddeld minder dan 30 en 50% van de ontwerpbelasting voor respectievelijk 380 en 150 kV lijnen.

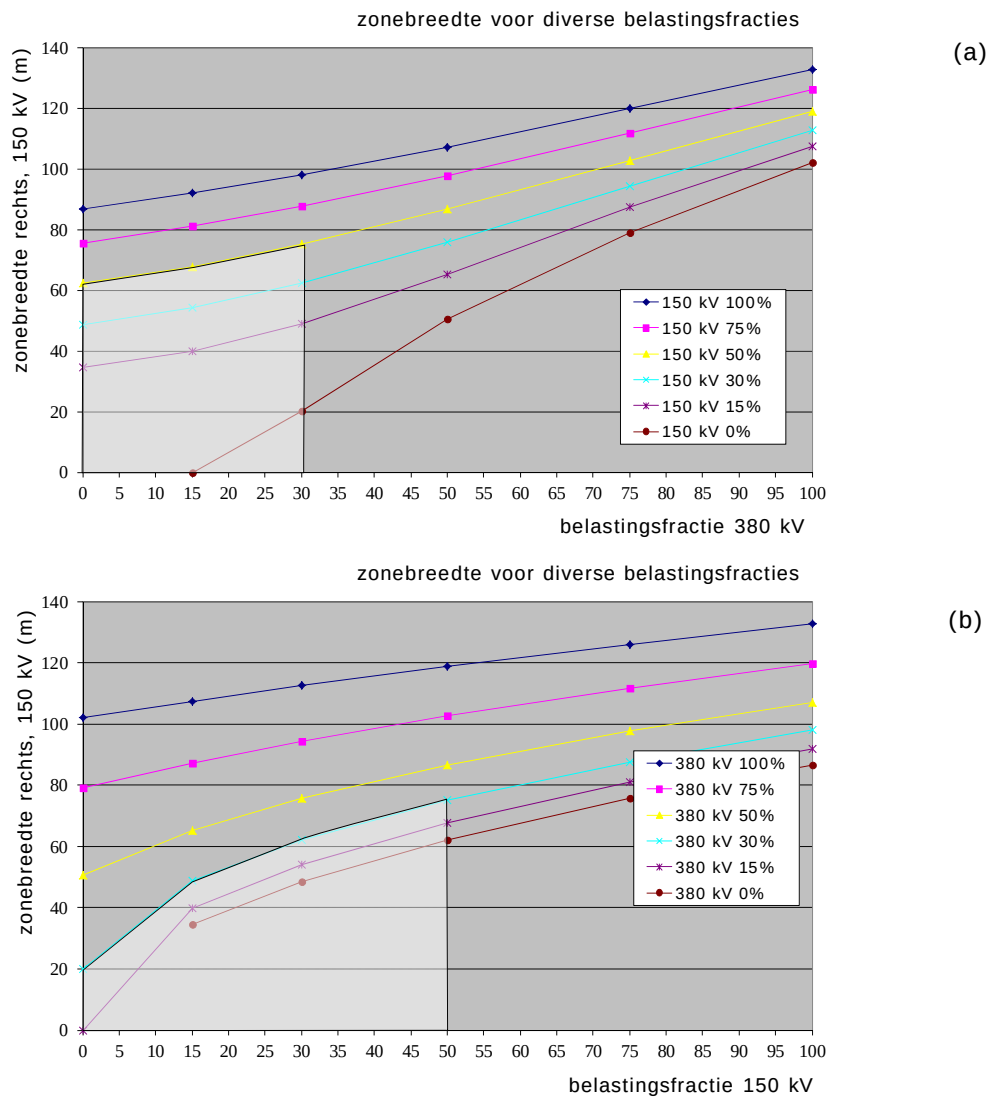
In Figuur 13 en Figuur 15 zijn aanvullend weergegeven:

- a de invloed van de belastingsfracties op de breedte van de zone aan de rechter zijde als functie van de 380 kV belastingsfractie;
- b de invloed van de belastingsfracties op de breedte van de zone aan de rechter zijde als functie van de 150 kV belastingsfractie.

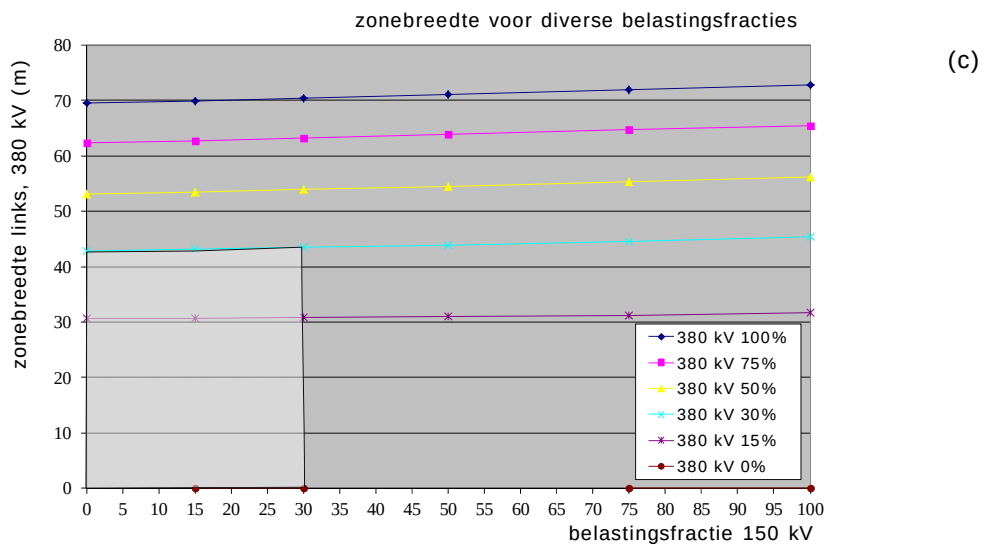
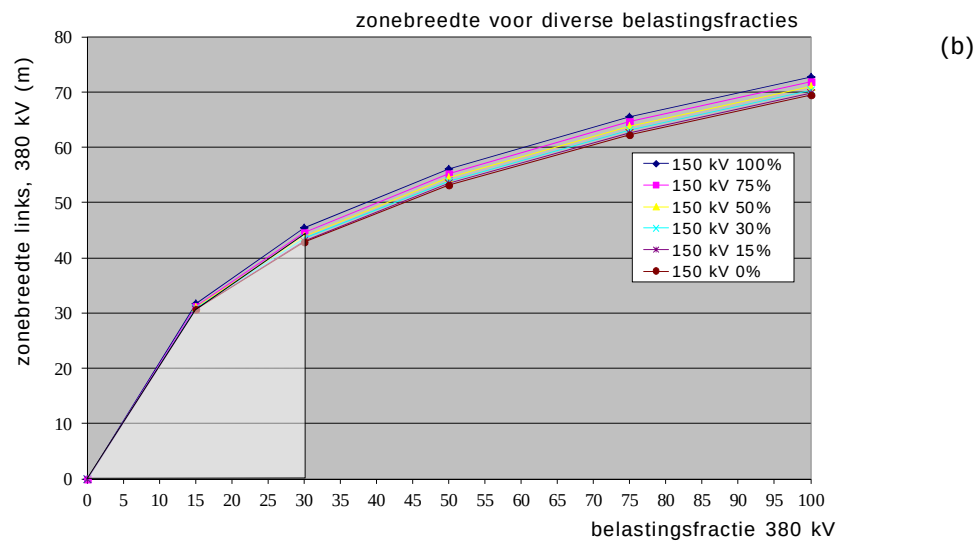
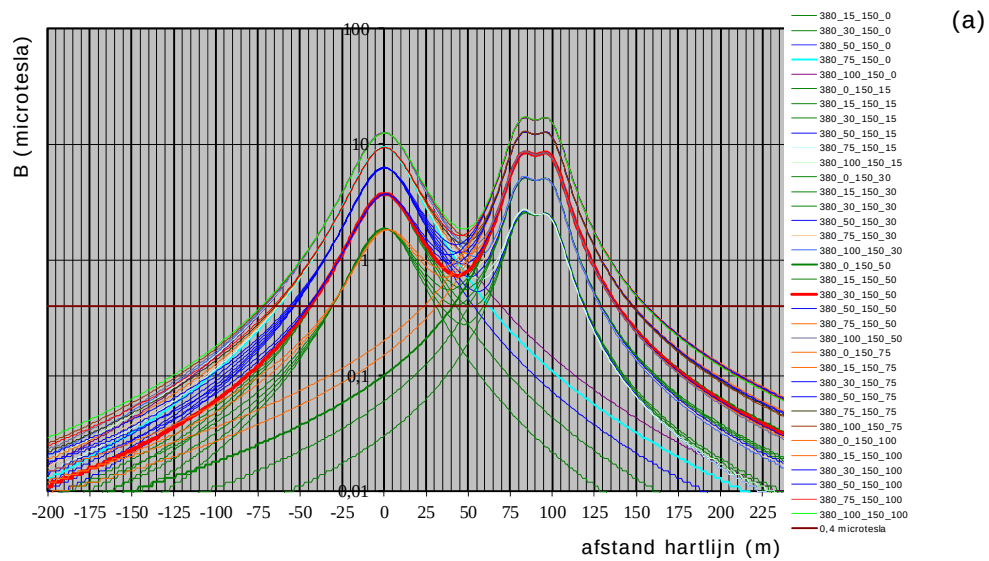
In onderdelen a en b van deze figuren is het gebied aangegeven waarin de belastingsfracties geacht worden te variëren: jaargemiddeld minder dan 30 en 50% van de ontwerpbelasting voor respectievelijk 380 en 150 kV lijnen.



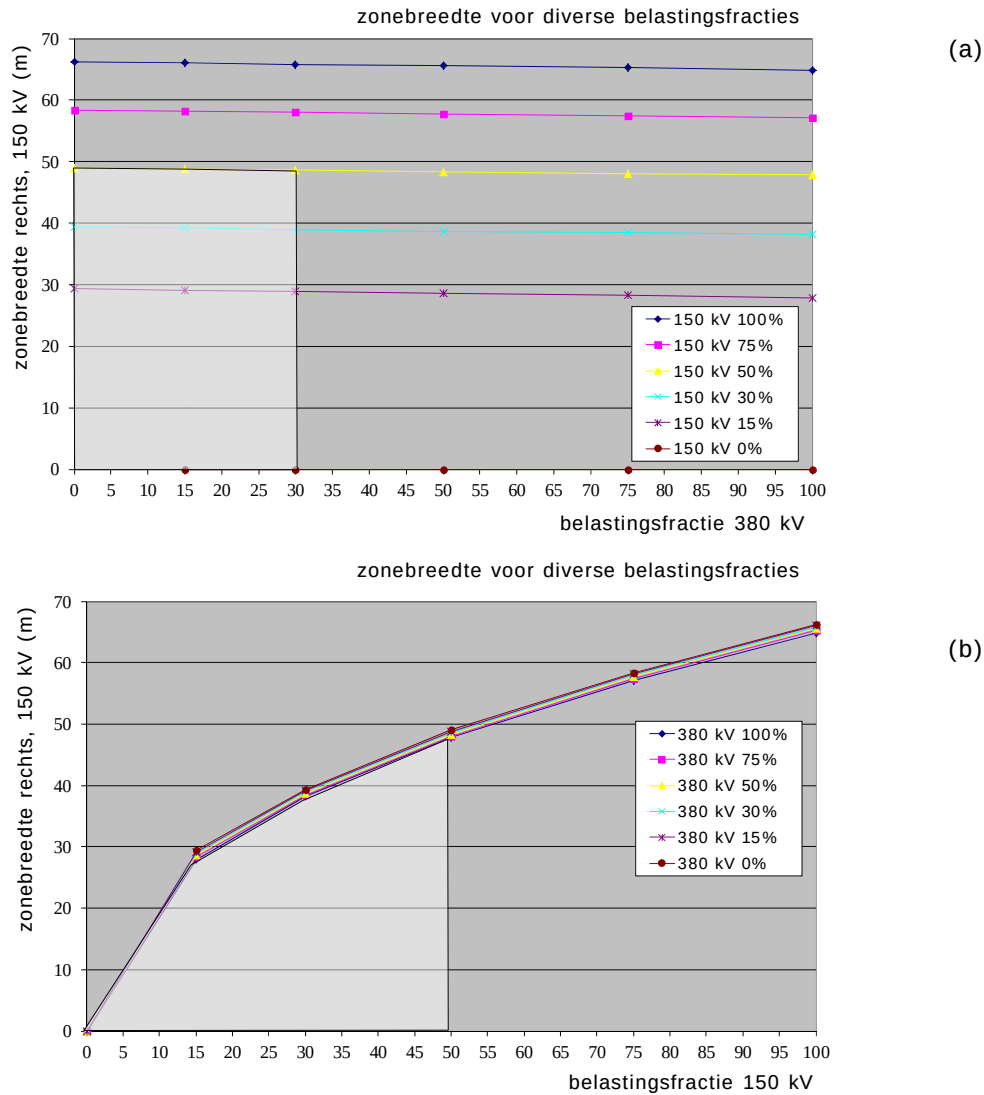
Figuur 12 Wintrack/Donau parallel (breedste zone): magneetveldprofielen en invloed van variatie in de belastingsfractie op de zonebreedte (links)



Figuur 13 Wintrack/Donau parallel (breedste zone): invloed van variatie in de belastingsfractie op de zonebreedte (rechts)



Figuur 14 Wintrack/Donau parallel (smalste zone): magneetveldprofielen en invloed van variatie in de belastingsfractie op de zonebreedte (links)



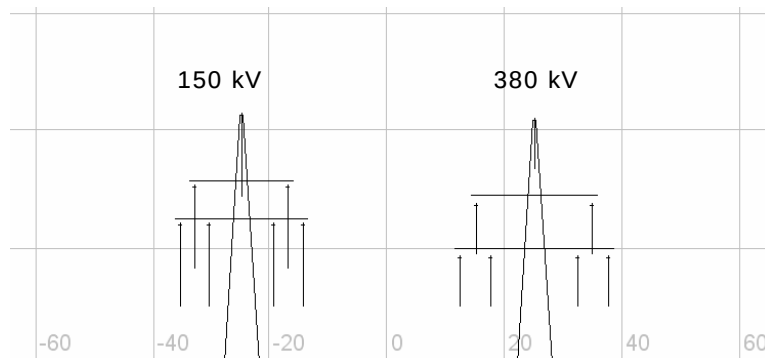
Figuur 15 Wintrack/Donau parallel (smalste zone): invloed van variatie in de belastingsfractie op de zonebreedte (rechts)

Bij de combinatie van klokgetallen met de breedste zone (klokgetallen het minst optimaal) is de invloed zoals verwacht: zowel aan de 150 kV als de 380 kV zijde wordt de zone smaller als óf de belastingsfractie van de 150 kV óf de belastingsfractie van de 380 kV afneemt.

Bij de combinatie van klokgetallen met de smalste zone (klokgetallen geoptimaliseerd) kan aan beide zijden de zone breder worden als de belastingsfractie van de 150 kV of 380 kV lijn afneemt. Rekenen met de volgens de Handreiking voorgeschreven belastingsfracties (30 respectievelijk 50%) levert dus niet in alle gevallen de breedste zone. In dit specifieke geval gaat het om maximale effecten van ongeveer 1 m.

Bijlage 2 Invloed belastingspercentage - Donau parallel

De 380 kV lijn Hengelo-Doetinchem (twee circuits, ontwerpbelasting 2500 A, rekenstroom 750 A) en de 150 kV Lochem-Lochem_kabel_noord (twee circuits, ontwerpbelasting 1500 A, rekenstroom 750 A) op een afstand van 50 m van elkaar.



De zonebreedte wordt bepaald links van de 150 kV en rechts van de 380 kV masten. Aan de linkerzijde wordt de breedte van de zone bepaald als afstand tot het hart van de 150 kV lijn. Als de zone zich niet links van het hart uitstrekt, wordt een * in de tabel gezet. Aan de rechterzijde wordt de zone bepaald als afstand tot het hart van de 380 kV lijn. Als de zone zich niet rechts van het hart van de lijn uitstrekt wordt een * genoteerd.

Allereerst is gezocht naar de combinatie van klokgetallen met de breedste zone bij de standaardbelasting van 30% voor de 380 kV lijn en 50% voor de 150 kV lijn. Vervolgens is voor die gevonden combinatie van klokgetallen de breedte van de zone aan beide zijden (dus de afstand van de hartlijn tot de rand van de magneetveldzone) berekend voor alle combinaties van de zes belastingsfracties 0, 15, 30, 50, 75 en 100% ($6 \times 6 - 1 = 35$ combinaties). Deze procedure is herhaald voor de combinatie van klokgetallen met de smalste zone.

In Figuur 16 en Figuur 18 zijn voor de beide doorgerekende combinaties van klokgetallen de resultaten weergegeven:

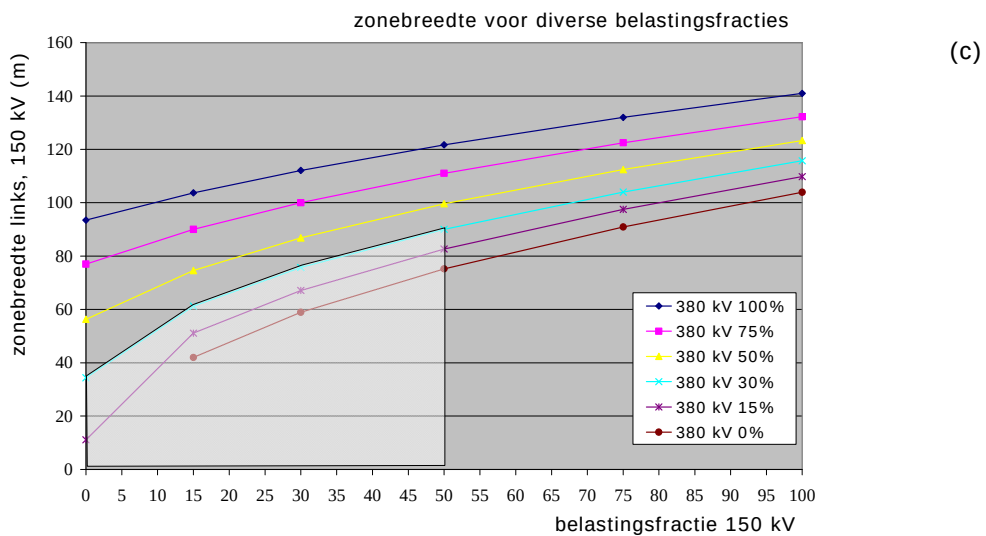
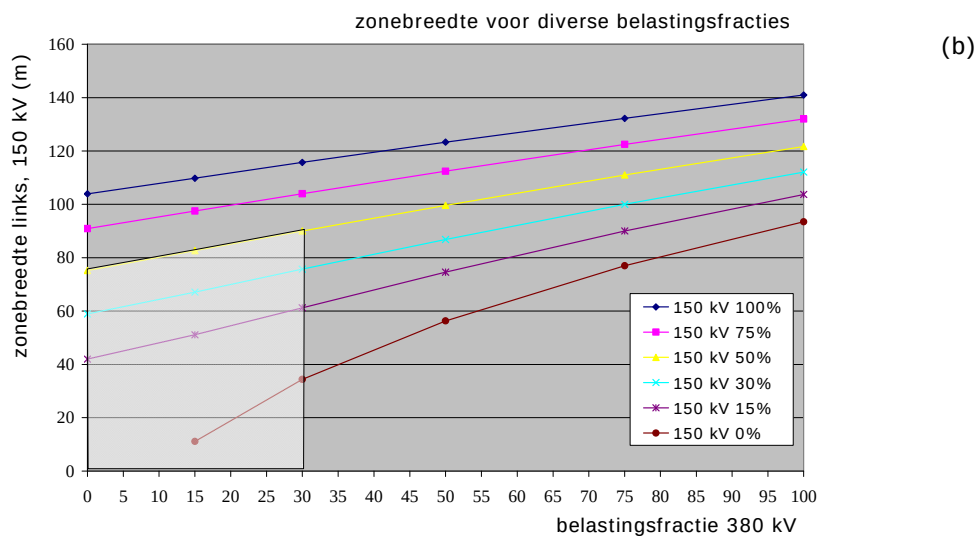
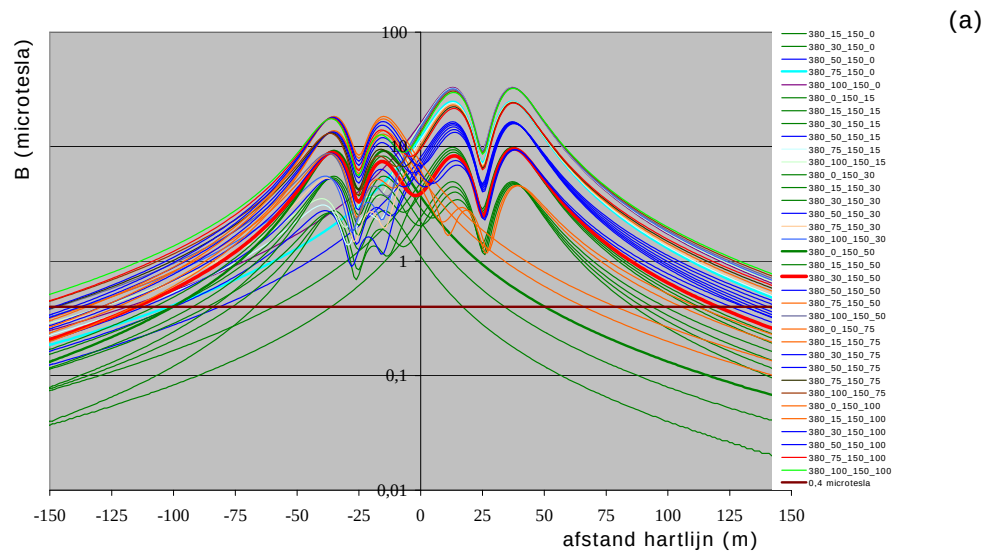
- a het berekende profiel met de 150 kV lijn links en de 380 kV lijn rechts;
- b de invloed van de belastingsfractie op de breedte van de zone aan de linkerzijde (150 kV) als functie van de 380 kV belastingsfractie;
- c de invloed van de belastingsfractie op de breedte van de zone aan de linkerzijde (150 kV) als functie van de 380 kV belastingsfractie.

In onderdelen b en c van deze figuren is het gebied aangegeven waarin de belastingsfracties geacht worden te variëren: jaargemiddeld minder dan 30 en 50% van de ontwerpbelasting voor respectievelijk 380 en 150 kV lijnen.

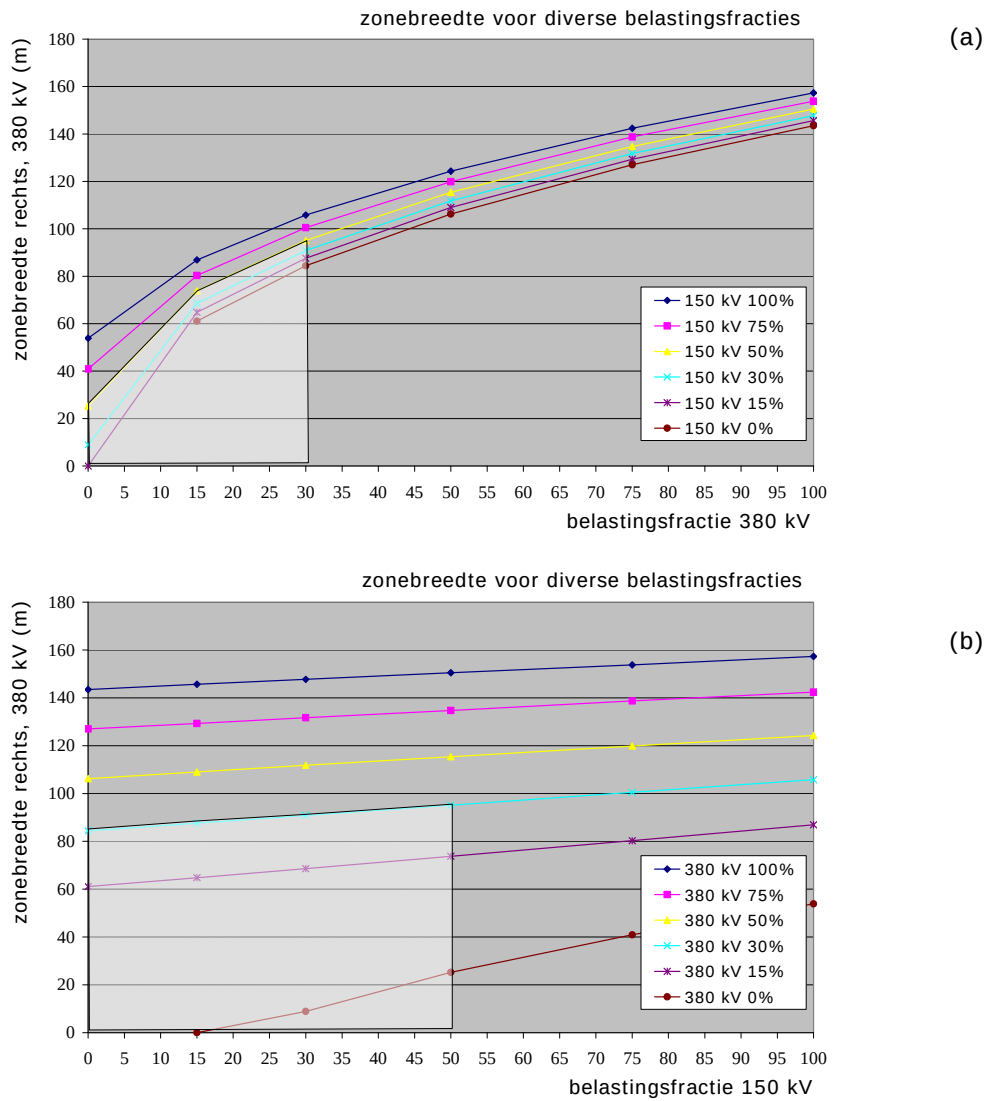
In Figuur 17 en Figuur 19 zijn aanvullend weergegeven:

- a de invloed van de belastingsfracties op de breedte van de zone aan de rechter zijde als functie van de 380 kV belastingsfractie;
- b de invloed van de belastingsfracties op de breedte van de zone aan de rechter zijde als functie van de 150 kV belastingsfractie.

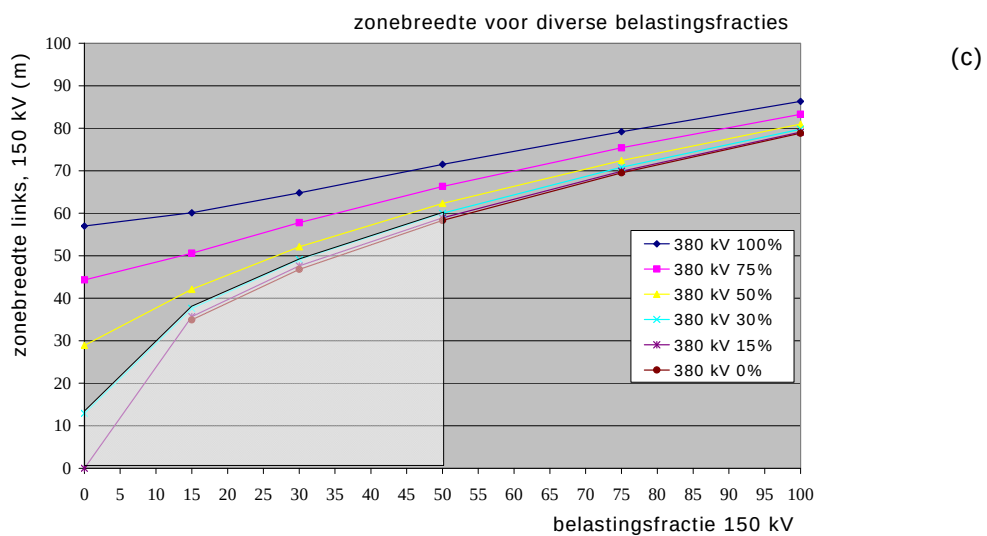
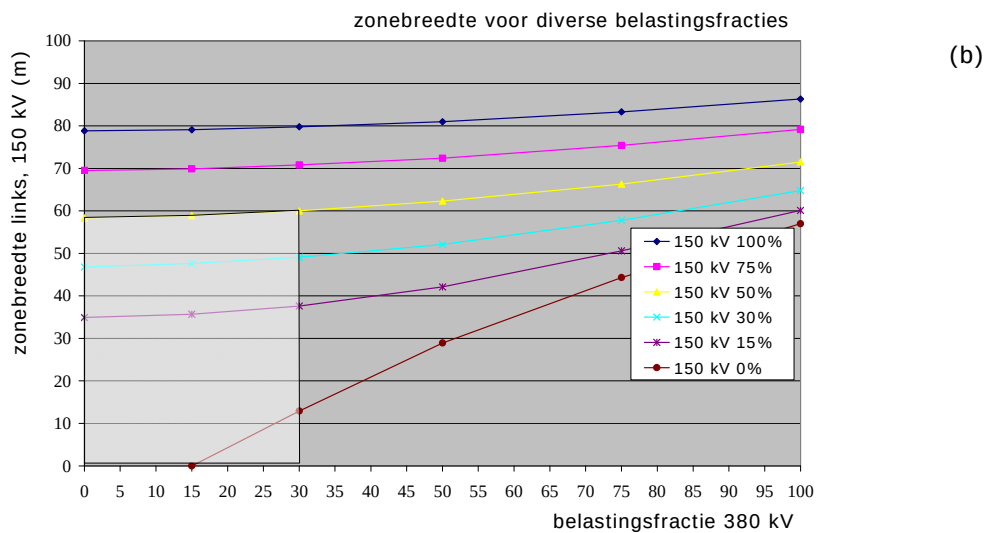
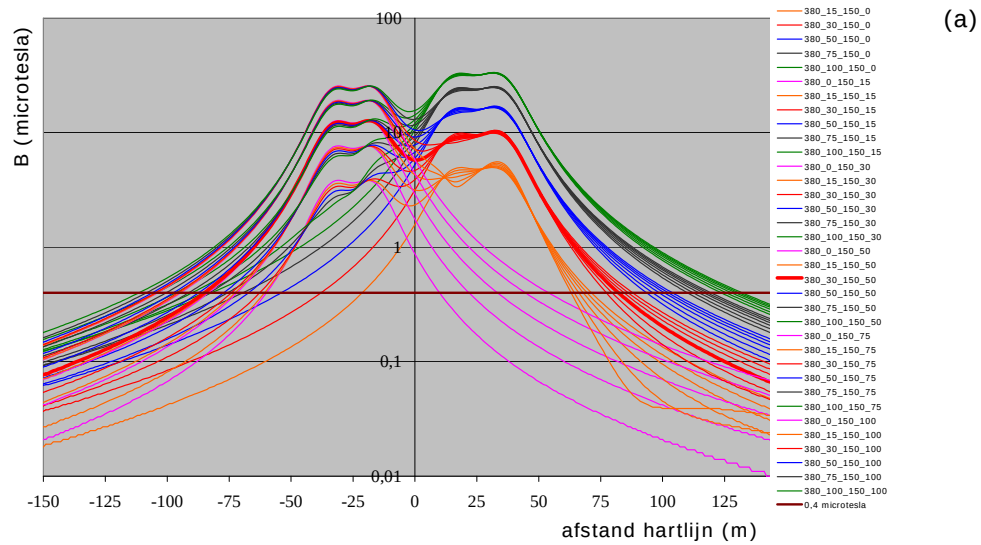
In onderdelen a en b van deze figuren is het gebied aangegeven waarin de belastingsfracties geacht worden te variëren: jaargemiddeld minder dan 30 en 50% van de ontwerpbelasting voor respectievelijk 380 en 150 kV lijnen.



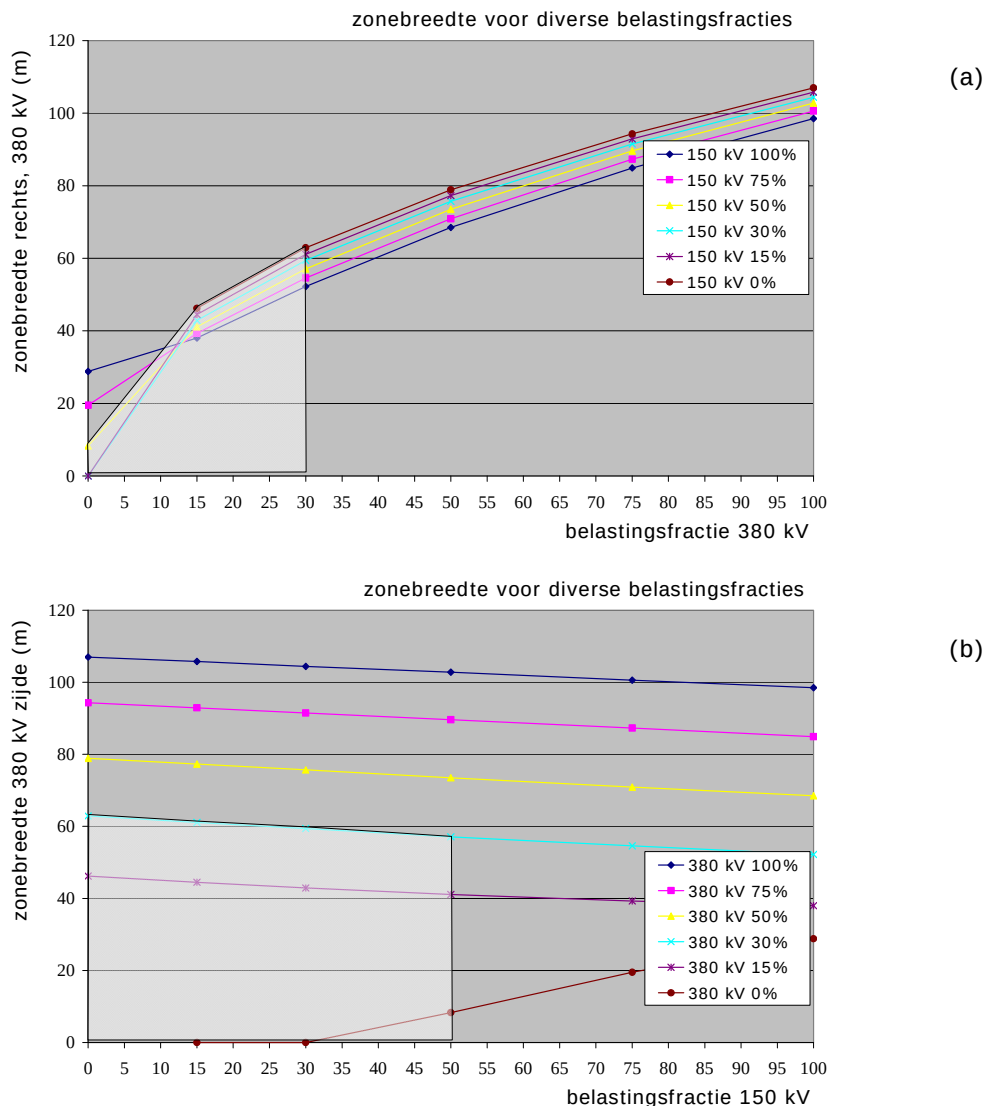
Figuur 16 Donau parallel (breedste zone): magneetveldprofielen en invloed van variatie in de belastingsfractie op de zonebreedte (links)



Figuur 17 Donau parallel (breedste zone): invloed van variatie in de belastingsfractie op de zonebreedte (rechts)



Figuur 18 Donau parallel (smalste zone): magneetveldprofielen en invloed van variatie in de belastingsfractie op de zonebreedte (links)



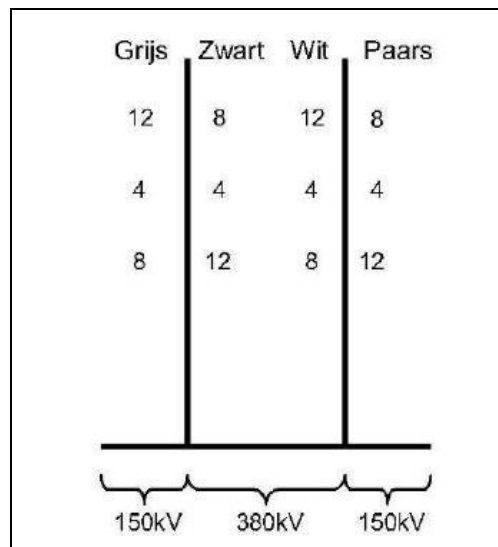
Figuur 19 Donau parallel (smalste zone): invloed van variatie in de belastingsfractie op de zonebreedte (rechts)

Bij de combinatie van klokgetallen met de breedste zone (klokgetallen het minst optimaal) is de invloed zoals verwacht: zowel aan de 150 kV als de 380 kV zijde wordt de zone smaller als óf de belastingsfractie van de 150 kV óf de belastingsfractie van de 380 kV afneemt.

Bij de combinatie van klokgetallen met de smalste zone (klokgetallen geoptimaliseerd) is de invloed aan de 150 kV zijde zoals verwacht: de zone wordt smaller als óf de belastingsfractie van de 150 kV óf de belastingsfractie van de 380 kV lijn afneemt. Aan de 380 kV zijde kan echter de zone breder worden als de belastingsfractie van de 150 kV lijn afneemt! Rekenen met de volgens de Handreiking voorgeschreven belastingsfracties (30 respectievelijk 50%) levert dus niet in alle gevallen de breedste zone. In dit specifieke geval gaat het een verschil in zonebreedte van maximaal bijna 6 m.

Bijlage 3 Invloed belastingspercentage - Wintrack combi

In een deel van de nieuw aan te leggen verbindingen zullen 150/380 kV Wintrack combinatiemasten (zie Figuur 20) worden toegepast. Aan de binnenkant van de twee masten op een onderlinge afstand van 7 m bevinden zich twee 380 kV circuits (ontwerpbelasting 4000 A, rekenstroom 1200 A) en aan de buitenkant twee 150 kV circuits (ontwerpbelasting 1200 A, rekenstroom 600 A).



Figuur 20 Combinatiemast 150/380 kV

Allereerst is gezocht naar de combinatie van klokgetallen met de breedste zone bij de standaardbelasting van 30% voor de 380 kV lijn en 50% voor de 150 kV lijn. Vervolgens is voor die gevonden combinatie van klokgetallen de breedte van de zone aan beide zijden (dus de afstand van de hartlijn tot de rand van de magneetveldzone) berekend voor alle combinaties van de zes belastingsfracties 0, 15, 30, 50, 75 en 100% ($6 \times 6 - 1 = 35$ combinaties). Deze procedure is herhaald voor de combinatie van klokgetallen met de smalste zone.

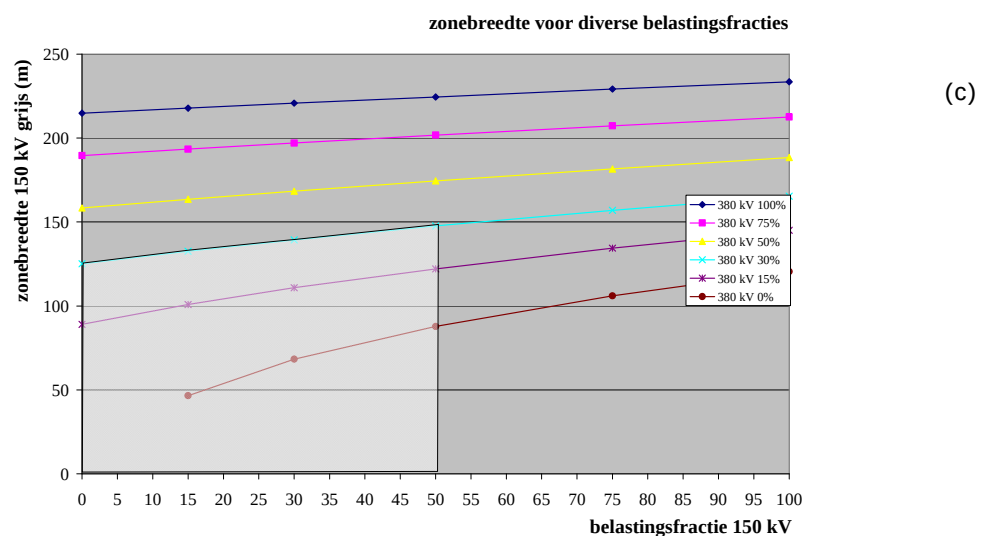
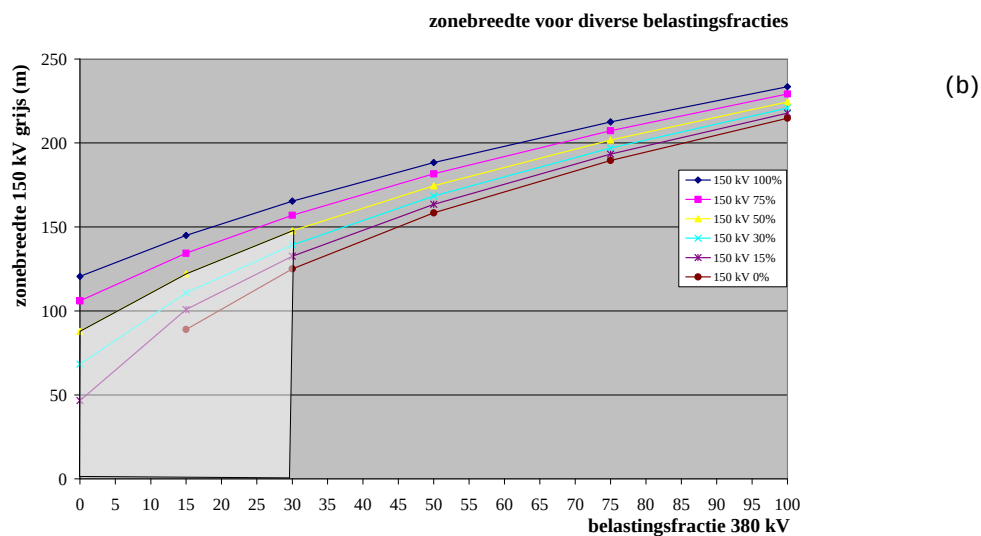
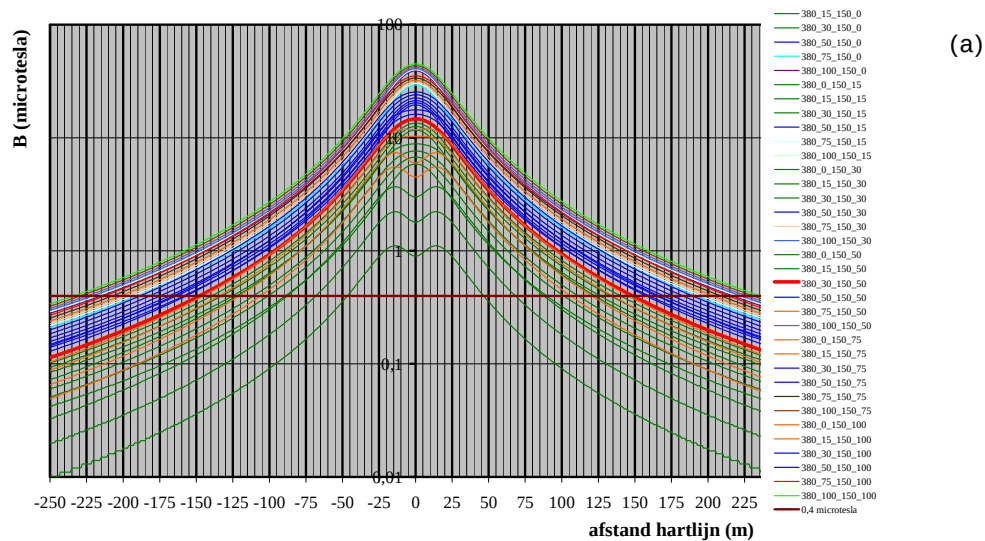
In Figuur 21 en Figuur 23 zijn voor de beide doorgerekende combinaties van klokgetallen de volgende resultaten weergegeven:

- a het berekende profiel;
- b de invloed van de belastingsfracties op de breedte van de zone aan de linker zijde (grijs), als functie van de 380 kV belastingsfractie;
- c de invloed van de belastingsfracties op de breedte van de zone aan de linker zijde (grijs), als functie van de 150 kV belastingsfractie;

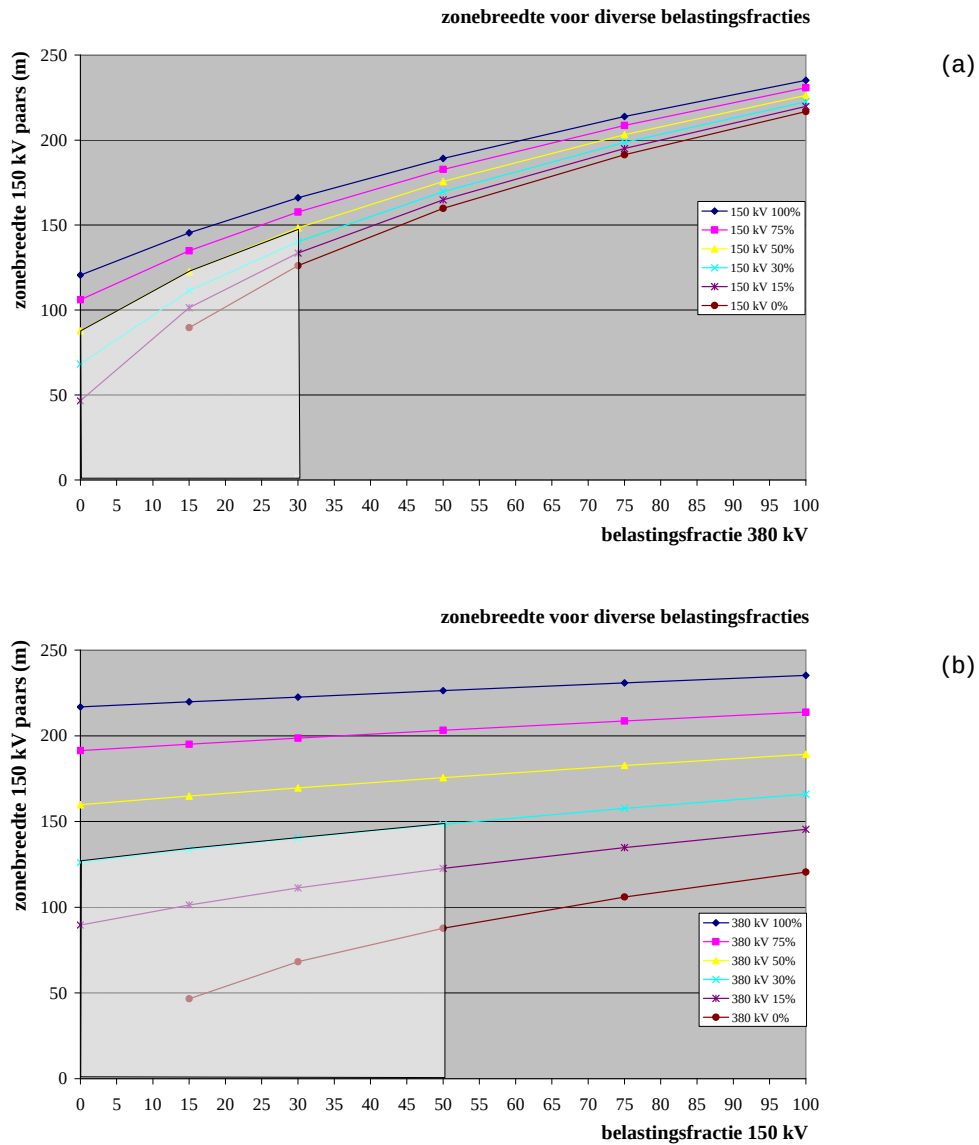
In Figuur 22 en Figuur 24 zijn aanvullend weergegeven:

- a de invloed van de belastingsfracties op de breedte van de zone aan de rechter zijde (paars), als functie van de 380 kV belastingsfractie;
- b de invloed van de belastingsfracties op de breedte van de zone aan de rechter zijde (paars), als functie van de 150 kV belastingsfractie;

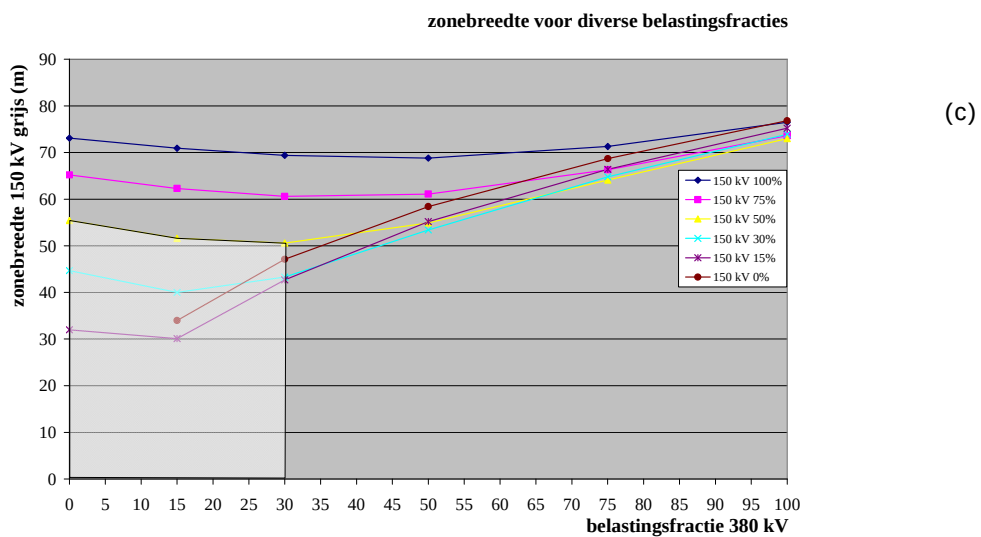
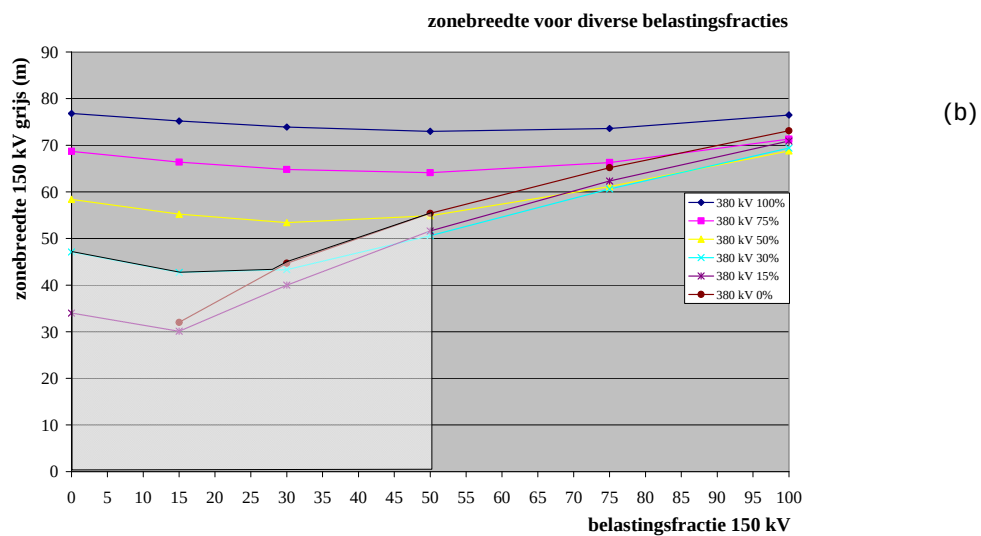
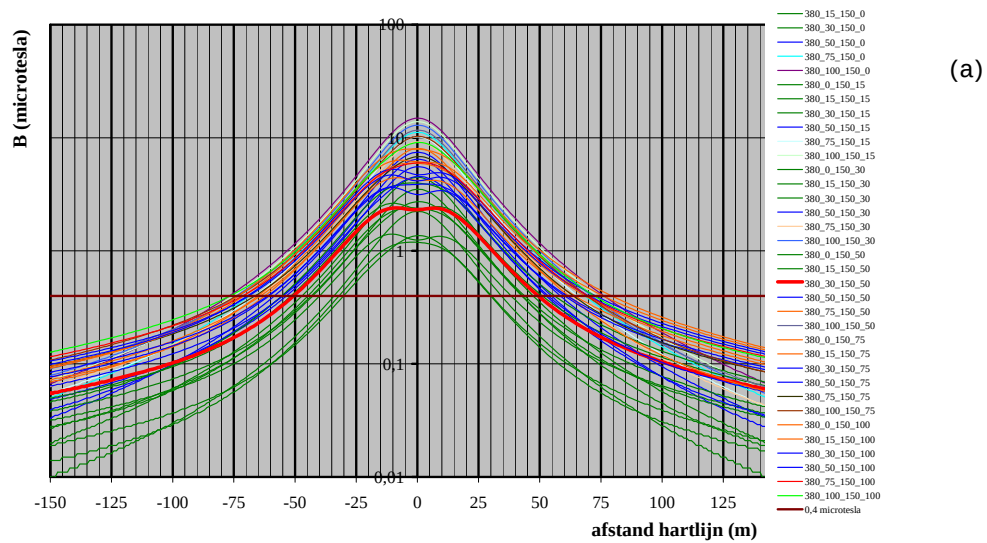
In onderdelen b en c van Figuur 21 en Figuur 23 en onderdelen a en b van Figuur 22 en Figuur 24 is het gebied aangegeven waarin de belastingsfracties geacht worden te variëren: jaargemiddeld minder dan 30 en 50% van de ontwerpbelasting voor respectievelijk 380 en 150 kV lijnen.



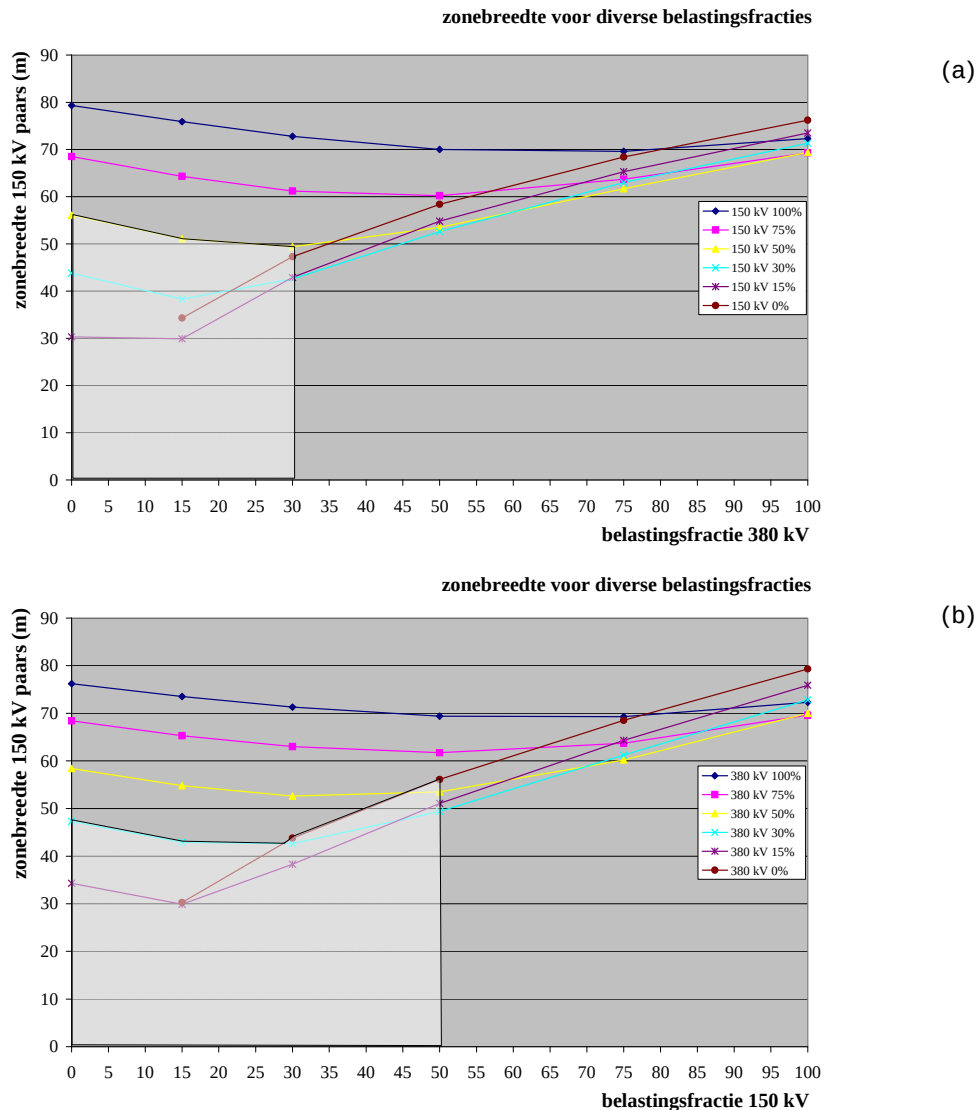
Figuur 21 Wintrack combi (breedste zone): berekende profielen en invloed van de variaties in belastingsfracties van de beide lijnen op de breedte van de magneetveldzone aan de kant van het grijze circuit



Figuur 22 Wintrack combi (breedste zone): invloed van de variaties in belastingsfracties van de beide lijnen op de breedte van de magneetveldzone aan de kant van het paarse circuit



Figuur 23 Wintrack combi (smalste zone): invloed van de variaties in belastingsfracties van de beide lijnen op de breedte van de magneetveldzone aan de kant van het grijze circuit

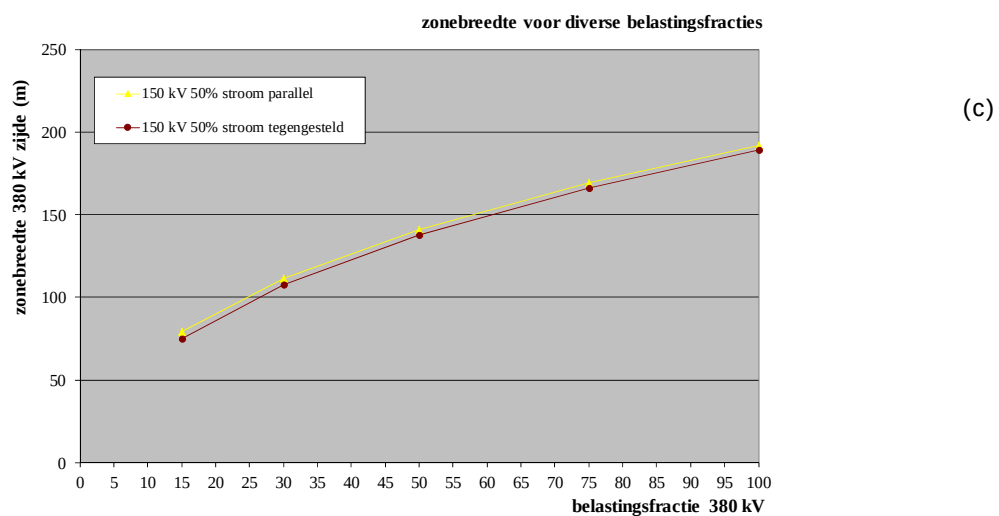
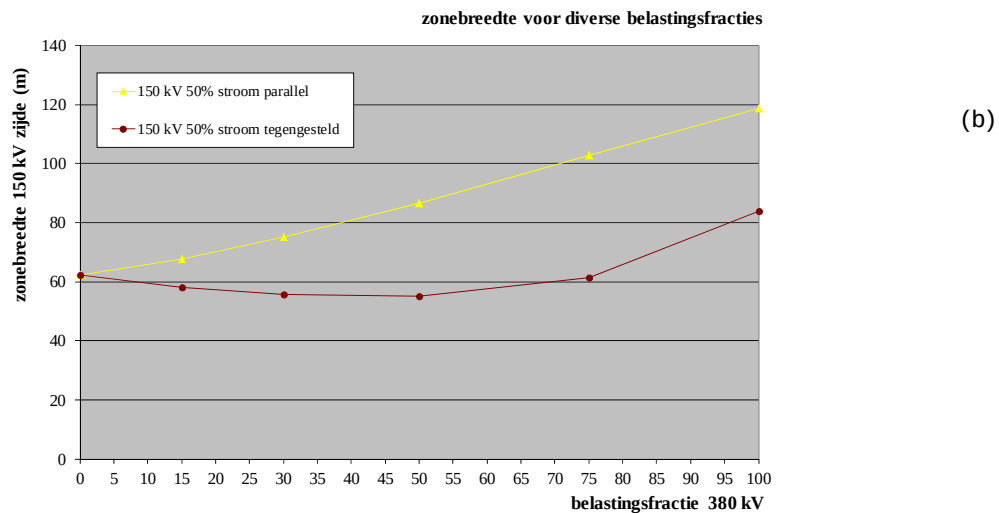
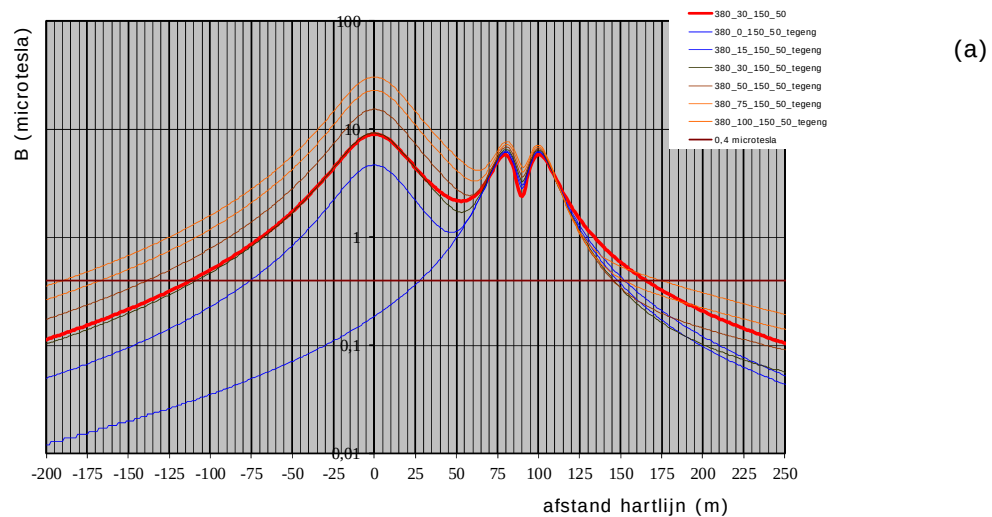


Figuur 24 Wintrack combi (smalste zone): invloed van de variaties in belastingsfracties van de beide lijnen op de breedte van de magneetveldzone aan de kant van het paarse circuit

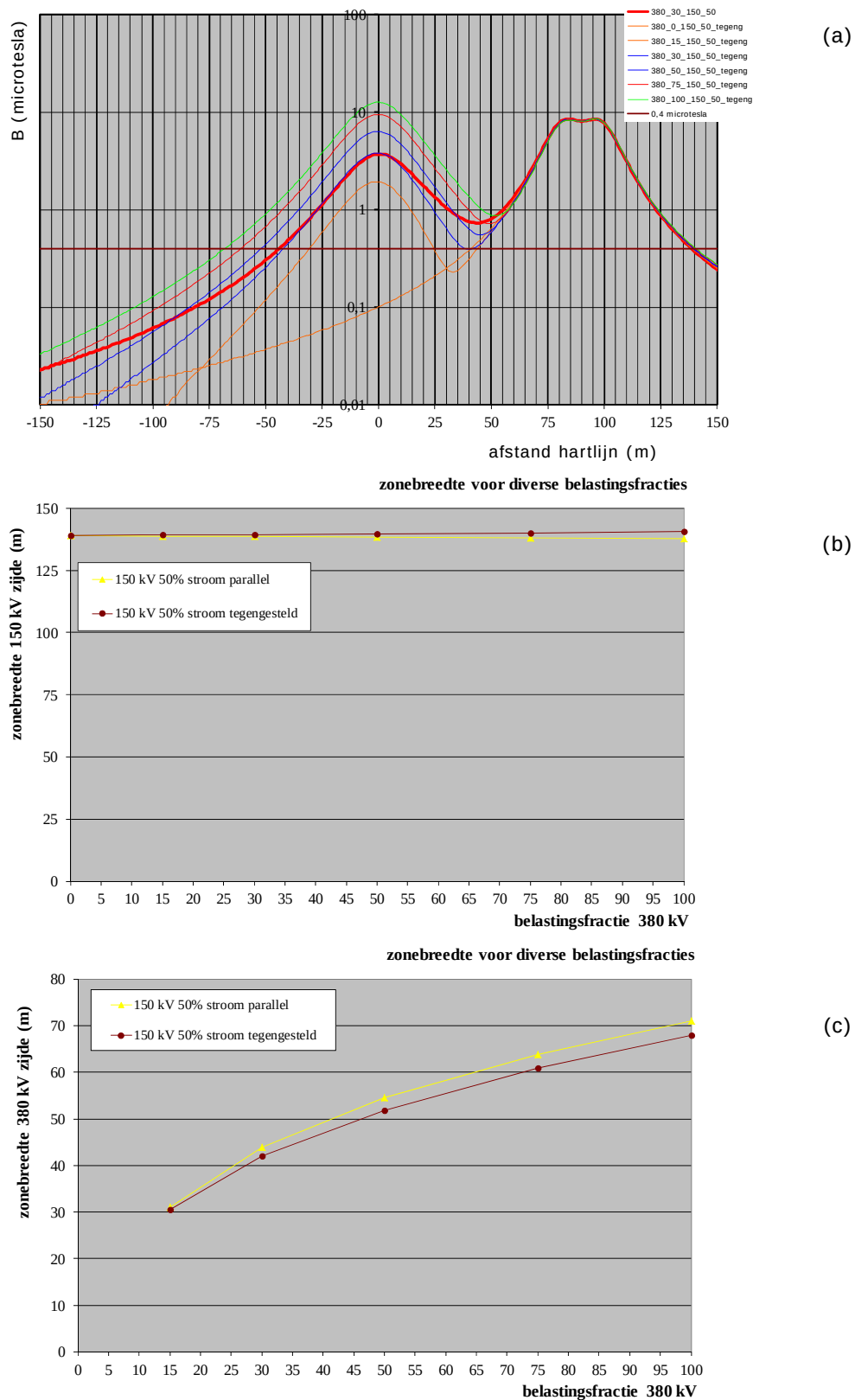
Bij de combinatie van klokgetallen met de breedste zone (klokgetallen het minst optimaal) is de invloed zoals verwacht: zowel aan de grijze als aan de paarse zijde wordt de zone smaller als óf de belastingsfractie van de 150 kV óf de belastingsfractie van de 380 kV afneemt.

Bij de combinatie van klokgetallen met de smalste zone (klokgetallen geoptimaliseerd) is de situatie anders. Zowel aan de grijze als aan de paarse zijde van de combinatielijn kan de zone breder worden als de belastingsfractie van de 150 kV of 380 kV circuits afneemt! Rekenen met de volgens de Handreiking voorgeschreven belastingsfracties (30 respectievelijk 50%) levert dus niet in alle gevallen de breedste zone. In dit specifieke geval gaat het een verschil in zonebreedte van maximaal 6,7 m.

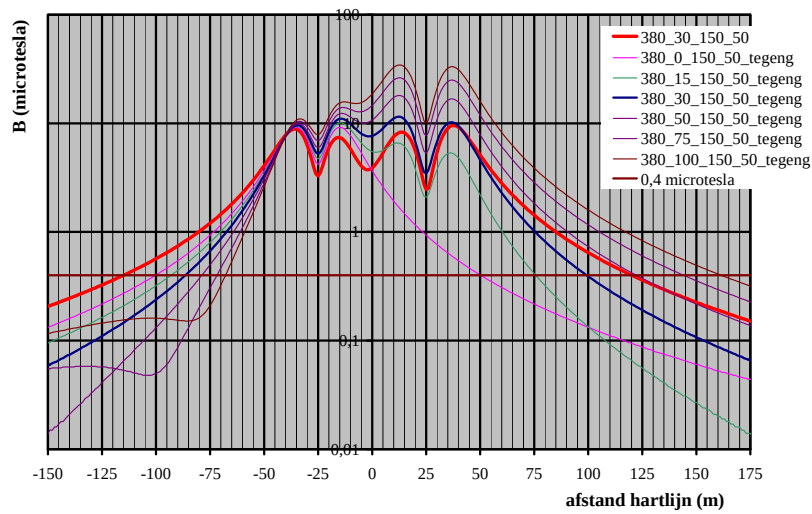
Bijlage 4 Invloed van de stroomrichting



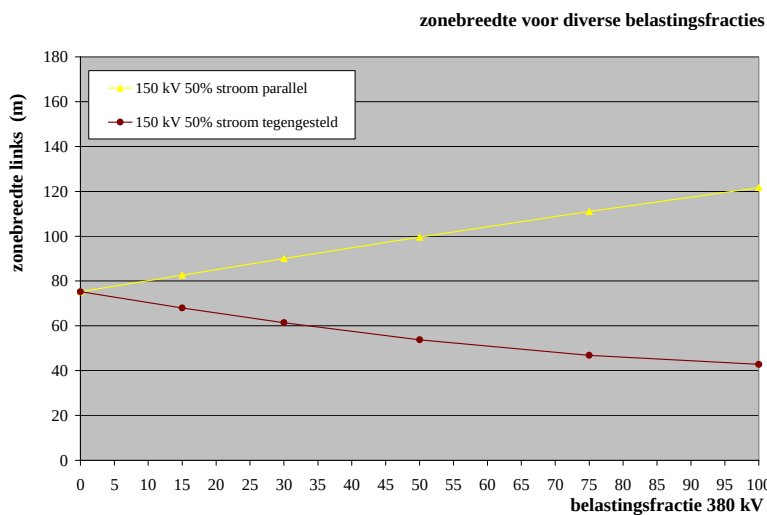
Figuur 25 Wintrack/Donau parallel(breedste zone): invloed van omkeren van de stroomrichting in de 150 kV lijn op de magneetveldprofielen en op de breedte van de magneetveldzone



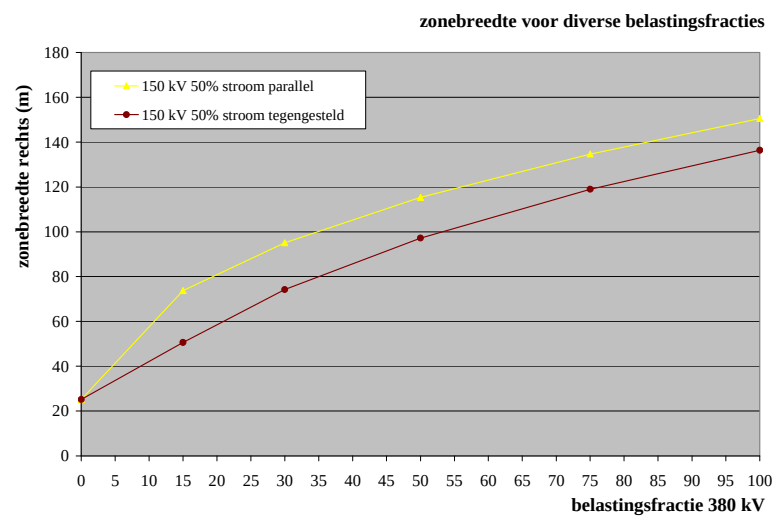
Figuur 26 Wintrack/Donau parallel (smalste zone): invloed van omkeren van de stroomrichting in de 150 kV lijn op de magneetveldprofielen en op de breedte van de magneetveldzone



(a)

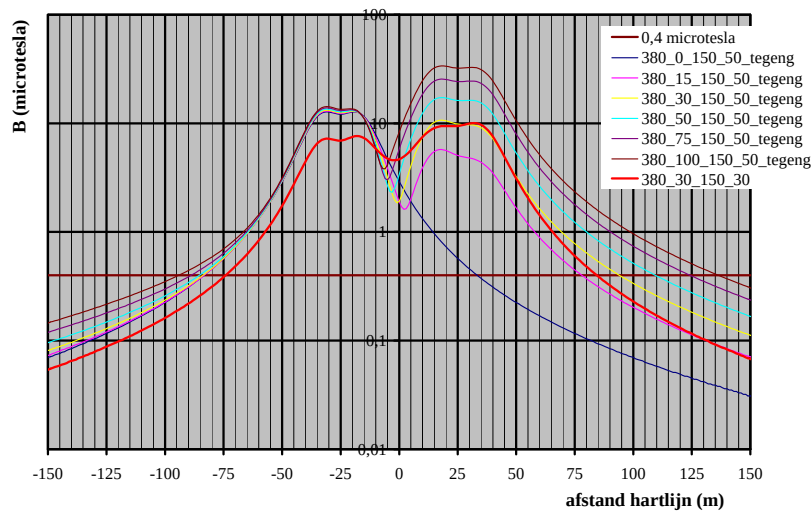


(b)

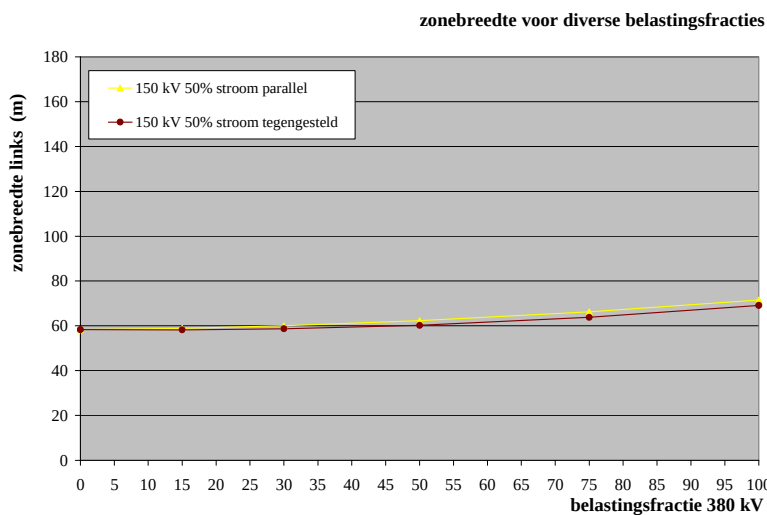


(c)

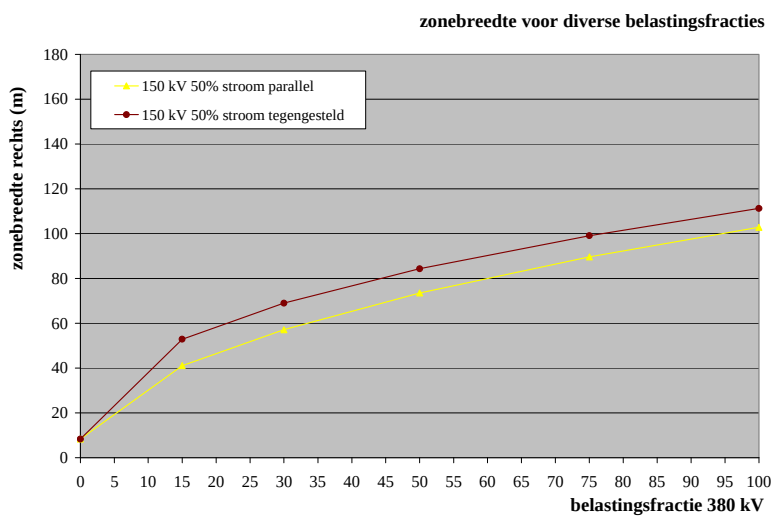
Figuur 27 Donau parallel (breedste zone): invloed van omkeren van de stroomrichting in de 150 kV lijn op de magneetveldprofielen en op de breedte van de magneetveldzone



(a)

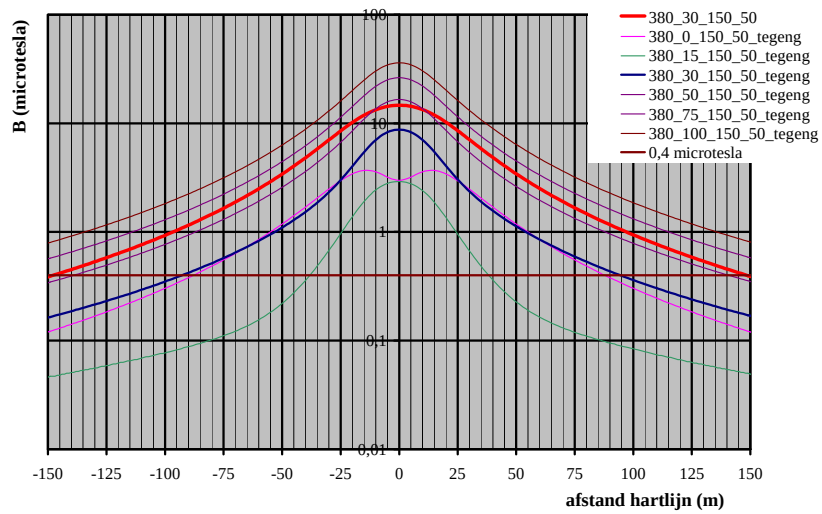


(b)

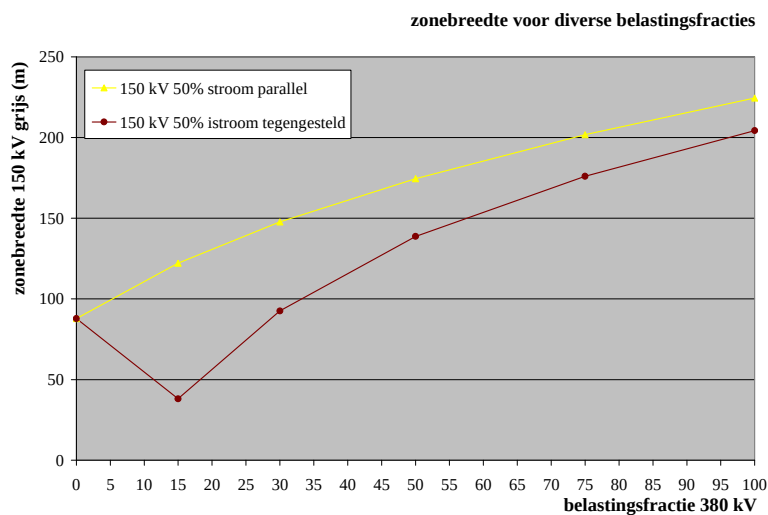


(c)

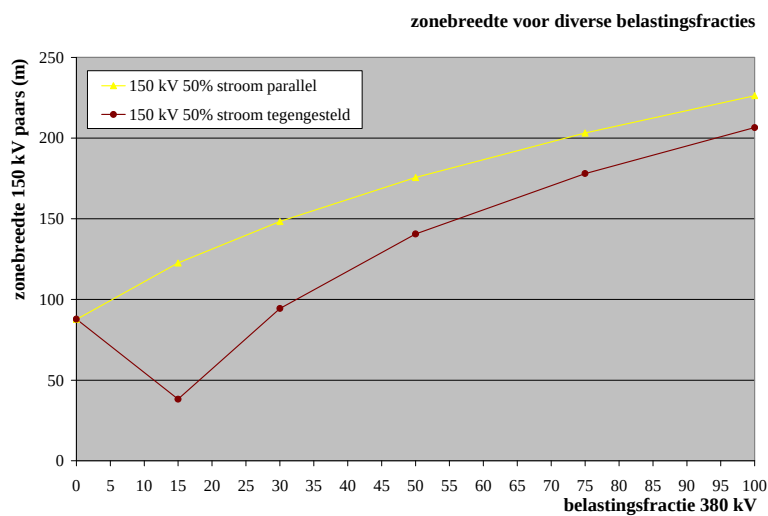
Figuur 28 Donau parallel (smalste zone): invloed van omkeren van de stroomrichting in de 150 kV lijn op de magneetveldprofielen en op de breedte van de magneetveldzone



(a)

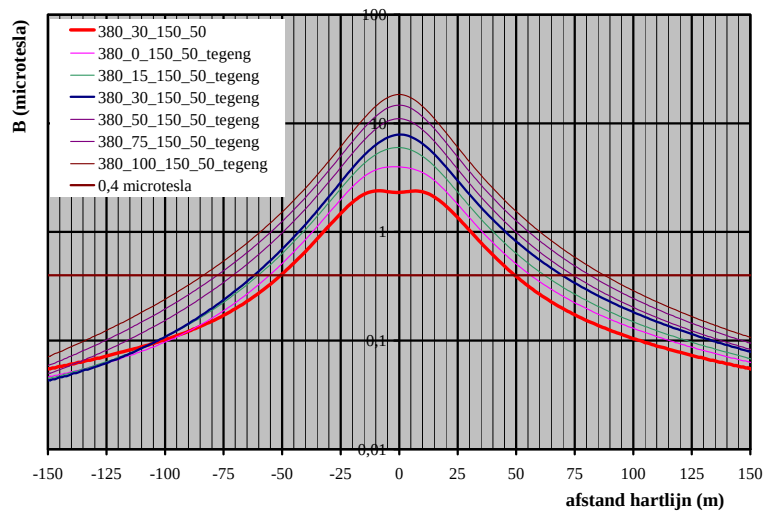


(b)

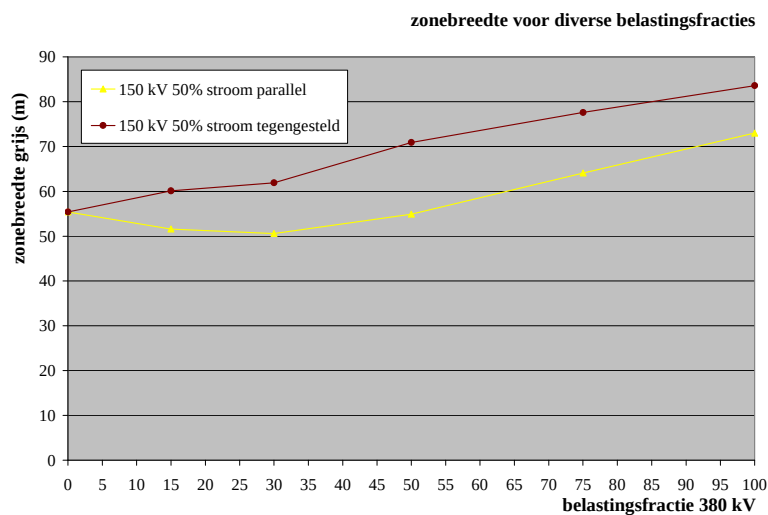


(c)

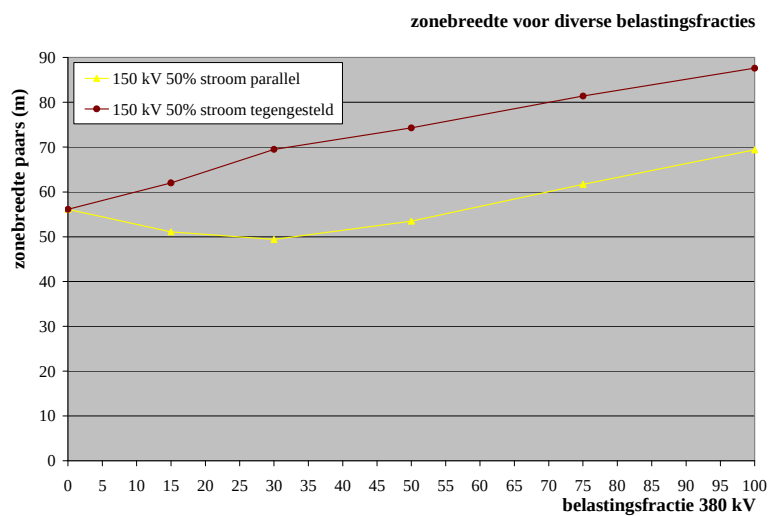
Figuur 29 Wintrack combi (breedste zone): invloed van omkeren van de stroomrichting in de 150 kV circuits op de zonebreedte aan de grijze en de paarse zijde



(a)



(b)



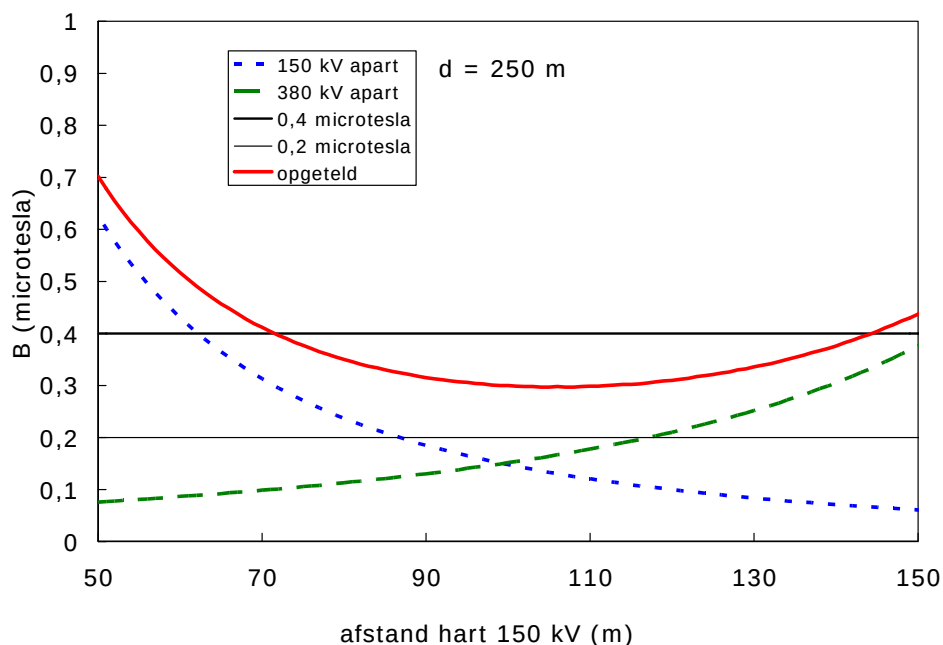
(c)

Figuur 30 Wintrack combi (smalste zone): invloed van omkeren van de stroomrichting in de 150 kV circuits op de zonebreedte aan de grijze en de paarse zijde

Bijlage 5 Onderbouwing toeslagfactor

Als twee hoogspanningslijnen zich in elkaars nabijheid bevinden, beïnvloeden ze elkaars magneetveld. De totale sterkte van het magneetveld kan door deze beïnvloeding groter, maar ook kleiner zijn dan de som van de afzonderlijke velden van die lijnen.

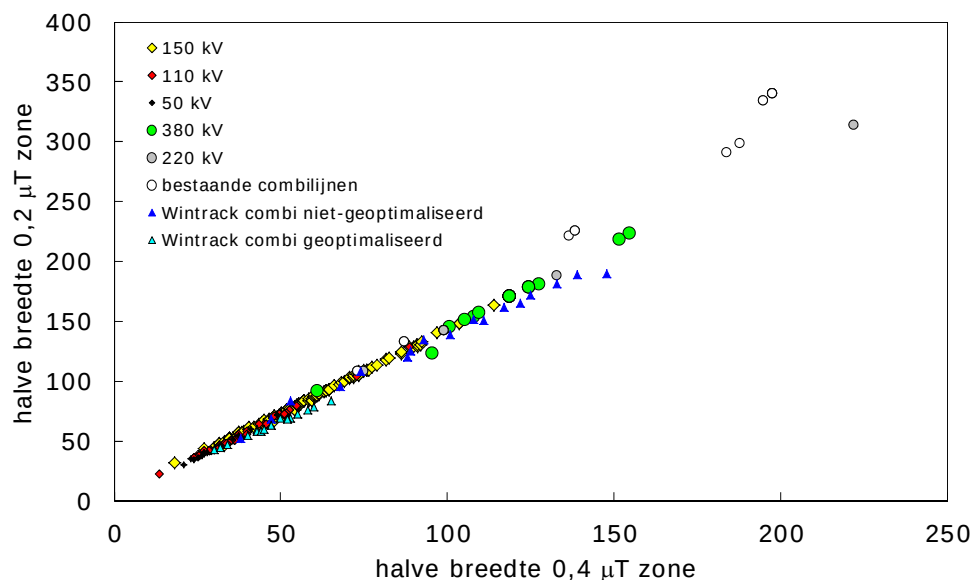
Voor het construeren van de toeslagfactor is als uitgangspunt gekozen dat als een locatie zich buiten de 0,2 microteslacontour van beide afzonderlijke hoogspanningslijnen bevindt die locatie ook buiten de 0,4 microteslacontour van de gezamenlijke lijnen komt te liggen (zie Figuur 31).



Figuur 31 De sterkte van het magneetveld B in het gebied tussen een 150 en 380 kV lijn op een onderlinge afstand van 250 m voor de beide lijnen apart en voor de som van beide lijnen (dus niet als totaal systeem doorgerekend)

De toeslagfactor wordt hier gedefinieerd als de verhouding tussen twee afstanden, namelijk (1) de afstand tussen de 0,2 microteslacontour en de hartlijn en (2) de afstand tussen de 0,4 microteslacontour en de hartlijn. Of anders gezegd: de (halve) breedte van de 0,2 microteslazone gedeeld door de (halve) breedte van de 0,4 microteslazone.

In het verleden (ten tijde van het VoKoBaHos project: Kostenanalyse van de technische maatregelen ter beperking magnetische velden nabij bovengrondse hoogspanningslijnen (vooronderzoek). Deel 1 Samenvatting (40130074-TDC 02-25766A), Deel 2 Uitgangspunten voor magnetische veldberekeningen en inventarisatie beperkende maatregelen (40130074-TDC 02-25715A) en Deel 4 Kosten en baten analyse (40130074-TDC 02-25806A). KEMA, Arnhem, 2002.) is voor bestaande bovengrondse hoogspanningslijnen van alle spanningsniveaus en combilijnen de breedte van de 0,2 en 0,4 microteslazonen berekend. Deze zonebreedtes zijn in Figuur 32 tegen elkaar uitgezet, aangevuld met de resultaten van berekeningen aan de configuratie 'Wintrack combi' in het voorliggende rapport voor zowel de geoptimaliseerde als de niet-geoptimaliseerde variant.



Figuur 32 Vergelijking van de halve breedte van de 0,2 microteslazone met de halve breedte van 0,4 microteslazone

Vervolgens is de verhouding tussen de breedte van de 0,2 microteslazone en de breedte van de 0,4 microteslazone berekend (per spanningsniveau is de richtingscoëfficiënt bepaald van de rechte lijn door de oorsprong die het beste bij de berekende punten past): zie Tabel 7. In de laatste kolom is de afgeronde waarde weergegeven, waarbij altijd naar boven is afgerond.

Tabel 7 Verhouding tussen de breedte van de 0,2 en 0,4 microteslazone, voor alle spanningsniveaus apart en afgerond per groep

spanningsniveau	verhouding	verhouding afgerond
110 kV	1,45	1,5
150 kV	1,45	
220 kV	1,43	
380 kV	1,44	
bestaande combilijnen	1,67	1,7
Wintrack config 3 niet-geoptimaliseerd	1,37	1,4
Wintrack config 3 geoptimaliseerd	1,33	

Om te beslissen of er met wederzijdse beïnvloeding van de lijnen rekening moet worden gehouden, is het checken of de 0,2 microteslazonen van de individuele lijnen elkaar overlappen een mogelijke keuze. Als er van overlap sprake is moet met wederzijdse invloed worden gerekend, anders niet. Dat kan op basis van bovenstaande analyse gebeuren door de breedte van de 0,4 microteslazonen van beide lijnen met de in Tabel 7 vermelde toeslagfactor te vermenigvuldigen en te checken of er sprake is van overlap.

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl