



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

Berekeningsmethoden magneetveldzone

Rapport 610790015/2011

G. Kelfkens | M.J.M. Pruppers



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

Berekeningsmethoden magneetveldzone

RIVM Rapport 610790015/2011

Colofon

© RIVM 2011

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, LSO
M.J.M. Pruppers, LSO

Contact:
Gert Kelfkens
Laboratorium voor Stralingsonderzoek
gert.kelfkens@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Milieu, Portefeuille Milieu, Directie Risicobeleid, in het kader van project 'WEST - Beleidsondersteuning elektromagnetische velden'.

Rapport in het kort

Berekeningsmethoden magneetveldzone

Magnetische velden in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen leiden mogelijk tot een verhoogd leukemierisico bij kinderen. Daarom heeft het ministerie van I&M (voorheen VROM) in 2005 beleid gelanceerd dat gebaseerd is op het voorzorgsprincipe. Uitgangspunt van het beleid is dat rondom een hoogspanningslijn een magneetveldzone wordt vastgelegd waarin geen nieuwe woningen, scholen of kinderdagverblijven mogen worden gerealiseerd. Het RIVM heeft een handreiking ontwikkeld waarmee adviesbureaus de breedte van deze magneetveldzone kunnen bepalen.

Naar aanleiding hiervan heeft het RIVM de breedtes vergeleken van de magneetveldzone die enkele adviesbureaus voor vijf standaardconfiguraties van hoogspanningslijnen hebben berekend. Voor de uitvoering van het beleid is het namelijk van belang dat de resultaten hiervan niet teveel van elkaar verschillen. Het ministerie heeft daarom gesteld dat de uitkomsten van de adviesbureaus voor de zonebreedte niet meer dan 5 meter van het gemiddelde van de berekende resultaten mogen verschillen.

Het gebruik van eerdere versies van de RIVM-handreiking bleek tot te grote verschillen te leiden. Het RIVM heeft daarop de handreiking vereenvoudigd (versie 3.0). Met deze vereenvoudigde versie blijven de door de adviesbureaus berekende zonebreedtes wel binnen de gestelde marge van 5 meter.

Adviesbureaus kunnen op basis van de vijf standaardconfiguraties laten zien dat ze in staat zijn een zoneberekening uit te voeren die overeenstemt met de handreiking en waarvan de resultaten binnen de 5 meter marge vallen. Het RIVM organiseert de toelatingsprocedure voor bureaus om op een lijst te komen met adviesbureaus die aan deze voorwaarden voldoen.

Trefwoorden:

hoogspanningslijnen, magnetische velden, magneetveldzone

Abstract

Magnetic field zone calculation methods

Magnetic fields near overhead power lines may lead to an increased risk of childhood leukaemia. Therefore, the Dutch Ministry of Infrastructure and the Environment (formerly the Ministry for Housing, Spatial Planning and the Environment) launched in 2005 a policy based on the precautionary principle. The policy approach is that a magnetic field zone around a power line is established in which no new housing, schools or nurseries can be realized. RIVM (National Institute for Public Health and the Environment) has developed a guideline that can be used by consultancies to determine the width of this magnetic field zone.

RIVM compared the widths of the magnetic zone that some consultancies have calculated for five standard power line configurations. To implement the policy it is important that the results of the calculation do not differ too much. The Ministry requires that the zone widths calculated by the consultancies should not differ more than 5 meters from the average calculated zone width.

Using earlier versions of the RIVM guideline led to differences that were too large. Subsequently RIVM simplified the guideline (version 3.0). Using this simplified version the zone widths calculated by the consultancies remain within the prescribed margin of 5 meters.

On the basis of the five standard power line configurations consultancies may show that they are able to perform a zone width calculation in accordance with the guideline and whose results are within the margin of 5 meters. RIVM organizes the authorization procedure for consultancies to be admitted to the list of consultancies who meet these conditions.

Keywords:
overhead power lines, magnetic fields

Inhoud

Samenvatting—9

1 Inleiding—11

- 1.1 Achtergrond—11
- 1.2 Doel en vraagstelling—12
- 1.3 Leeswijzer—12

2 Toepassingstest handreiking versie 2—13

- 2.1 Inleiding—13
- 2.2 Toetsingscriteria—13
- 2.3 Uitvoering toepassingstest—14
- 2.4 Resultaten—14
 - 2.4.1 Inleiding—14
 - 2.4.2 Relatief criterium—15
 - 2.4.3 Absoluut criterium—16
 - 2.4.4 Magneetveldprofielen—17
 - 2.4.5 Bliksemdraden—17
 - 2.4.6 Uitbijters—19
 - 2.4.7 Andere specifieke kenmerken per deelnemer—19
- 2.5 Discussie—19

3 Toepassingstest handreiking versie 3.0—21

- 3.1 Inleiding en opzet—21
- 3.2 Resultaten—21
- 3.3 Discussie—23

4 Afsluitende opmerkingen—25

- 4.1 Handreiking—25
- 4.2 Lijst adviesbureaus—25

5 Referenties—27

- Bijlage 1 Standaardconfiguraties—29
- Bijlage 2 Versie 2.4 Analyse met alle ingezonden zonebreedtes—39
- Bijlage 3 Versie 2.4 Profielen magnetisch veld—41
- Bijlage 4 Versie 2.4 Controle op uitbijters—45
- Bijlage 5 Versie 2.4 Specifieke scores deelnemers—49
- Bijlage 6 Versie 3.0 Profielen magnetisch veld—51

Samenvatting

De magnetische velden die ontstaan in de buurt van hoogspanningslijnen leiden mogelijk tot een verhoogd leukemierisico bij kinderen die in de buurt van zo'n hoogspanningslijn wonen. Sinds 2005 adviseert het ministerie van I&M (voorheen VROM) daarom maatregelen bij bovengrondse hoogspanningslijnen op basis van het voorzorgsbeginsel. Centraal in dit beleidsadvies staat de magneetveldzone gedefinieerd als: 'de strook grond die zich aan beide zijden langs de 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 zo veel mogelijk te voorkomen dat er nieuwe situaties ontstaan waarbij kinderen langdurig binnen deze magneetveldzone verblijven.

Het RIVM heeft bij het uitvaardigen van het beleidsadvies in 2005 een handreiking opgesteld om die magneetveldzone te kunnen berekenen. De handreiking legt vast van welke invoergegevens uitgegaan dient te worden en hoe de resultaten van de zoneberekening het beste kunnen worden gerapporteerd. Een vergelijking van de toepassing van de handreiking door de verschillende adviesbureaus op typische hoogspanningslijnen ontbrak. Daarom heeft het ministerie het RIVM gevraagd te beoordelen in hoeverre de breedte van de magneetveldzone die de verschillende adviesbureaus voor een aantal standaardsituaties berekenen, overeenkomen.

In eerste instantie was de toepassingstest gebaseerd op een geactualiseerde versie van de RIVM-handreiking uit 2005. Uit die eerste toepassingstest bleek dat de resultaten voor de berekening van de breedte van de magneetveldzone in vijf standaardsituaties onvoldoende overeenkwamen. De meest waarschijnlijke oorzaak voor de verschillen lag in het feit dat de verschillende rekenmodellen inconsistent waren in het uitrekenen van de geïnduceerde stroom door de bliksemdraden en hoogspanningsmast.

Om een betere overeenkomst te realiseren werden de geïnduceerde stromen buiten beschouwing gelaten en werd de handreiking dienovereenkomstig vereenvoudigd. Het ministerie van I&M formuleerde als criterium voor 'voldoende overeenstemming' dat alle berekende zonebreedtes binnen 5 meter van het gemiddelde moesten liggen. Met deze handreiking (versie 3.0) werd de toepassingstest herhaald. De resultaten voor alle zeven adviesbureaus bleken aan het criterium van het ministerie van I&M te voldoen.

Op basis van de handreiking en de toepassingstest kunnen adviesbureaus laten zien dat ze in staat zijn een zoneberekening uit te voeren die in overeenstemming is met het overheidsbeleid voor hoogspanningslijnen. Daarvoor moet het adviesbureau voldoen aan criteria voor: het gebruikte rekenmodel, de berekende zonebreedtes voor vijf standaardconfiguraties en de rapportage van de zoneberekening. Adviesbureaus die aan de voorwaarden voldoen kunnen worden opgenomen in de lijst met 'adviesbureaus waarvan bekend is dat ze ervaring hebben met zoneberekeningen volgens de handreiking'. Deze lijst wordt beheerd door het RIVM.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Opwekking, transport en gebruik van elektriciteit veroorzaken elektromagnetische velden met extreem lage frequentie (ELF). Sinds Wertheimer en Leeper in 1979 voor het eerst een mogelijk verband tussen kinderleukemie en het wonen in de buurt van bovengrondse elektriciteitslijnen publiceerden, wordt er onderzoek gedaan naar gezondheidseffecten van deze ELF-velden [1]. De International Agency for Research on Cancer (IARC) – een agentschap van de World Health Organisation (WHO) – kwalificeerde de magnetische component van deze velden als ‘mogelijk carcinogeen voor mensen’ [2]. Volgens de commissie ‘ELF elektromagnetische velden’ van de Gezondheidsraad wijst de totaliteit van epidemiologisch onderzoek op een redelijk consistente associatie tussen het vóórkomen van leukemie bij kinderen en het wonen in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen [3], echter zonder dat een oorzakelijk verband is aangetoond. In een analyse van epidemiologische onderzoeken concludeerde het RIVM dat van een mogelijk verhoogd risico op kinderleukemie sprake is bij wonen op een locatie waar de magnetische veldsterkte hoger is dan een waarde ergens tussen 0,2 en 0,5 microtesla [4].

De mogelijkheid van gezondheidseffecten, de wetenschappelijke onzekerheid en de bezorgdheid bij burgers, vormden voor de Nederlandse overheid aanleiding voor verder onderzoek en voor passende maatregelen in relatie tot de maatschappelijke kosten en baten (vierde Nationaal Milieubeleidsplan, NMP4 [5]). Dit resulteerde uiteindelijk in beleid op basis van het voorzorgsbeginsel. Dat beleid is vastgelegd in een brief van voormalig staatssecretaris Van Geel aan gemeenten, provincies en netbeheerders van 3 oktober 2005 [6]. Doel van het beleidsadvies is om zoveel als redelijkerwijs mogelijk is te voorkomen dat er nieuwe situaties ontstaan waarbij kinderen langdurig verblijven in het gebied rond bovengrondse hoogspanningslijnen waarbinnen het jaargemiddelde magneetveld hoger is dan 0,4 microtesla (de magneetveldzone). Het beleid is in november 2008 door voormalig minister Cramer per brief nader toegelicht op de punten: langdurig verblijf, gevoelige bestemmingen en bestaande situaties [7].

Centraal in het beleid staat de magneetveldzone gedefinieerd als: ‘de strook grond die zich aan beide zijden langs de hoogspanningslijn uitstrekt en waarbinnen het magneetveld gemiddeld over een jaar hoger dan 0,4 microtesla is of in de toekomst kan worden’.

Bij de toepassing van het beleidsadvies is het essentieel om tot een eenduidig vastgelegde magneetveldzone te komen. Dat betekent dat de resultaten van zoneberekeningen door verschillende adviesbureaus zo goed mogelijk overeen moeten komen. Om dat te bereiken zijn drie stappen belangrijk:

- eenduidig vastleggen van de benodigde invoergegevens voor de zoneberekening en de herkomst van deze gegevens;
- het vergelijken van de resultaten van de rekenmodellen die adviesbureaus gebruiken om uit deze (gestandaardiseerde) invoer de breedte van de 0,4 microteslazone te berekenen;
- het op een heldere en consistente manier rapporteren van de berekende zonebreedte.

Het RIVM heeft in 2005 een handreiking voor de berekening van de magneetveldzone opgesteld [8]. De handreiking omschrijft welke invoergegevens voor de zoneberekening gebruikt dienen te worden en hoe de berekenende zone gerapporteerd moet worden. Drie jaar na de start van het hoogspanningslijnenbeleid is de werking van deze handreiking (versie 1.0) geëvalueerd in overleg tussen het ministerie van I&M, RIVM, TenneT en de betrokken adviesbureaus. Dit heeft in 2008 geleid tot een geactualiseerde, tweede versie van de RIVM-handreiking. Tevens is in dat overleg besloten te toetsen in hoeverre de door de verschillende adviesbureaus berekende breedte van de magneetveldzone op basis van deze handreiking overeenkomen. De resultaten van deze toetsing op basis van versie 2.4 van de handreiking [9] voldeden niet aan de vooraf opgestelde criteria. Daarop is besloten de handreiking verder te vereenvoudigen tot versie 3.0 [10]. Met deze versie van de handreiking is de toets of de door de verschillende adviesbureaus berekende breedte van de magneetveldzone voldoende overeenkomen herhaald. Dit rapport beschrijft de 'toepassingstest' van de beide versies van de RIVM-handreiking (2.4 en 3.0).

1.2 Doel en vraagstelling

Doel van dit rapport is allereerst te beoordelen in hoeverre zoneberekeningen op basis van de RIVM-handreiking uitgevoerd door verschillende adviesbureaus leiden tot voldoende overeenstemming in de gerapporteerde breedte van de magneetveldzone. Tevens evalueert dit rapport de mogelijkheden om de overeenstemming te verbeteren door aanpassingen in de RIVM-handreiking of in de berekeningsmethode.

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de toepassingstest gebaseerd op versie 2.4 van de RIVM-handreiking. Omdat uit die test volgde dat op basis van die versie van de handreiking niet aan de vooraf opgestelde criteria voor overeenstemming kon worden voldaan, is de toepassingstest in hoofdstuk 3 herhaald, maar nu op basis van een vereenvoudigde RIVM handreiking (versie 3.0). Hoofdstuk 4 bevat tot slot enkele afsluitende opmerkingen.

2 Toepassingstest handreiking versie 2

2.1 Inleiding

Versie 2.4 van de handreiking [9] legt vast welke invoergegevens gebruikt moeten worden. Tot welke zonebreedtes de verschillende rekenmodellen bij deze gestandaardiseerde invoer leiden, is gecontroleerd in een toepassingstest. In totaal zijn zes deelnemers gevraagd mee te doen: KEMA, Movares, Petersburg, RIVM, TenneT en TNO. TenneT en RIVM willen hun rekenmodel niet inzetten voor zoneberekening voor externe partijen, maar uitsluitend voor eigen analyses. De deelnemers aan de toepassingstest is gevraagd aan de hand van een protocol, met gebruikmaking van de handreiking versie 2.4, onafhankelijk van elkaar zoneberekeningen uit te voeren voor vijf standaardconfiguraties en deze resultaten aan het RIVM te rapporteren.

2.2 Toetsingscriteria

Voorafgaand aan de toepassingstest heeft het ministerie van I&M – in overleg met de deelnemers – vastgelegd wanneer de resultaten van de zoneberekening van de verschillende deelnemers ‘in voldoende mate’ overeenstemmen. Allereerst is besloten de beoordeling te beperken tot de door de deelnemers gerapporteerde breedte van de magneetveldzone. De vorm van de magneetveldprofielen is wel globaal bekeken, maar niet op een kwantitatieve manier beoordeeld. Dat betekent dat het al dan niet overeenkomen van de verschillende zoneberekeningen is beoordeeld aan de hand van tien opgegeven breedtes van de magneetveldzone (vijf standaardconfiguraties, aan twee zijden). Omdat de werkelijke waarden voor de zonebreedtes onbekend zijn is er geen ‘gouden standaard’ om de gerapporteerde zonebreedtes mee te vergelijken. Als basis voor de vergelijking van de zonebreedtes is het rekenkundige gemiddelde genomen van alle gerapporteerde zonebreedtes voor één zijde van een configuratie. Voor de grootte van de afwijking van dat gemiddelde zijn twee criteria gehanteerd: een relatief en een absoluut criterium.

- relatief
Het relatieve criterium gaat uit van een maximale afwijking van 5% van het gemiddelde. Bij elke configuratie wordt – aan beide zijden van de hoogspanningslijn – het gemiddelde van de zonebreedte over alle deelnemers bepaald. Deze tien gemiddelde zonebreedtes worden vervolgens vergeleken met de waarden die elke deelnemer heeft ingestuurd. Alleen als alle tien zonebreedtes van een deelnemer minder dan 5% van de betreffende gemiddeldes afwijken, wordt de inzending als ‘voldoende overeenkomend’ beoordeeld.
- absoluut
Bij deze beoordeling worden de door een deelnemer berekende zonebreedtes als ‘voldoende overeenkomend’ beoordeeld als alle tien gerapporteerde zonebreedtes minder dan 5 meter van de betreffende gemiddelde zonebreedtes afwijken.

Het relatieve criterium is streng bij smalle zones. Bij een zonebreedte van 40 meter, bijvoorbeeld, is niet meer dan een afwijking van 2 meter toegestaan. Bij een zonebreedte van 120 meter is volgens dit criterium een afwijking van 6 meter acceptabel. Het absolute criterium is onafhankelijk van de zonebreedte. Daardoor is het voor sommige configuraties minder streng dan het relatieve criterium, maar in andere situaties (bij zonebreedtes boven de 100 meter) strenger.

2.3 Uitvoering toepassingstest

Op 21 oktober 2008 zijn het protocol, RIVM-handreiking versie 2.4 en de vijf standaardconfiguraties naar de deelnemers verzonden. De standaardconfiguraties zijn:

- 1 een 110 kV verbinding met horizontale ophanging, twee circuits;
- 2 een 150 kV verbinding met 'dennenboom' masten (verticale ophanging), twee circuits;
- 3 een 380 kV verbinding met Donau masten, twee circuits;
- 4 een 380 kV verbinding met Wintrack masten, twee circuits;
- 5 een 380/150 kV combinatie verbinding met Wintrack masten, twee circuits; 380 kV, twee circuits 150 kV.

Voor elke configuratie hebben de deelnemers bepaald:

- de breedte van de 0,4 microteslazone links en rechts van de lijn op 1 meter hoogte, met een nauwkeurigheid van 0,1 meter;
- een volledig profiel van het magnetische veld op 1 meter hoogte, met stappen van 1 meter (250 meter ter weerszijden van de lijn);
- stroom (grootte en fase) in bliksem en compensatiedraden.

De eerste deelnemers stuitten op enkele onvolledigheden en onduidelijkheden in de beschrijving van de standaardconfiguraties. Daarom zijn de configuraties via enkele aanvullende e-mails in hun definitieve vorm gegoten. De aanvullingen betroffen:

- een aanvulling met betrekking tot de typering en doorsneden van geleiders en bliksemdraden;
- een aanvulling voor configuratie 4 en 5 met betrekking tot de precieze positie van de verschillende fasen;
- een verbeterde tekening met afmetingen van de mastconfiguratie voor configuratie 2.

De zo verkregen vijf 'standaardconfiguraties' zijn opgenomen in Bijlage 1.

In de periode 5 november 2008 tot en met 12 januari 2009 hebben vijf van de zes beoogde deelnemers (Movares, Petersburg, RIVM, TenneT en TNO) hun resultaten ingestuurd. Het RIVM heeft gecontroleerd of:

- alle zonebreedtes (tien) in de juiste afronding zijn aangeleverd;
- alle magneetveldprofielen (vijf) zijn aangeleverd;
- de gerapporteerde zonebreedtes consistent zijn met de ingestuurde magneetveldprofielen;
- alle stromen (veertien) door bliksem en compensatiedraden zijn aangeleverd.

Onduidelijkheden en/of onvolledigheden zijn door het RIVM in overleg met de betrokken deelnemer opgelost. De gegevens zijn in Microsoft Excel verder bewerkt.

2.4 Resultaten

2.4.1 Inleiding

Tijdens de analyse bleken het magneetveldprofiel en de zonebreedte berekend door deelnemer E voor configuratie 5 en in mindere mate voor configuratie 4 af te wijken van de overige vier deelnemers (zie Figuur 16 en Figuur 17). Het RIVM heeft daarom besloten de resultaten van deelnemer E voor configuratie 5 niet in de analyse te betrekken. Deelnemer C meldde na insturen van de berekeningen dat er bij configuratie 3 een invoerfout was gemaakt (zie Figuur 15) en heeft het

RIVM gevraagd deze configuratie niet in de analyse mee te nemen. Het RIVM heeft ook deze bijdrage niet in de analyse betrokken. Uiteindelijk is de analyse gebaseerd op 46 'geldige' zonebreedtes. In het vervolg van dit hoofdstuk worden met gerapporteerde zonebreedtes steeds die 46 zonebreedtes bedoeld, waarbij configuratie 3 voor deelnemer C en configuratie 5 voor deelnemer E buiten beschouwing zijn gelaten. Om de invloed van deze weglating in te schatten zijn in Bijlage 2 de resultaten weergegeven voor alle ingezonden zonebreedtes, zonder weglaten van configuratie 3 voor deelnemer C en configuratie 5 voor deelnemer E.

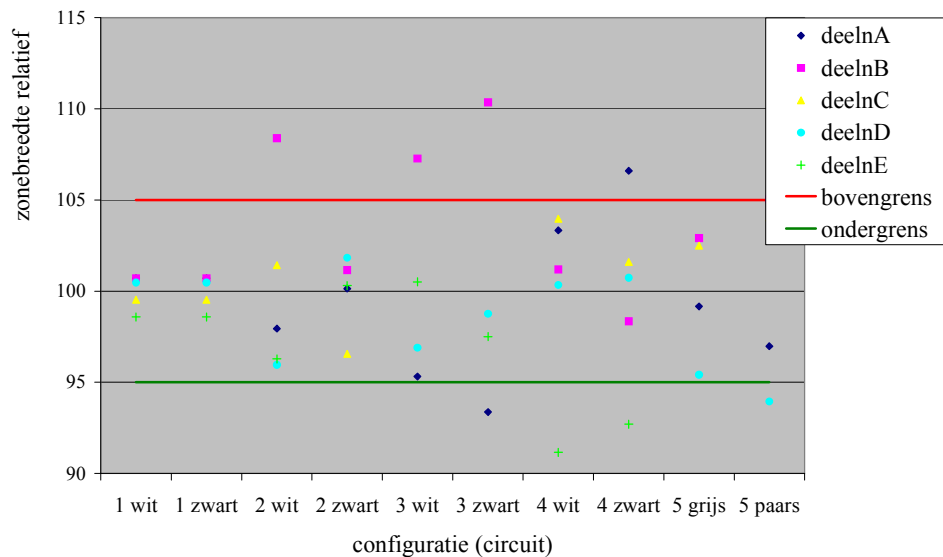
De gemiddelde, de hoogste en de laagste gerapporteerde zonebreedte en het aantal inzenders per configuratie zijn weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1 Gemiddelde, hoogste en laagste waarde voor de gerapporteerde zonebreedtes (afstand van de rand van de zone tot de hartlijn)

configuratie	gemiddelde zonebreedte (m)	hoogste waarde (m)	laagste waarde (m)	aantal
SC1-wit	42,4	42,7	41,8	5
SC1-zwart	42,4	42,7	41,8	5
SC2-wit	60,3	65,4	57,9	5
SC2-zwart	58,8	59,9	56,8	5
SC3-wit	108,0	115,8	102,9	4
SC3-zwart	111,3	122,8	103,9	4
SC4-wit	46,8	48,7	42,7	5
SC4-zwart	46,1	49,1	42,7	5
SC5-grijs	48,0	49,4	45,8	4
SC5-paars	49,6	52,1	46,6	4

2.4.2 *Relatief criterium*

Volgens het relatieve criterium worden alleen die modellen voor zoneberekening toegelaten die minder dan 5% afwijken van het gemiddelde van alle door de deelnemers ingestuurde zonebreedtes voor elke configuratie. Om hier inzicht in te krijgen zijn in Figuur 1 de zonebreedtes als percentage van de gemiddelde zonebreedte weergegeven (de zonebreedte wordt hier uitgedrukt in de 'afstand van de rand van de zone tot de hartlijn'). De gemiddelde zonebreedte wordt per zijde van de hoogspanningslijn bepaald door het rekenkundig gemiddelde over alle deelnemers. Zonebreedtes boven de rode lijn liggen meer dan 5% boven de gemiddelde zonebreedte en zonebreedtes onder de groene lijn meer dan 5% er onder.



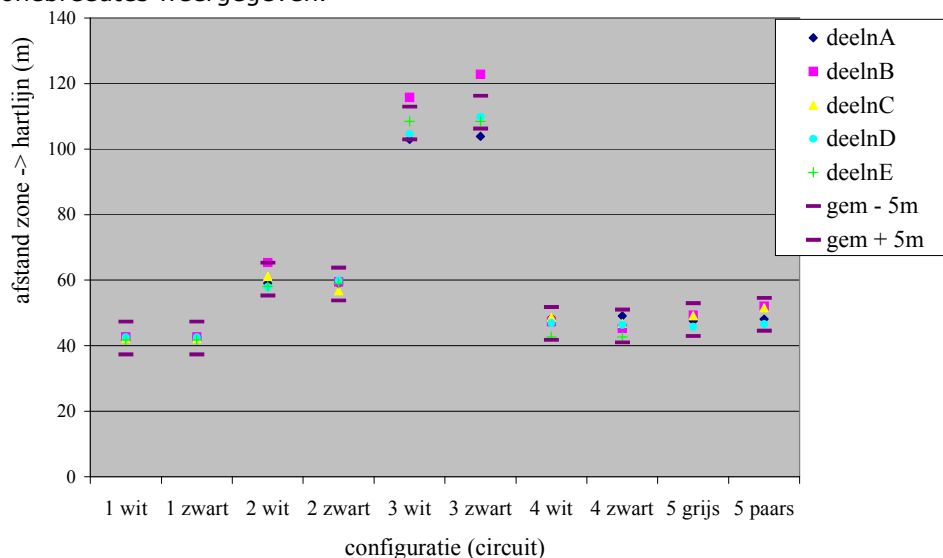
Figuur 1 Zonebreedtes relatief ten opzicht van de gemiddelde zonebreedte.

Uit Figuur 1 wordt duidelijk dat geen van de deelnemers aan het 5%-criterium voldoet. Deelnemer C voldoet niet omdat er geen resultaat voor configuratie 3 is. De overige deelnemers voldoen niet omdat zij allen minsten één keer buiten de 5%-lijnen vallen. Bovendien is er voor deelnemer E geen resultaat voor configuratie 5. Het maximale verschil met het gemiddelde bedraagt 10,4% (configuratie 3 zwart, deelnemer B).

2.4.3

Absoluut criterium

Voor het absolute criterium wordt beoordeeld of alle tien gerapporteerde zonebreedtes van een deelnemer minder dan 5 meter van de gemiddelde zonebreedte voor die configuratie afwijken. Dit wordt in beeld gebracht in Figuur 2. Bij elke configuratie is naast de gemiddelde waarde ook de waarde van 5 meter boven en onder het (rekenkundig) gemiddelde van de vier of vijf gerapporteerde zonebreedtes weergegeven.



Figuur 2 Zonebreedtes voor de vijf standaardconfiguraties en de vijf deelnemers

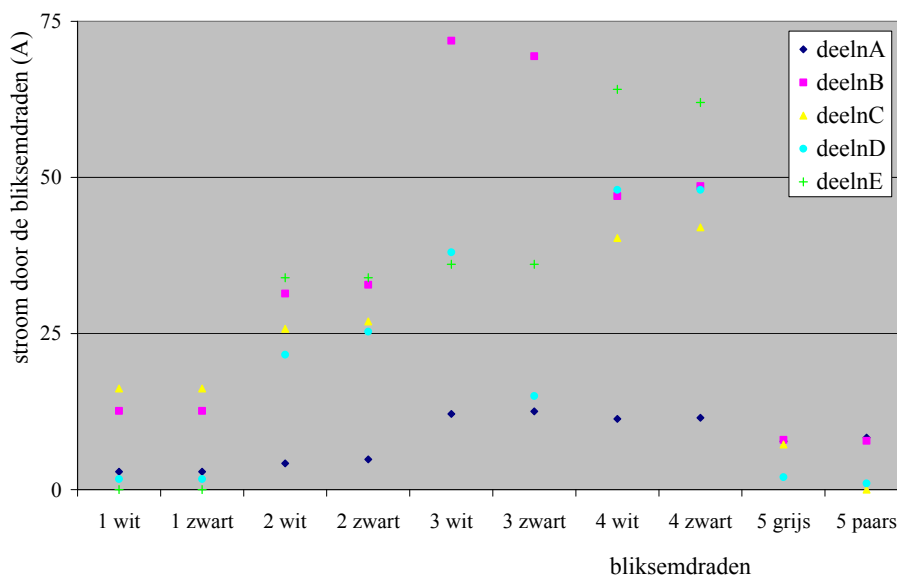
Uit Figuur 2 wordt duidelijk dat alleen deelnemer D aan het absolute criterium voldoet. Deelnemer C en E voldoen niet omdat zij geen resultaat hebben voor alle configuraties. Deelnemers A en B voldoen niet omdat sommige gerapporteerde zonebreedtes meer dan 5 meter van het gemiddelde afwijken. De maximale afwijking ten opzichte van het gemiddelde is 11,5 meter (configuratie 3 zwart, deelnemer B).

2.4.4 *Magneetveldprofielen*

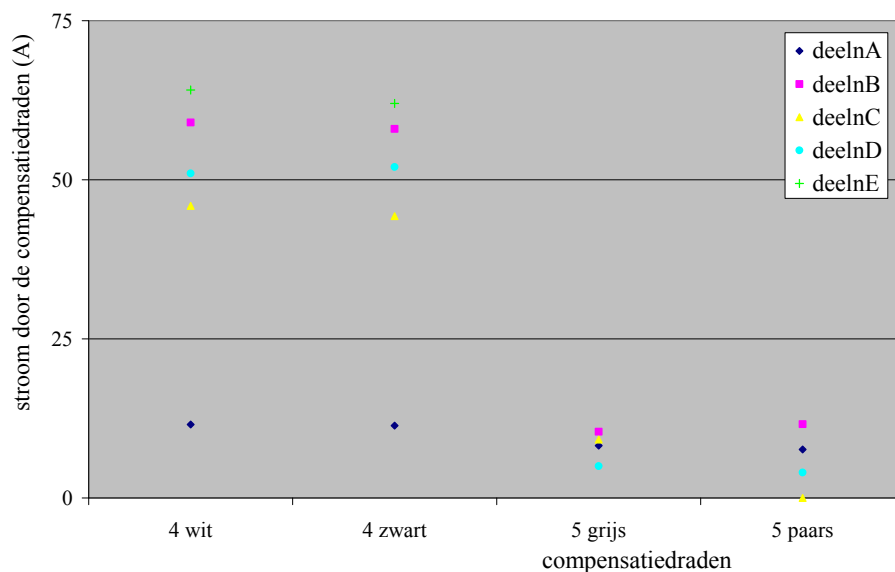
De focus in de toepassingstest is op de breedte van de magneetveldzone. Toch kan ook de vorm van het magneetveldprofiel informatie geven over de betrouwbaarheid van de zoneberekening. Daarom zijn in Bijlage 3 (Figuur 13 t/m Figuur 18) de ingestuurde magneetveldprofielen weergegeven. Met uitzondering van de profielen voor configuraties 4 en 5 van deelnemer E zijn de magneetveldprofielen qua vorm goed vergelijkbaar. Opvallend is wel dat de berekende sterkte van het magnetische veld in de buurt van de hartlijn enkele microtesla's kan verschillen.

2.4.5 *Bliksemdraden*

Een ander aspect dat bij de eerste toepassingstest werd meegenomen is de stroom door andere geleiders. Versie 2.4 van de handreiking probeert alle stromen in het systeem van de hoogspanningslijn volledig te beschrijven. Naast de directe stroom door de geleiders ontstaan geïnduceerde stromen in de bliksemdraden, de compensatiedraden, in de hoogspanningsmast zelf en in de bodem. Deze geïnduceerde stromen kunnen van invloed zijn op de breedte van de magneetveldzone. De stroom door de bliksemdraden is een van de rekenresultaten die de deelnemers rapporteren. In Figuur 3 is de stroomsterkte door de bliksemdraden (boven aan de mast) zoals die door de deelnemers is bepaald, weergegeven. Bij configuratie 4 en 5 zijn halverwege de hoogspanningsmast compensatiedraden opgenomen die de magneetveldzone mogelijk verkleinen. De stroom die in deze compensatiedraden wordt geïnduceerd, is in Figuur 4 weergegeven.

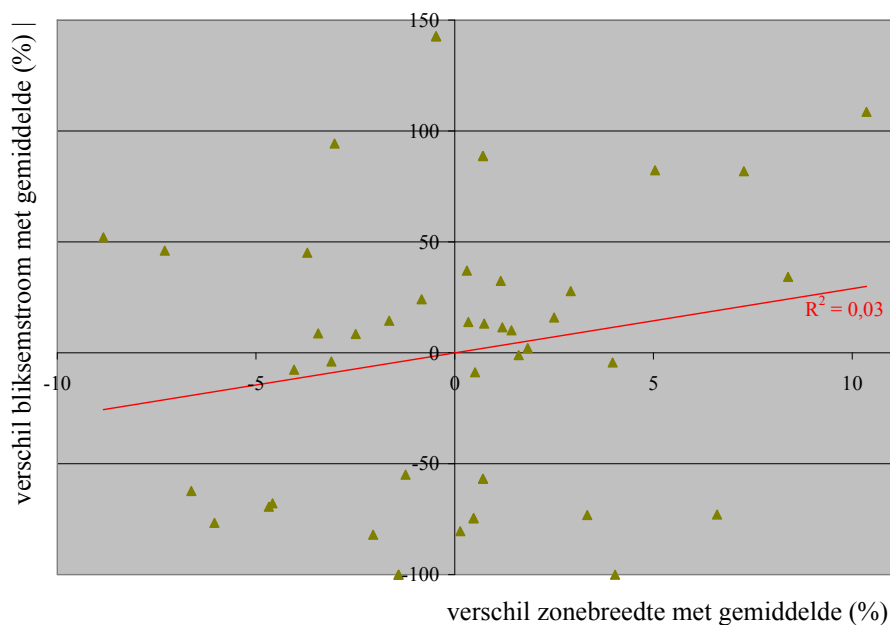


Figuur 3 *Stroom door de bliksemdraden voor de vijf standaardconfiguraties*



Figuur 4 Stroom door de compensatiedraden in configuratie 4 en configuratie 5

Uit beide figuren blijkt dat de stroom door bliksem- en compensatiedraden die de verschillende deelnemers berekenen uiteenloopt: voor de stroom door de bliksemdraden kan de hoogst berekende stroom meer dan zes keer hoger zijn dan de laagst berekende waarde. Voor configuratie 3 bijvoorbeeld, varieert de stroom door de bliksemdraden tussen 12 en 72 A en voor configuratie 1 tussen 0 en 16 A. De verschillende rekenmodellen geven geen eenduidig beeld voor de stroom door de bliksemdraden. De mogelijkheid bestaat dat de verschillen in stroom door de bliksemdraden zich op een systematische manier vertalen in verschillen in zonebreedte. Om dit te controleren is onderzocht of een berekende hoge stroom door de bliksemdraden leidt tot een lage (of juist hoge) zonebreedte. Voor de berekende zonebreedtes is het procentuele verschil tussen de berekende en de gemiddelde zonebreedte uitgezet tegen het procentuele verschil tussen de berekende en de gemiddelde bliksemstroom (Figuur 5).



Figuur 5 Correlatie tussen bliksemstroom en zonebreedte

Uit het feit dat de trendlijn een kleine correlatiecoëfficiënt heeft ($R^2 = 0,03$) volgt dat er geen duidelijke correlatie tussen zonebreedte en bliksemstroom bestaat. Het is niet zo dat een te laag of te hoog ingeschatte bliksemstroom systematisch tot een te brede (of te smalle) zone leidt.

2.4.6 *Uitbijters*

Het is mogelijk dat de resultaten van de toepassingstest beïnvloed worden door één deelnemer. Om dat te onderzoeken is in bijlage 4 (Figuur 19 t/m Figuur 23) onderzocht of de resultaten veranderen als een van de deelnemers buiten beschouwing wordt gelaten. Hoewel deze weglatingsprocedure op detailniveau wel tot wijzigingen leidt, blijft de hoofdlijn van de gerapporteerde zonebreedtes onveranderd. Het is dus niet zo dat één van de deelnemers aan de toepassingstest de uiteindelijke resultaten onevenredig sterk beïnvloedt. Er is geen echte 'uitbijter' onder de deelnemers aan te wijzen.

2.4.7 *Andere specifieke kenmerken per deelnemer*

Uit Paragraaf 2.4.6 blijkt dat er niet één deelnemer aan te wijzen is die er uitspringt. Toch is het interessant of de berekeningsresultaten specifieke kenmerken hebben. Bijvoorbeeld één deelnemer die altijd de hoogste (of de laagste) zonebreedte berekent of een deelnemer die altijd boven (of onder) het gemiddelde scoort. Ook de verschillen in grootte van de magnetische veldsterkte op het hart van de hoogspanningslijnen zijn interessant. In Bijlage 5 is dat weergegeven. Ook voor deze specifieke kenmerken geldt dat geen van de deelnemers eruit springt.

2.5 **Discussie**

De variatie in de zonebreedtes - berekend op basis van versie 2.4 van de RIVM-handreiking - is zo groot dat geen van de deelnemers voldoet aan de a priori eis dat zijn bijdrage kan worden geaccepteerd als de variatie voor geen van de configuraties meer is dan 5% van de gemiddelde zonebreedte. Aan de tweede

voorwaarde van een maximale afwijking van 5 meter van de gemiddelde zonebreedte wordt alleen door deelnemer D voldaan.

Geen van de deelnemers blijkt een echte uitbijter. De matige overeenkomst van de zoneberekening is daarom niet te verbeteren door een van de deelnemers uit te sluiten.

Waardoor de verschillen precies ontstaan is niet duidelijk. Alleen een gedetailleerde analyse van de gebruikte rekenmodellen kan aan het licht brengen wat de oorzaak van de grote variatie is. Zo'n uitgebreide vergelijking van de techniek van de gebruikte rekenmodellen is een tijdrovend en duur project en is door het ministerie van I&M niet opportuun bevonden.

Er is een aantal manieren om toch tot acceptabele verschillen in de berekende zonebreedtes te komen:

- een eerste voor de hand liggende aanpak is om de criteria voor wat 'voldoende overeenstemming is' op te rekken. Dat kan bijvoorbeeld door een afwijking van 10 meter ten opzichte van de gemiddelde zonebreedte goed genoeg te vinden. Voor een gemiddelde zonebreedte van bijvoorbeeld 40 meter zijn dan alle berekende waardes tussen 30 en 50 meter in orde. Een zodanig groot verschil (van 20 m) wordt door het ministerie en andere betrokkenen als onacceptabel beoordeeld;
- een tweede mogelijkheid is om één van de gebruikte modellen als 'standaard' aan te wijzen en dat model, bijvoorbeeld via het internet, voor alle rekenaars beschikbaar te stellen. Een probleem bij deze aanpak is dat niet op voorhand duidelijk is welk model geschikt is als standaard. Bovendien kan de keuze voor één model als concurrentievervalsing worden ervaren;
- een derde manier is om te onderzoeken of verdere vereenvoudiging van de handreiking tot betere overeenstemming van de berekende zonebreedtes leidt.

Het ministerie van I&M heeft uiteindelijk voor de derde mogelijkheid gekozen. Versie 2.4 van de handreiking is vereenvoudigd. Alleen de stroom door de geleiders wordt in de zoneberekening meegenomen. Andere stromen geïnduceerd in de bliksemdraden, mast en bodem worden buiten beschouwing gelaten. De hoogspanningslijn wordt feitelijk gereduceerd tot een samenstel van stroomvoerende geleiders waarvan de positie wordt bepaald door de ophanging aan de mast en de doorhang. Op 25 juni 2009 is een nieuwe versie van de handreiking (3.0) vastgesteld die deze wijzigingen bevat [10].

3 Toepassingstest handreiking versie 3.0

3.1 Inleiding en opzet

Op basis van de vereenvoudigde handreiking (versie 3.0 [10]) is de toepassingstest herhaald. De te gebruiken invoerparameters zijn anders omdat ze nu door versie 3.0 van de handreiking worden bepaald. De belangrijkste verschillen met versie 2.4 met betrekking tot de invoergegevens zijn:

- bliksemdraden (en de stroom daardoor) worden niet in de berekening meegenomen;
- materiaaleigenschappen, positie aan de mast en doorhang van de bliksemdraden maken geen deel meer uit van de invoergegevens;
- de weerstand van de mast en de bodemweerstand worden niet in de berekening meegenomen ¹.

Voor de rest is de opzet van de toepassingstest voor versie 3.0 van de handreiking hetzelfde als voor de test van versie 2.4. De deelnemers is gevraagd voor de vijf standaardconfiguraties (Bijlage 1) de volgende gegevens in te sturen:

- breedte van de 0,4 microteslazone links en rechts van de lijn op 1 meter hoogte, met een nauwkeurigheid van 0,1 meter;
- een volledig profiel van het magnetische veld op 1 meter hoogte, met stappen van 1 meter (250 meter ter weerszijden van de lijn).

Omdat het relatieve criterium zeer strikt is voor kleine zonebreedtes, is vooraf besloten dat de inzendingen alleen op het (absolute) criterium van 5 meter afwijking beoordeeld zullen worden. Dat betekent dat de door een deelnemer berekende zonebreedtes als 'voldoende overeenkomend' beoordeeld worden als voor alle configuraties beide gerapporteerde zonebreedtes minder dan 5 meter van de gemiddelde zonebreedte voor die zijde van de configuratie afwijken.

3.2 Resultaten

Het aantal deelnemers aan de tweede toepassingstest bedroeg zeven. Tabel 2 geeft een overzicht van de deelnemers met het rekenmodel dat ze voor het bepalen van de zonebreedtes hebben gebruikt.

¹ Als een rekenmodel expliciet om mast of bodemweerstand vraagt, worden deze parameters op 'oneindig' gezet. In de praktijk is een waarde voor de mastweerstand van 100.000 ohm en een waarde voor de bodemweerstand van 100.000 ohm.m voldoende hoog.

Tabel 2 *De deelnemers aan de toepassingstest gebaseerd op versie 3.0 van de handreiking met hun rekenmodellen*

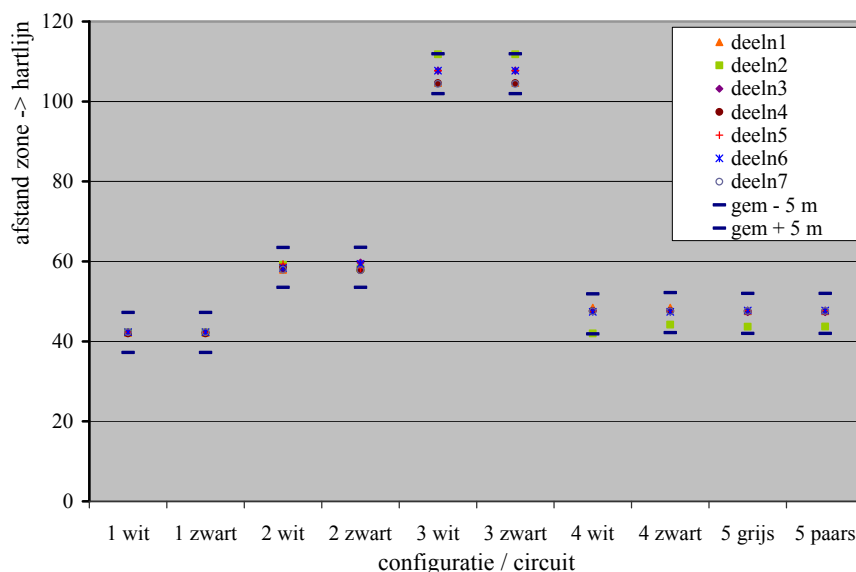
deelnemer	rekenmodel
Energy Solutions	Mathcad 14; eigen ontwikkeld programma op basis van Mathcad routines
KEMA	HERBS 2.0; Electric Power Research Institute (EPRI)
Liandon	EFC-400; Forschungsgesellschaft für Energie und Umwelttechnologie (FGEU)
Movares	SimspoG; eigen ontwikkeld simulatiepakket
Petersburg	Bveld 5.4; eigen ontwikkelde programmatuur
RIVM	EFC-400; Forschungsgesellschaft für Energie und Umwelttechnologie (FGEU)
Siemens	EFC-400; Forschungsgesellschaft für Energie und Umwelttechnologie (FGEU)

Van deze deelnemers heeft het RIVM aangegeven het rekenmodel uitsluitend voor eigen analyses te willen gebruiken. Alle deelnemers hebben valide berekeningen ingestuurd voor alle vijf standaardconfiguraties. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3 *Gemiddelde, hoogste en laagste waarde voor de gerapporteerde zonebreedtes (afstand van de rand van de zone tot de hartlijn) bij de toepassingstest gebaseerd op versie 3.0 van de handreiking*

configuratie	gemiddelde zonebreedte (m)	hoogste waarde (m)	laagste waarde (m)	aantal
SC1-wit	42,2	42,3	42,0	7
SC1-zwart	42,2	42,3	42,0	7
SC2-wit	58,5	59,3	57,9	7
SC2-zwart	58,5	59,7	57,8	7
SC3-wit	106,9	111,8	104,4	7
SC3-zwart	106,9	111,8	104,4	7
SC4-wit	46,9	48,4	42,0	7
SC4-zwart	47,2	48,4	44,2	7
SC5-grijs	47,0	47,7	43,7	7
SC5-paars	47,0	47,7	43,7	7

De gerapporteerde zonebreedte en het interval van ± 5 meter rond de gemiddelde zonebreedte voor die configuratie zijn weergegeven in Figuur 6. De manier waarop de deelnemers in Figuur 6 genummerd zijn (1 t/m 7) houdt op geen enkele manier verband met de alfabetische volgorde waarin de deelnemers in Tabel 2 zijn opgenomen.



Figuur 6 Zonebreedtes voor de vijf standaardconfiguraties van de zeven deelnemers

De magneetveldprofielen voor de vijf standaardconfiguraties zoals die onder versie 3.0 van de handreiking zijn bepaald, staan in Bijlage 6.

Uit Tabel 3 en Figuur 6 wordt duidelijk dat alle zeven deelnemers aan de toepassingstest van handreiking versie 3.0 voldoen aan het absolute criterium. Deelnemer 2 rapporteert de grootste afwijkingen van de gemiddelde zonebreedte, te weten 4,9 meter en voldoet daarmee net aan het absolute criterium. Voor de andere zes deelnemers bedraagt de afwijking van de gemiddelde zonebreedte minder dan 2,6 meter. Ook de magneetveldprofielen in Bijlage 6 laten kwalitatief een betere overeenstemming zien dan die van de eerste toepassingstest.

3.3 Discussie

Bij deze toepassingstest is versie 3.0 van de handreiking gebruikt waarin de stromen die in delen van de hoogspanningslijn (mast, bliksemdraden) worden geïnduceerd buiten beschouwing worden gelaten. Deze aanpak blijkt tot betere overeenstemming in de door de verschillende adviesbureaus gerapporteerde breedte van de magneetveldzone te leiden. Alle door de adviesbureaus gerapporteerde zonebreedtes vallen binnen het door het ministerie van I&M opgesteld criterium van maximaal 5 meter afwijking ten opzichte van het gemiddelde. De zeven betrokken adviesbureaus zijn daarom in staat op basis van de handreiking versie 3.0 met de door hen gebruikte rekenmodellen berekeningen van de zonebreedte uit te voeren die in voldoende mate overeen komen.

Deze verbeterde overeenstemming is niet bereikt door een gedetailleerd onderzoek of aanpassing van de gebruikte rekenmodellen. Integendeel, de deelnemers die aan beide testen hebben deelgenomen, gebruikten dezelfde rekenmodellen voor de tweede test. Het verschil ligt in het buiten beschouwing laten van de geïnduceerde stromen. Dat verbetert de overeenstemming omdat de verschillende modellen juist op dat punt uiteenlopende resultaten opleverden

(zie Paragraaf 2.4.5). De consistentie volgt dus eerder door het vereenvoudigen van de rekenmethode dan uit een fundamentele verbetering van die methodes.

De tweede toepassingstest legt - op basis van de zeven deelnemers - een gemiddelde breedte van de magneetveldzone voor de vijf standaardconfiguraties vast. De gemaakte keuzes en vereenvoudigingen in de handreiking kunnen de berekende zonebreedte hebben beïnvloed, maar een precieze kwantitatieve inschatting van die invloed is zonder een gedetailleerde vergelijking van de rekenmodellen niet mogelijk. De gemiddelde zonebreedtes vormen op dit moment de beste schatting voor de werkelijke breedte van de magneetveldzones. Daarmee is ook het 5 meter interval rond de gemiddelde zonebreedte vastgelegd dat het ministerie van I&M acceptabel vindt als verschil in berekende zonebreedte tussen verschillende adviesbureaus. Deze gegevens kunnen gebruikt worden om te beoordelen of nieuwe adviesbureaus die zonebreedtes willen gaan uitrekenen voldoende aansluiten bij de bestaande praktijk. Het in deze toepassingstest bepaalde interval in zonebreedtes wordt daarbij als vaste referentie gebruikt. Voor een nieuw bureau wordt beoordeeld of de gerapporteerde zonebreedtes voor de vijf standaardconfiguraties binnen dit interval liggen.

4 Afsluitende opmerkingen

4.1 Handreiking

De resultaten van zoneberekeningen op basis van versie 3.0 van de handreiking komen voor de geëvalueerde bureaus in voldoende mate overeen. Deze versie van de handreiking is daarom op 25 juni 2009 als geldende handreiking op de website van het RIVM geplaatst. Naast de invoerparameters legt deze handreiking vast hoe in de rapportage van een zoneberekening over het I&M-beleid voor hoogspanningslijnen gecommuniceerd kan worden. In het hoogspanningslijnenbeleid is de netbeheerder verantwoordelijk voor het aanleveren van de juiste invoergegevens. In een rapportage van een zoneberekening dient het adviesbureau expliciet aan te geven dat de netbeheerder de verantwoordelijkheid neemt voor de juistheid van de gebruikte invoergegevens, bijvoorbeeld door een brief van de netbeheerder met die strekking als bijlage in de rapportage op te nemen.

4.2 Lijst adviesbureaus

De toepassingstest voor versie 3.0 van de handreiking legt voor de zonebreedtes van de vijf standaardconfiguraties het 5 meter interval vast dat acceptabel is. Bovendien geeft deze toepassingstest een goede indicatie voor de magneetveldprofielen die voor de vijf standaardconfiguraties verwacht kunnen worden. Deze gegevens kunnen worden gebruikt om te evalueren of een ander adviesbureau een zoneberekening uit kan voeren die past bij het hoogspanningslijnenbeleid van het ministerie van I&M. Voor zo'n bureau wordt bekeken of:

- het gebruikte rekenmodel voldoende is vastgelegd en gedocumenteerd;
- de berekende zonebreedtes voor de vijf standaardconfiguraties passen binnen het vastgelegde interval;
- de magneetveldprofielen voor de vijf standaardconfiguraties, kwalitatief, passen bij die uit de toepassingstest voor versie 3.0 van de handreiking;
- het bureau in staat is een heldere en transparante rapportage van een zoneberekening op te stellen.

Het RIVM beheert een lijst met 'bureaus waarvan bekend is dat ze ervaring hebben met zoneberekeningen volgens de handreiking'. Het gaat niet om formele certificering volgens NEN of een andere systematiek. Daarvoor is de gevolgde aanpak niet diepgravend genoeg. Bovendien past een formele certificering niet bij het adviserende karakter van het hoogspanningslijnenbeleid. De lijst is meer een service aan gemeenten en anderen die bij de uitvoering van het hoogspanningslijnenbeleid zijn betrokken.

De bureaus die hebben bijgedragen aan de toepassingstest op basis van versie 3.0 van de handreiking voldoen aan de bovengenoemde voorwaarden om in de lijst te worden opgenomen. Het RIVM zal het rekenmodel niet inzetten voor zoneberekening voor externe partijen, maar uitsluitend voor eigen analyses en wordt daarom niet in de lijst opgenomen. Hierdoor bevatte de eerste versie van de lijst 'adviesbureaus waarvan bekend is dat ze ervaring hebben met zoneberekeningen volgens de handreiking' zes namen. Op 1 juni 2011 stonden er acht bureaus op de lijst en is er één 'in procedure' om te worden opgenomen.

5 Referenties

- 1 Wertheimer N and Leeper E. Electrical wiring configurations and childhood cancer. Am. J. Epidemiol. 1979; 109(3):273-84.
- 2 IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Static and Extremely Low-Frequency Electric and Magnetic Fields Vol. 80, June 2001.
- 3 Commissie ELF elektromagnetische velden. Blootstelling aan elektromagnetische velden (0 Hz - 10 MHz). Den Haag: Gezondheidsraad, 2000; 2000/6.
- 4 Van der Plas M, Houthuijs DJM, Dusseldorp A, Pennders RMJ en Pruppers MJM. Magnetische velden van hoogspanningslijnen en leukemie bij kinderen. RIVM Rapport 610050007. RIVM, Bilthoven, 2001.
- 5 NMP4. Nationaal Milieubeleidsplan 4. Een wereld en een wil: werken aan duurzaamheid. Ministerie van VROM, hoofdstuk 10.1, Den Haag, september 2001.
- 6 Advies (en bijlage) met betrekking tot hoogspanningslijnen van 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, VROM website: <http://www.vrom.nl/pagina.html?id=9490#advies>.
- 7 Verduidelijking advies met betrekking tot hoogspanningslijnen. Brief minister Cramer van VROM, gedateerd op 4 november 2008, kenmerk: DGM\2008105664.
- 8 Kelfkens, G., Pruppers, M.J.M. Handreiking voor het berekenen van de specifieke 0,4 microtesla zone in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen. Versie 1.0, RIVM, september 2005.
- 9 Kelfkens, G., Pruppers, M.J.M. Handreiking voor het berekenen van de specifieke 0,4 microtesla zone in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen. Versie 2.4, RIVM, oktober 2008.
- 10 Kelfkens, G., Pruppers, M.J.M. Handreiking voor het berekenen van de specifieke 0,4 microtesla zone in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen. Versie 3.0, RIVM, juni 2009.

Bijlage 1 Standaardconfiguraties

Standaardconfiguratie 1

Omschrijving: 2*110 kV verbinding

Gegevens verbinding:

Lijn

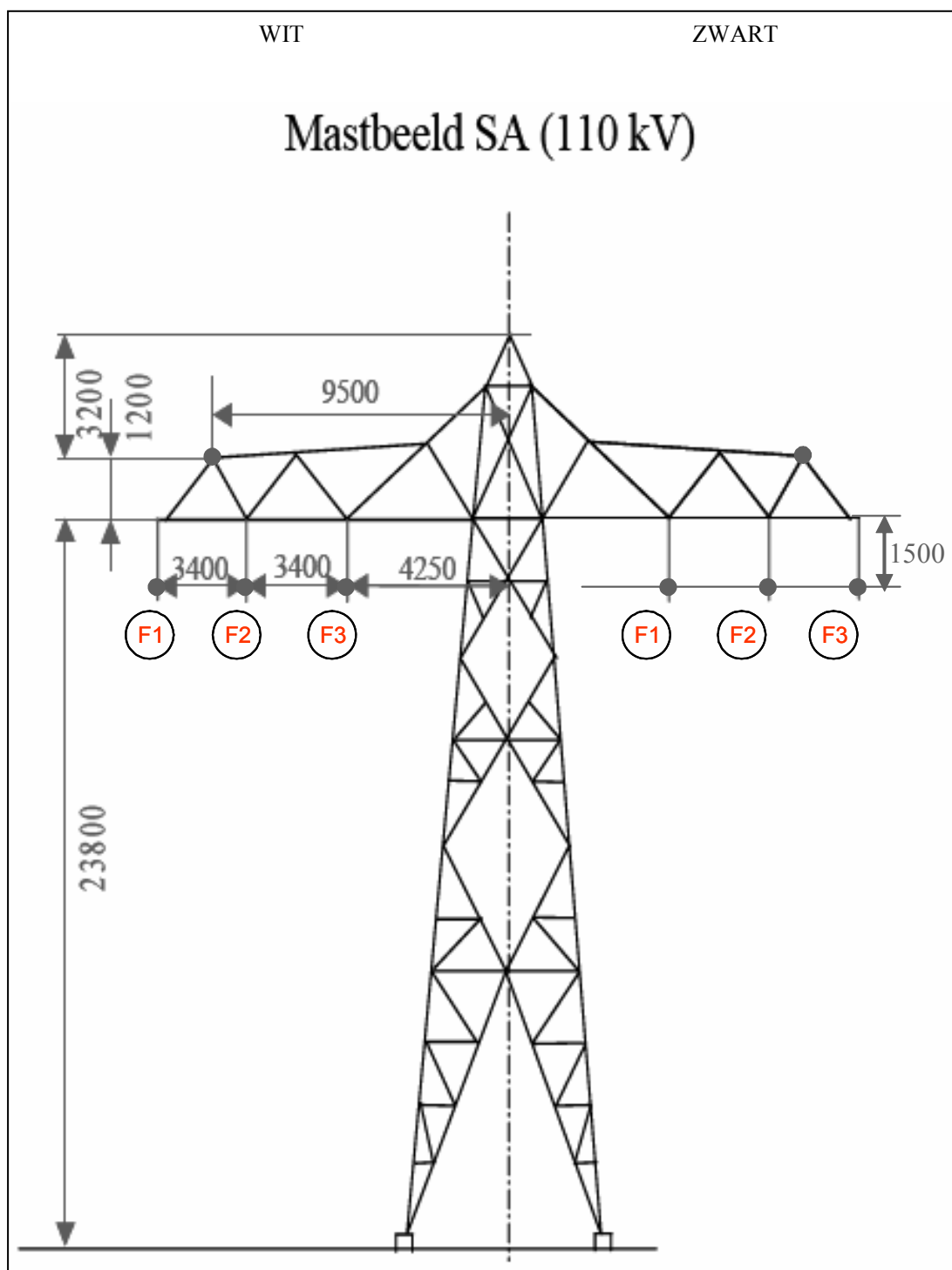
Lijnnaam	Harculo Olst		
Mastnummer en plaats	A	X=	Y=
	B	X=	Y=
Masttype	Horizontaal S+0		
Veldlengte	350 m		
Doorhang bij 15 °C	10 m		
Aantal circuits	2		

Circuits

Aanduiding	Wit	Zwart
Spanning	110 kV	110 kV
Ontwerpbelasting	325 MVA	325 MVA
Ontwerpstroom	1720 A	1720 A
Geleidertype	2 * St/Al 23/259	2 * St/Al 23/259
	staal oppervlakte: 23 mm ² aluminium oppervlakte: 259 mm ²	staal oppervlakte: 23 mm ² ; aluminium oppervlakte: 259 mm ²
Fase aanduiding	F1= 60 ° F2= 180 ° F3= 300 °	F1= 300 ° F2= 180 ° F3= 60 °

Bliksemdraden

Aantal	2
Positie	Links en rechts aan traverse
Type	St/Al 22/94
	staal oppervlakte: 22 mm ² ; aluminium oppervlakte: 94 mm ²
Doorhang bij 10 °C	9 m



Figuur 7 Mastbeeld voor standaardconfiguratie 1

Standaardconfiguratie 2

Omschrijving: 2*150 kV verbinding

Gegevens verbinding:

Lijn

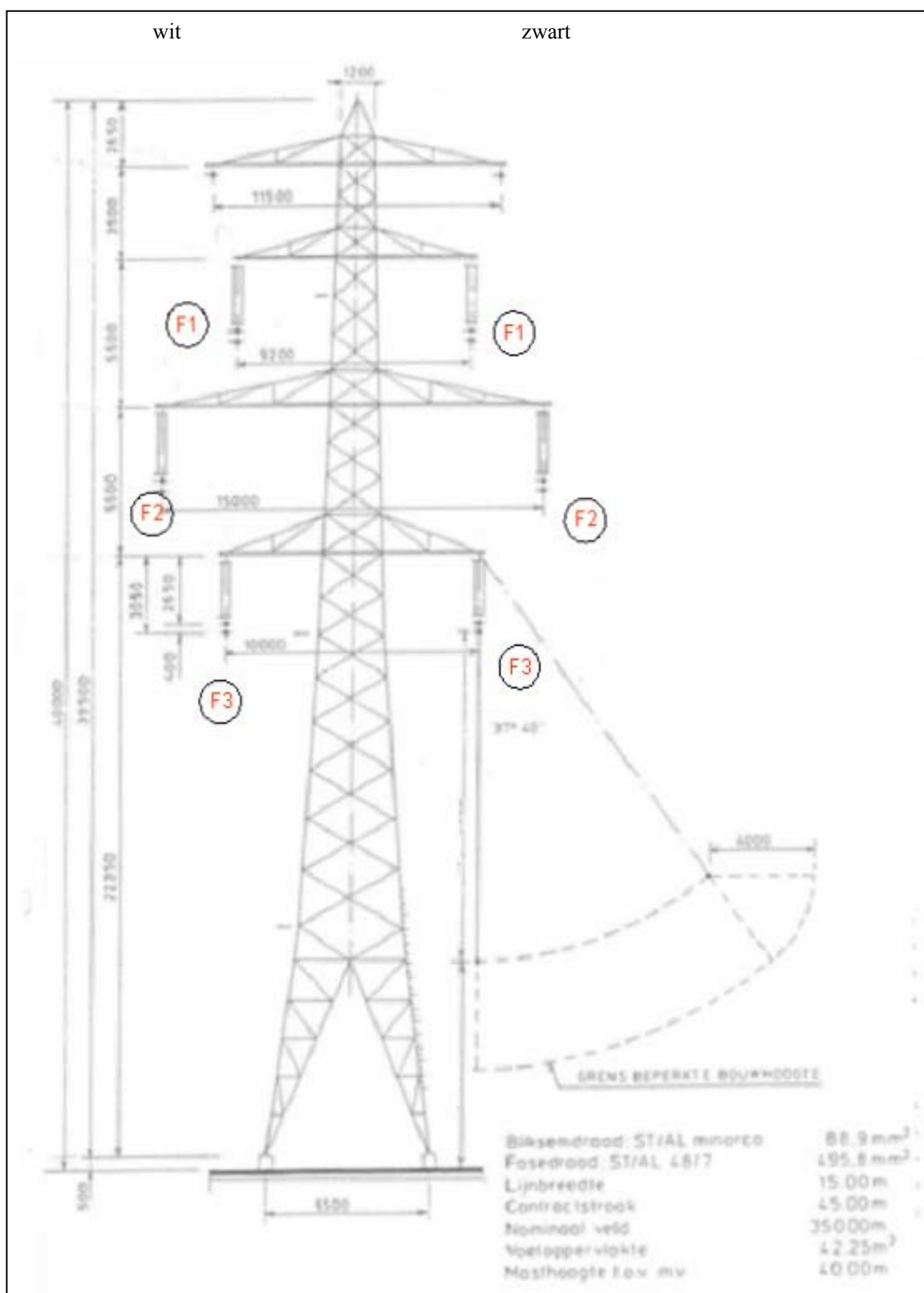
Lijnnaam	Woudhuis - Hattem		
Mastnummer en plaats	A	X=	Y=
	B	X=	Y=
Masttype	Ton type S+0		
Veldlengte	350 m		
Doorhang bij 15 °C	10 m		
Aantal circuits	2		

Circuits

Aanduiding	Wit	Zwart
Spanning	150 kV	150 kV
Ontwerpbelasting	337 MVA	337 MVA
Ontwerpstroom	1296 A	1296 A
Geleidertype	St/Al 39/457	St/Al 39/457
	staal oppervlakte: 39 mm ² aluminium oppervlakte: 457 mm ²	staal oppervlakte: 39 mm ² aluminium oppervlakte: 457 mm ²
Fase aanduiding	F1= 120 ° F2= 0 ° F3= 240 °	F1= 240 ° F2= 120 ° F3= 0 °

Bliksemdraden

Aantal	2
Positie	Links en rechts aan bovenste traverse
Type	Minorca (St/Al/33/56)
	staal oppervlakte: 33 mm ² ; aluminium oppervlakte: 56 mm ²
Doorhang bij 10 °C	9 m



Figuur 8 Mastbeeld voor standaardconfiguratie 2

Standaardconfiguratie 3

Omschrijving: 2*380 kV verbinding

Gegevens verbinding:

Lijn

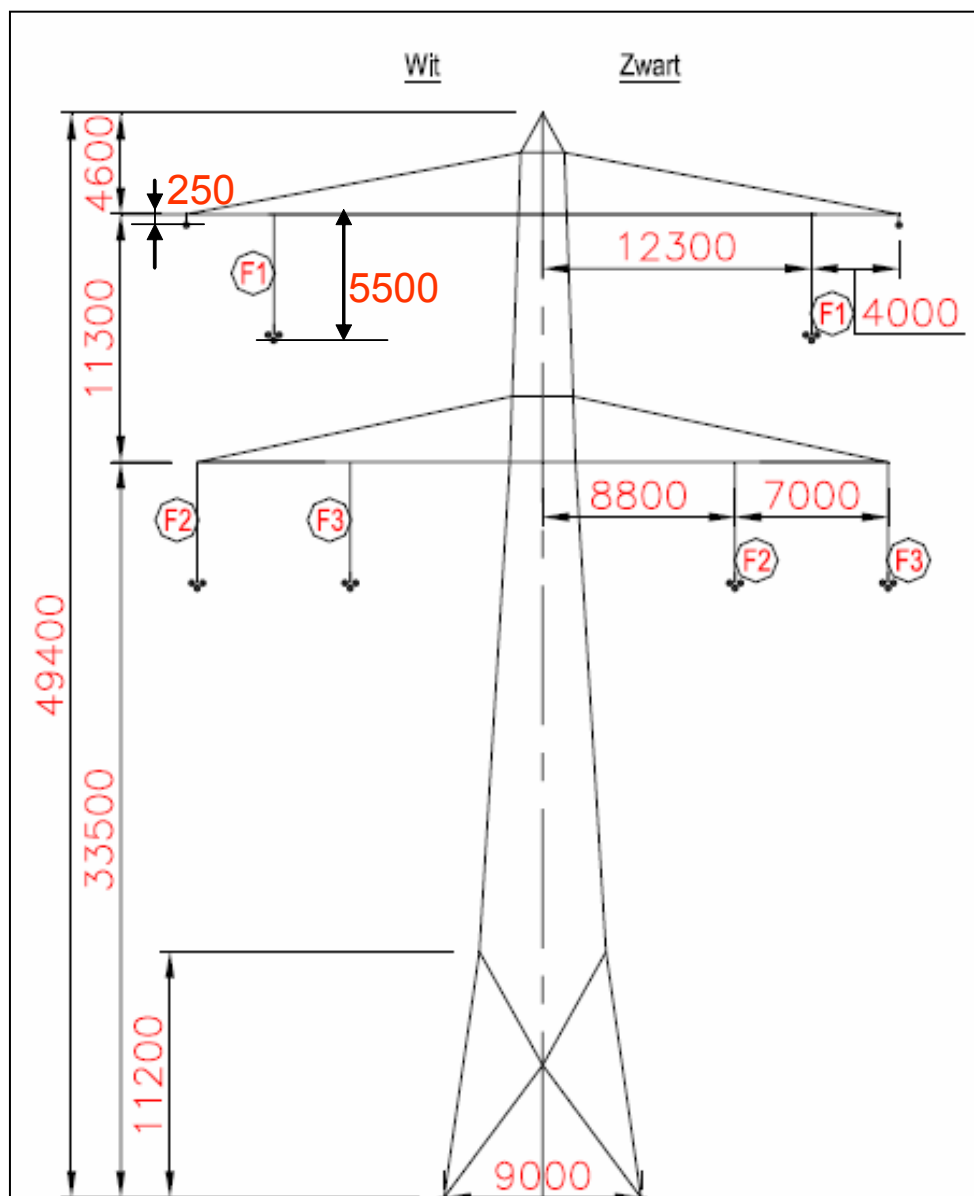
Lijnnaam	Diemen - Krimpen		
Mastnummer en plaats	A	X=	Y=
	B	X=	Y=
Masttype	Donau S+0		
Veldlengte	415 m		
Doorhang bij 15 °C	13 m		
Aantal circuits	2		

Circuits

Aanduiding	Wit	Zwart
Spanning	380 kV	380 kV
Ontwerpbelasting	1975 MVA	1975 MVA
Ontwerpstroom	3000 A	3000 A
Geleider type	3 * ACSR 37/423	3 * ACSR 37/423
	staal oppervlakte: 37 mm ² aluminium oppervlakte: 423 mm ²	staal oppervlakte: 37 mm ² aluminium oppervlakte: 423 mm ²
Fase aanduiding	F1=0 ° F2=120 ° F3=240 °	F1=0 ° F2=120 ° F3=240 °

Bliksemdraden

Aantal	2
Positie	Links en rechts aan bovenste traverse
Type	Hawk St/Al (St/Al/39/242)
	staal oppervlakte: 39 mm ² ; aluminium oppervlakte: 242 mm ²
Doorhang bij 10 °C	12 m



Figuur 9 Mastbeeld voor standaardconfiguratie 3

Standaardconfiguratie 4

Omschrijving: 2*380 kV Wintrack

Gegevens verbinding:

Lijn

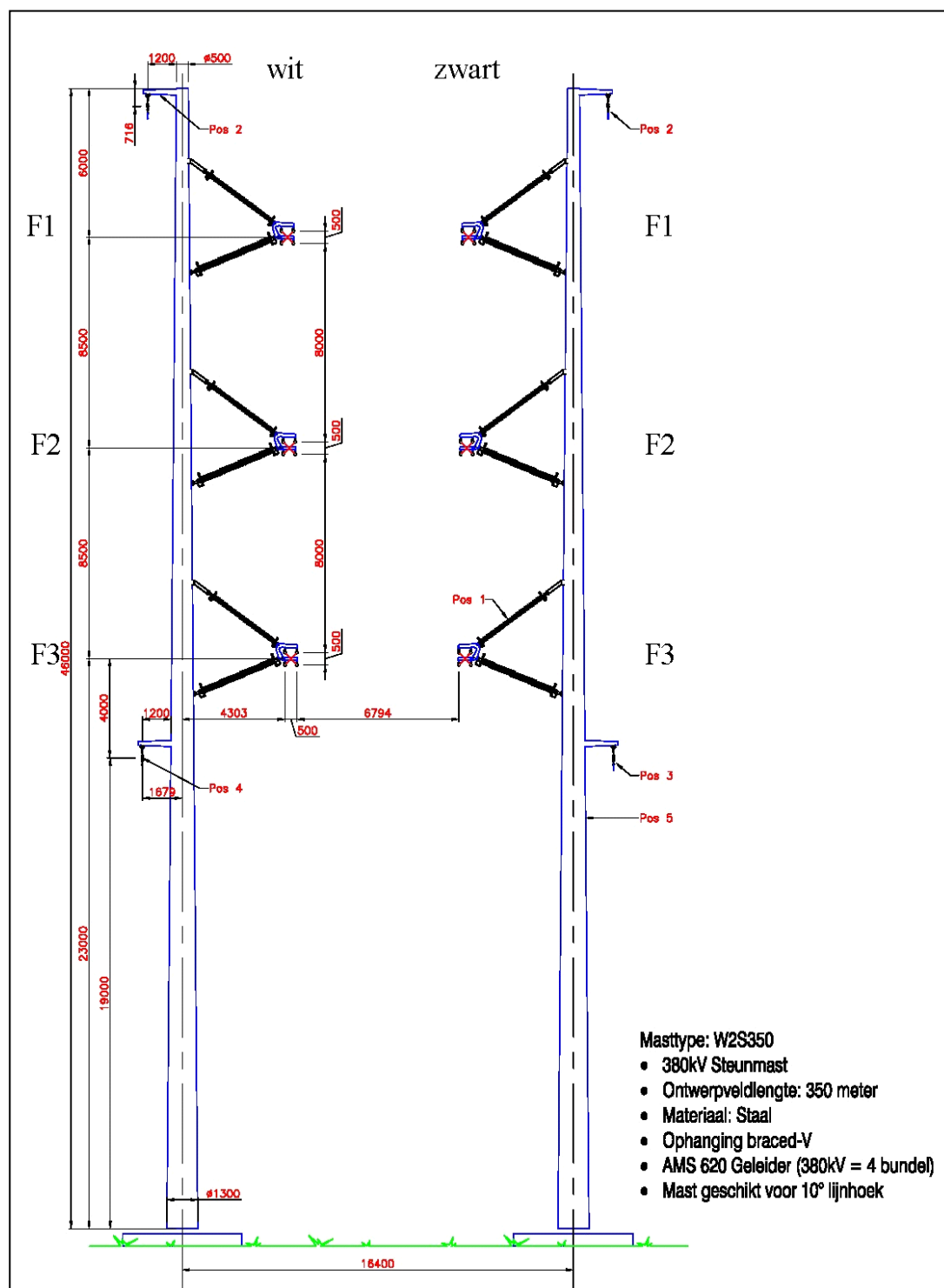
Lijnnaam	Wateringen – Bleiswijk		
Mastnummer en plaats	A	X=	Y=
	B	X=	Y=
Masttype	W2S350		
Veldlengte	350 m		
Doorhang bij 15 °C	6 m		
Aantal circuits	2		

Circuits

Aanduiding	Wit	Zwart
Spanning	380 kV	380 kV
Ontwerpbelasting	2650 MVA	2650 MVA
Ontwerpstroom	4000 A	4000 A
Geleider type	4 * AMS 620	4 * AMS 620
	aluminium oppervlakte: 620 mm ²	aluminium oppervlakte: 620 mm ²
Fase aanduiding	F1=0 ° F2=120 ° F3=240 °	F1=240 ° F2=120 ° F3=0 °

Bliksemdraden

Aantal	4
Positie	Links en rechts aan bovenste ophanging Links en rechts aan onderste ophanging
Type	Minorca (St/Al/33/56)
	staal oppervlakte: 33 mm ² ; aluminium oppervlakte: 56 mm ²
Doorhang bij 10 °C	5 m



Figuur 10 Mastbeeld voor standaardconfiguratie 4

Standaardconfiguratie 5

Omschrijving: 2*380 kV & 2*150 kV verbinding
Wintrack

Gegevens verbinding:

Lijn

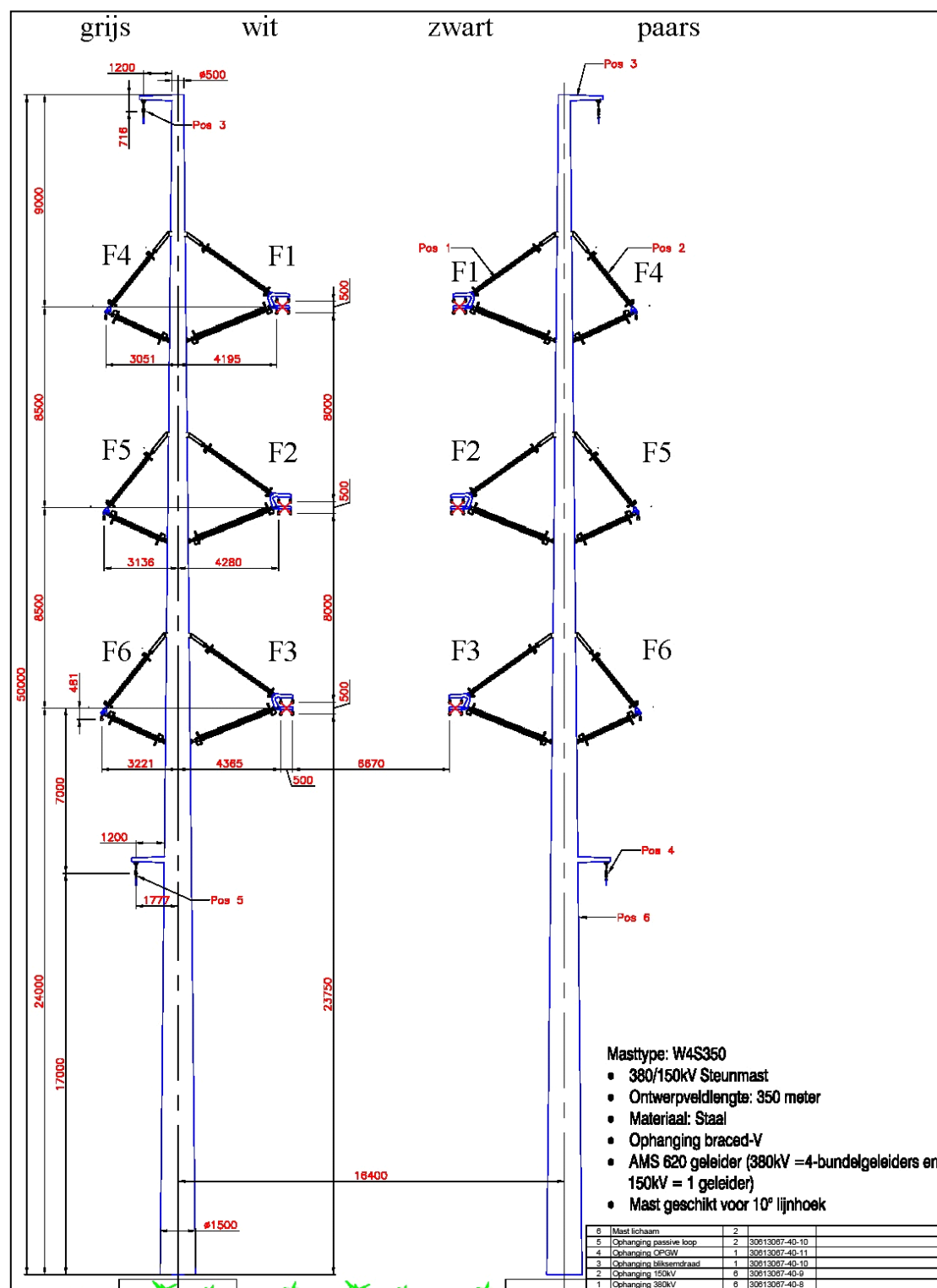
Lijnnaam	Wateringen – Bleiswijk		
Mastnummer en plaats	A	X=	Y=
	B	X=	Y=
Masttype	W4S350		
Mastweerstand	1 Ω		
Veldlengte	350 m		
Doorhang bij 15 °C	6 m		
Bodemweerstand	100 Ω m		
Aantal circuits	4		

Circuits

Aanduiding	Wit	Zwart	Grijs	Paars
Spanning	380 kV	380 kV	150 kV	150 kV
Ontwerpbelasting	2650 MVA	2650 MVA	300 MVA	300 MVA
Ontwerpstroom	4000 A	4000 A	1155 A	1155 A
Geleider type	4 * AMS 620	4 * AMS 620	1 * AMS 620	1 * AMS 620
Fase aanduiding	F1=0 ° F2=120 ° F3=240 °	F1=240 ° F2=120 ° F3=0 °	F4=240 ° F5=120 ° F6=0 °	F4=0 ° F5=120 ° F6=240 °

Bliksemdraden

Aantal	4
Positie	Links en rechts aan bovenste ophanging Links en rechts aan onderste ophanging
Type	Minorca
Doorhang bij 10 °C	5 m



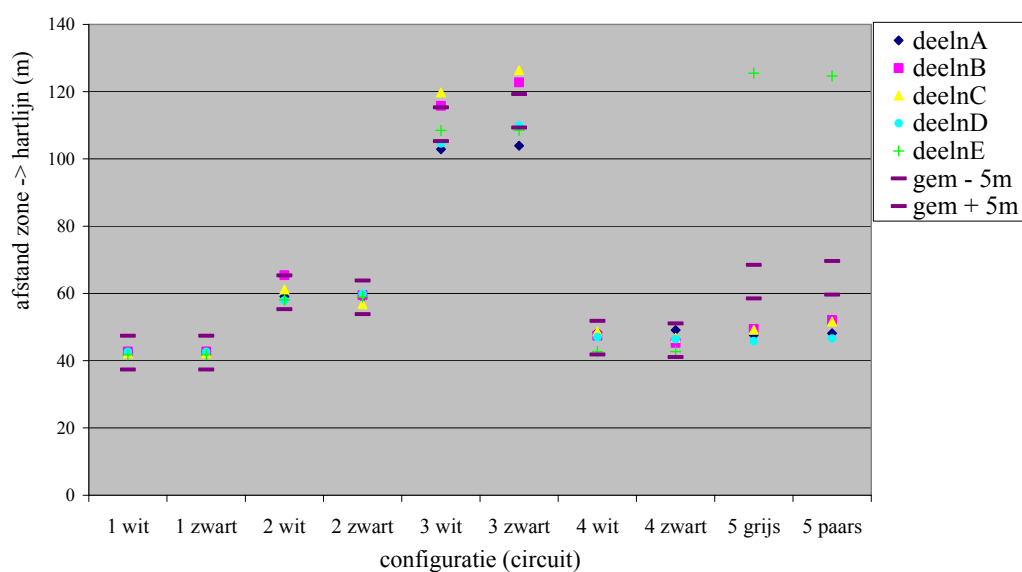
Figuur 11 Mastbeeld voor standaardconfiguratie 5

Bijlage 2 Versie 2.4 Analyse met alle ingezonden zonebreedtes

In deze bijlage is aangegeven wat de invloed is van de weglating van twee berekende configuraties (configuratie 3 voor deelnemer C en configuratie 5 voor deelnemer E) op de resultaten. Tabel 1 en Figuur 2 zijn opnieuw berekend maar nu met alle ingezonden zonebreedtes.

Tabel 4 *Gemiddelde, hoogste en laagste waarde voor de gerapporteerde zonebreedtes (afstand van de rand van de zone tot de hartlijn), zonder weglating van de resultaten van deelnemer C voor configuratie 3 en van deelnemer E voor configuratie 5*

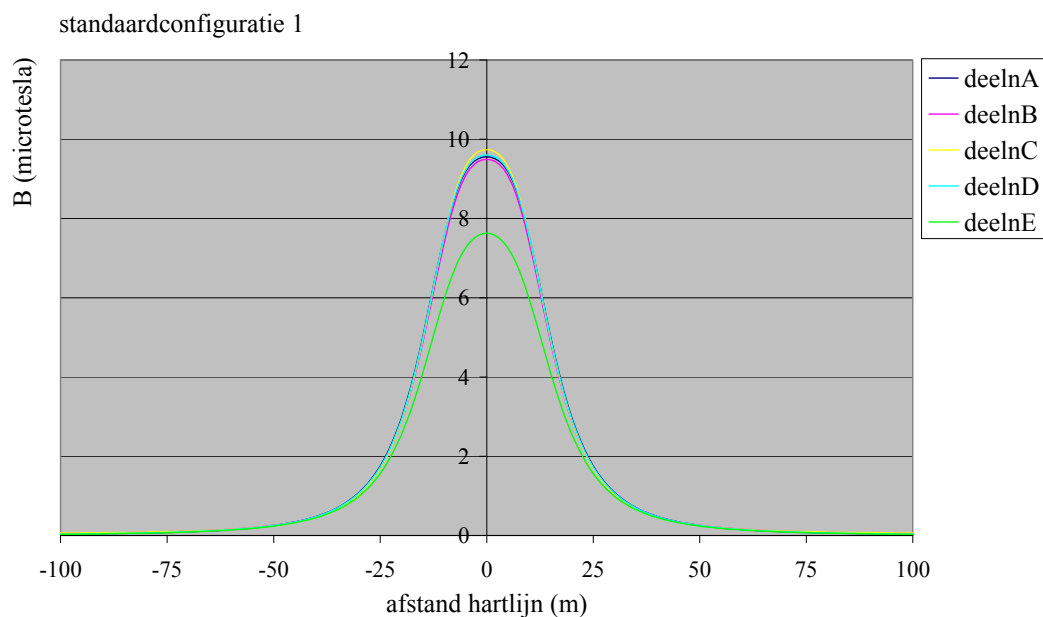
configuratie	gemiddelde zonebreedte (m)	hoogste waarde (m)	laagste waarde (m)
SC1-wit	42,4	42,7	41,8
SC1-zwart	42,4	42,7	41,8
SC2-wit	60,3	65,4	57,9
SC2-zwart	58,8	59,9	56,8
SC3-wit	110,3	119,8	102,9
SC3-zwart	114,3	126,4	103,9
SC4-wit	46,8	48,7	42,7
SC4-zwart	46,1	49,1	42,7
SC5-grijs	63,5	125,5	45,8
SC5-paars	64,6	124,7	46,6



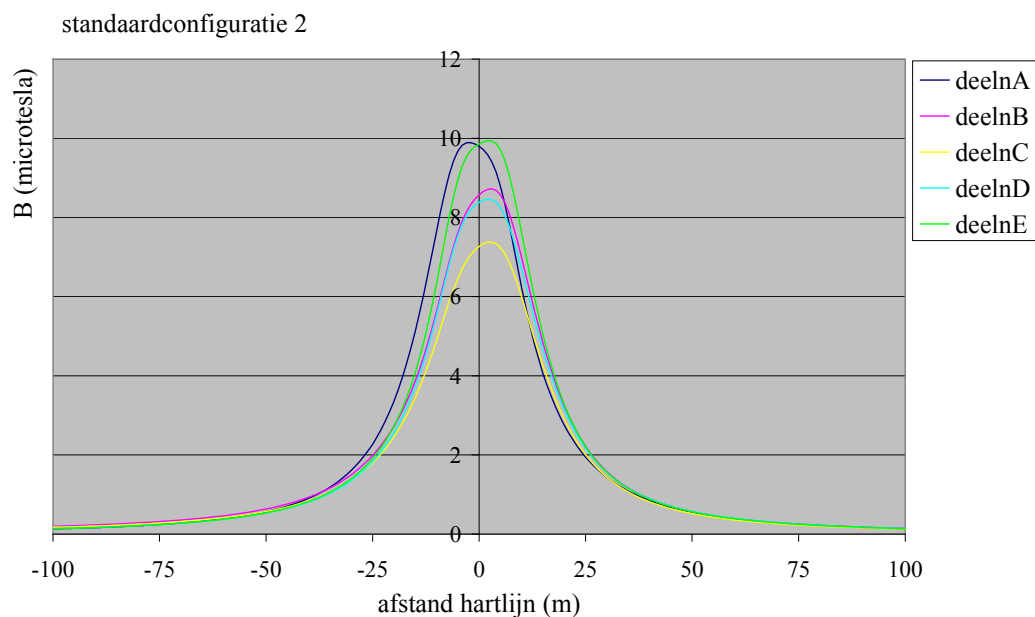
Figuur 12 *Zonebreedtes voor de vijf configuraties, zonder weglating van de resultaten van deelnemer C voor configuratie 3 en van deelnemer E voor configuratie 5*

Bijlage 3 Versie 2.4 Profielen magnetisch veld

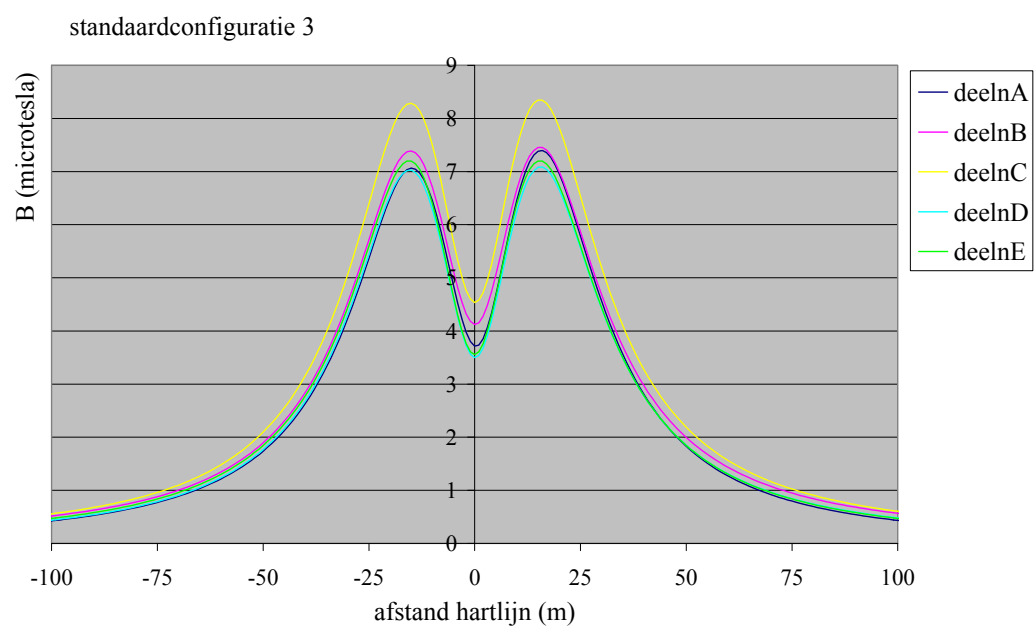
In deze bijlage zijn alle magneetveldprofielen opgenomen die door de vijf deelnemers aan de toepassingstest van de handreiking, versie 2.4 zijn ingestuurd.



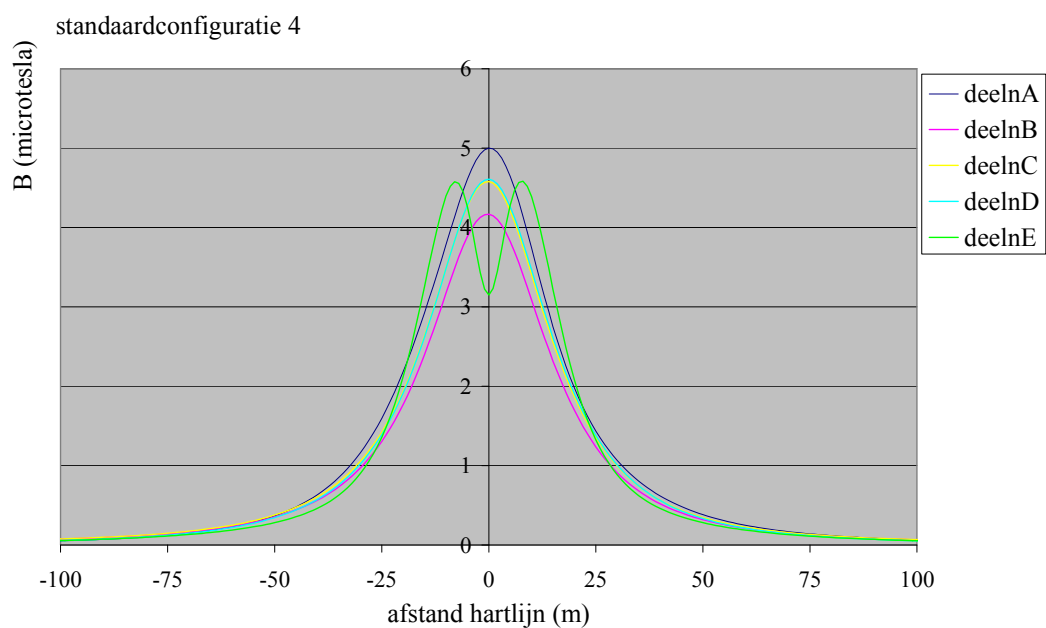
Figuur 13 Magneetveldprofielen ingestuurd door de vijf deelnemers voor configuratie 1



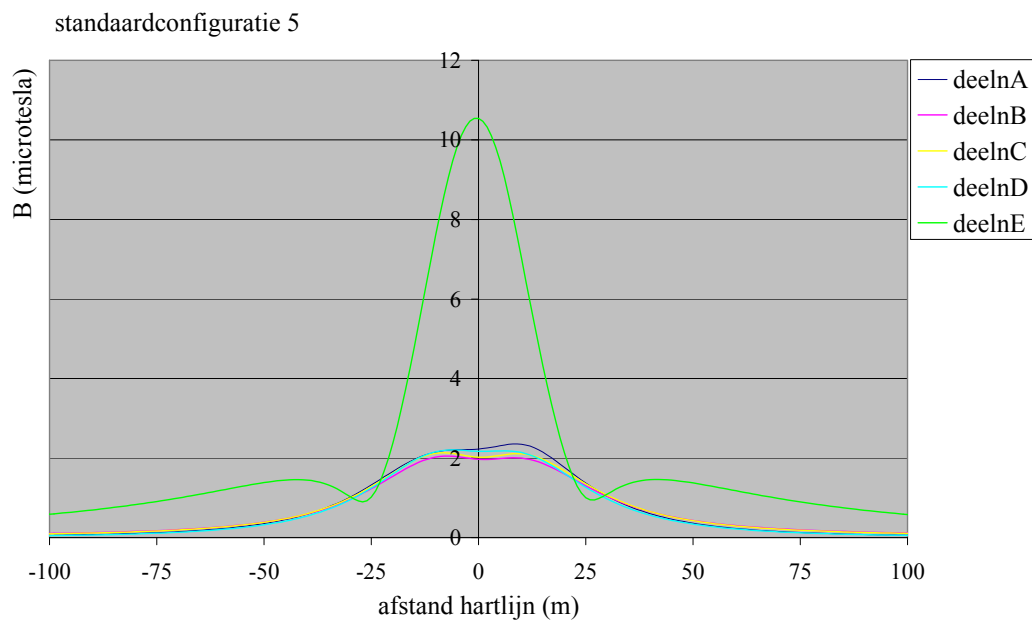
Figuur 14 Magneetveldprofielen ingestuurd door de vijf deelnemers voor configuratie 2



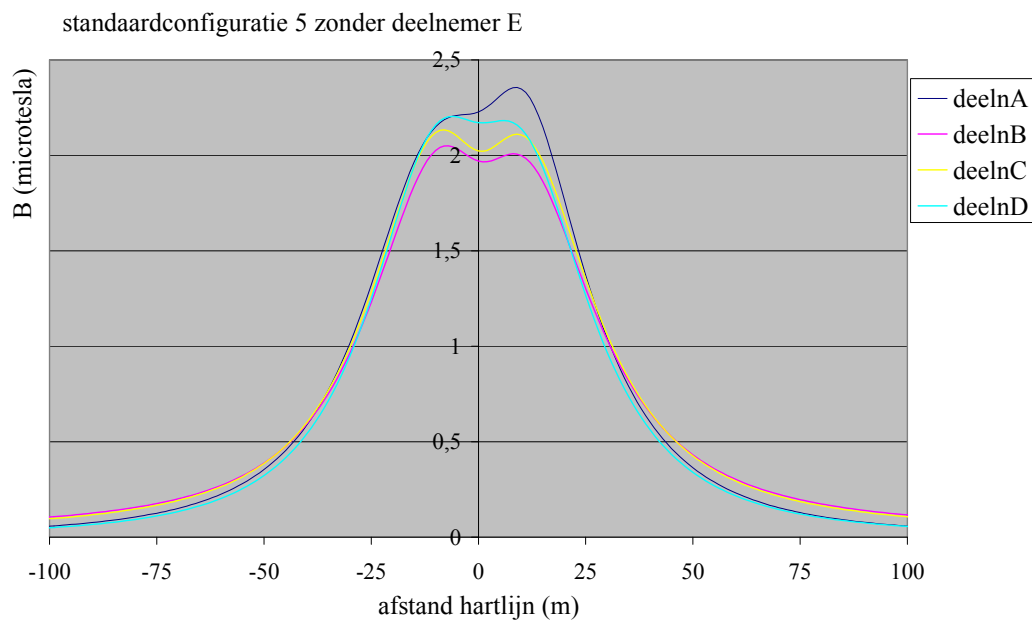
Figuur 15 Magneetveldprofielen ingestuurd door de vijf deelnemers voor configuratie 3



Figuur 16 Magneetveldprofielen ingestuurd door de vijf deelnemers voor configuratie 4



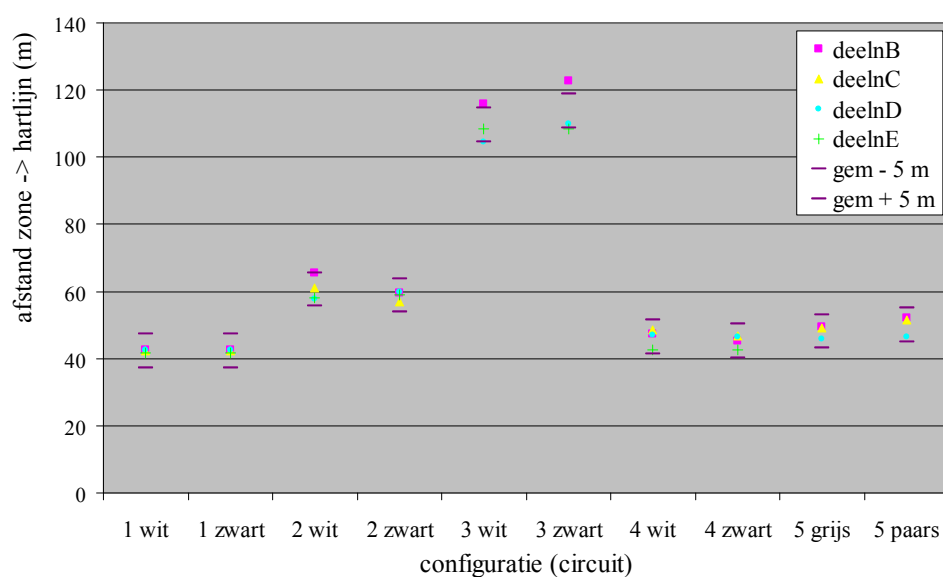
Figuur 17 *Magneetveldprofielen ingestuurd door de vijf deelnemers voor configuratie 5*



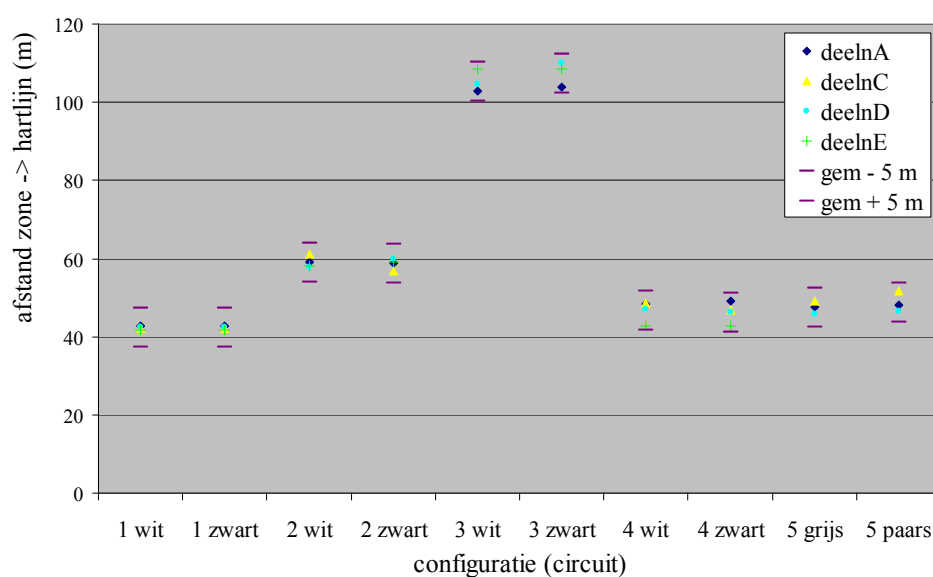
Figuur 18 *Magneetveldprofielen voor configuratie 5 zonder de bijdrage van deelnemer E*

Bijlage 4 Versie 2.4 Controle op uitbijters

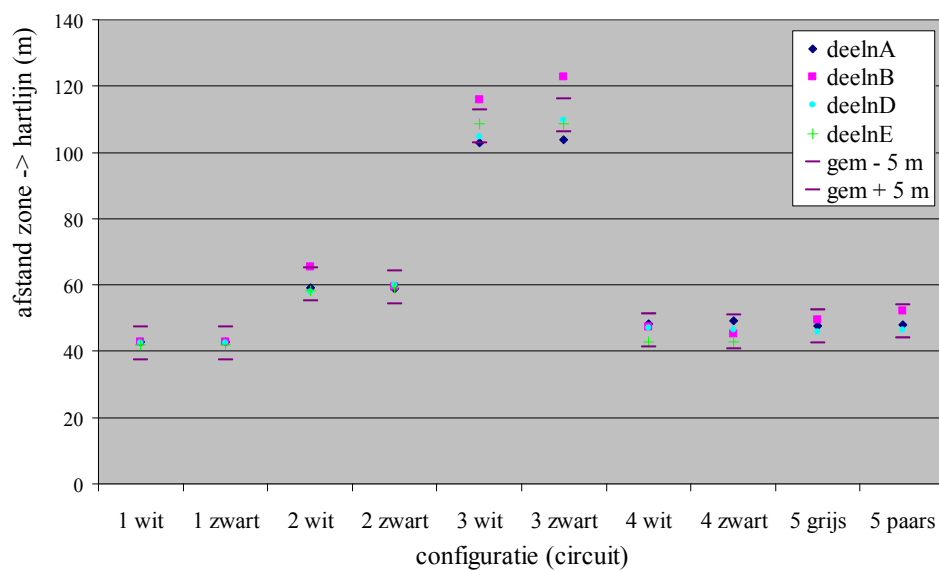
Op grond van de resultaten van de vijf deelnemers wordt in deze bijlage bekeken of de berekeningen van één van de deelnemers tot sterk afwijkende resultaten lijdten. In Figuur 19 t/m Figuur 23 is weergegeven hoe de oorspronkelijk resultaten voor de breedte van de magneetveldzone veranderen als steeds één van de deelnemers wordt weggelaten.



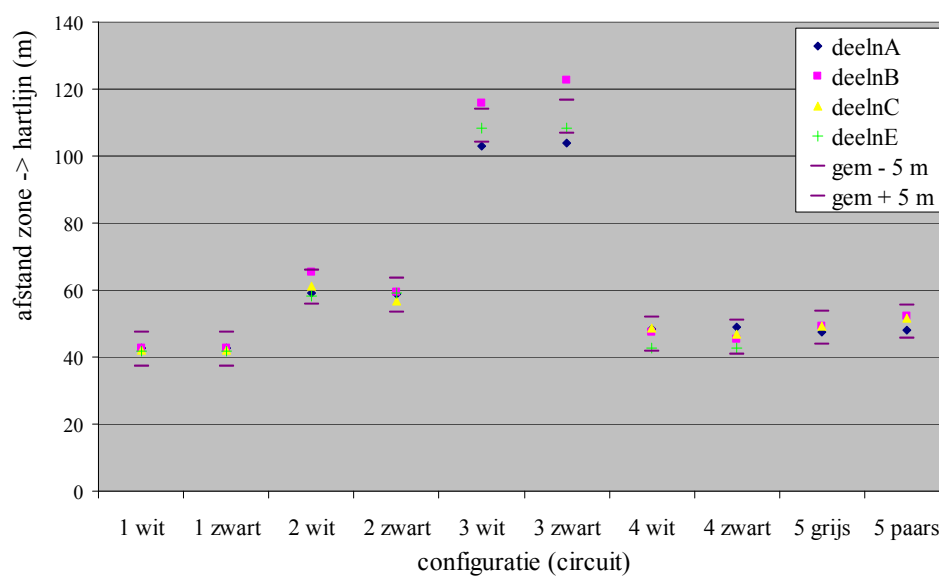
Figuur 19 Zonebreedtes en 5 meter interval met weglating van deelnemer A



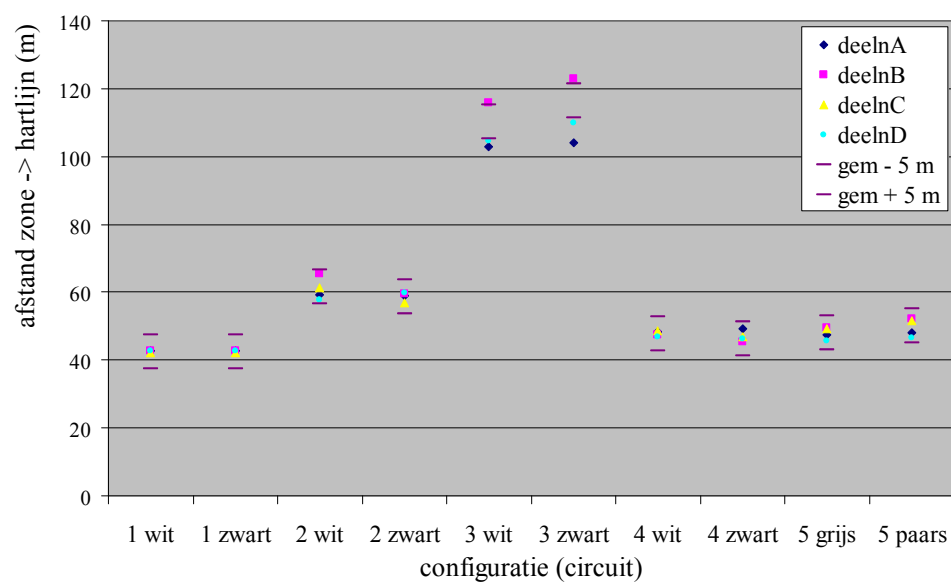
Figuur 20 Zonebreedtes en 5 meter interval met weglating van deelnemer B



Figuur 21 Zonebreedtes en 5 meter interval met weglating van deelnemer C



Figuur 22 Zonebreedtes en 5 meter interval met weglating van deelnemer D



Figuur 23 Zonebreedtes en 5 meter interval met weglating van deelnemer E

Bijlage 5 Versie 2.4 Specifieke scores deelnemers

Tabel 5 bevat het aantal maal dat een deelnemer voor een bepaalde zijde van een configuratie de hoogste of juist de laagste waarde berekent.

Tabel 5 Aantal maal dat een deelnemer voor een bepaalde zijde van een configuratie de hoogste of juist de laagste waarde berekent

	aantal keren dat deelnemer de hoogste zonebreedte uitrekent	aantal keren dat deelnemer de laagste zonebreedte uitrekent
deelnA	2	2
deelnB	6	0
deelnC	1	1
deelnD	1	2
deelnE	0	5

Een duidelijk verband lijkt niet aanwezig, al levert deelnemer B relatief vaak een maximale zonebreedte en deelnemer E relatief vaak een minimale zonebreedte.

Tabel 6 geeft aan hoe vaak het voorkomt dat de door een deelnemer berekende zonebreedte boven en onder het gemiddelde voor die configuratie ligt.

Tabel 6 Aantal zonebreedtes boven en onder de gemiddelde zonebreedte

	aantal keren dat zonebreedte boven het gemiddelde voor die configuratie ligt	aantal keren dat zonebreedte onder het gemiddelde voor die configuratie ligt
deelnA	5	5
deelnB	9	1
deelnC	5	3
deelnD	5	5
deelnE	1	7

Voor geen van de deelnemers is de afwijking altijd dezelfde kant op. Wel berekent deelnemer B een zonebreedte die relatief vaak boven het gemiddelde ligt en deelnemer E een zonebreedte die relatief vaak onder het gemiddelde ligt.

Tabel 7 geeft voor elke deelnemer de som van de verschillen (in meters) met het gemiddelde over alle configuraties weer, gedeeld door het aantal berekende zonebreedtes.

Tabel 7 *Afwijking (grootte en richting) voor elke deelnemer en elke configuratie ten opzichte van het gemiddelde*

deel- nemer	SC1 -wi	SC1 -zw	SC2 -wi	SC2 -zw	SC3 -wi	SC3 -zw	SC4 -wi	SC4 -zw	SC5 -gr	SC5 -pa	som / aantal
deelnA	0,3	0,3	-1,2	0,1	-5,0	-7,4	1,6	3,0	-0,4	-1,5	-1,0
deelnB	0,3	0,3	5,1	0,7	7,9	11,5	0,6	-0,8	1,4	2,5	2,9
deelnC	-0,2	-0,2	0,9	-2,0			1,9	0,7	1,2	2,0	0,5
deelnD	0,2	0,2	-2,4	1,1	-3,3	-1,4	0,2	0,3	-2,2	-3,0	-1,0
deelnE	-0,6	-0,6	-2,2	0,2	0,6	-2,8	-4,1	-3,4			-1,6

Geen van de deelnemers is een echte uitbijter. Twee van de vijf deelnemers komen gesommeerd over alle configuraties hoger dan 0 uit en drie van de vijf beneden 0.

Tabel 8 geeft voor elke deelnemer en elke configuratie de kwadratische som van het verschil met het gemiddelde (in meters) aan, gedeeld door het aantal berekende zonebreedtes.

Tabel 8 *Kwadratische afwijking voor elke deelnemer en elke configuratie ten opzichte van het gemiddelde*

deel- nemer	SC1 -wi	SC1 -zw	SC2 -wi	SC2 -zw	SC3 -wi	SC3 -zw	SC4 -wi	SC4 -zw	SC5 -gr	SC5 -pa	kwad- som/ aantal
deelnA	0,1	0,1	1,5	0,0	25,5	54,4	2,4	9,2	0,2	2,3	9,6
deelnB	0,1	0,1	25,6	0,5	61,6	132,8	0,3	0,6	2,0	6,3	23,0
deelnC	0,0	0,0	0,7	4,1			3,5	0,5	1,4	4,0	1,8
deelnD	0,0	0,0	6,0	1,2	11,2	1,9	0,0	0,1	4,8	9,0	3,4
deelnE	0,4	0,4	5,0	0,0	0,3	7,7	17,1	11,3			5,3

Geen van de deelnemers heeft een duidelijk afwijkende positie. De afwijking voor deelnemer B is het grootst en voor deelnemer C liggen de resultaten het dichtst bij het gemiddelde.

Tabel 9 geeft voor elke deelnemer en elke configuratie de berekende waarde voor het magnetische veld op de hartlijn.

Tabel 9 *Het magnetische veld op de hartlijn*

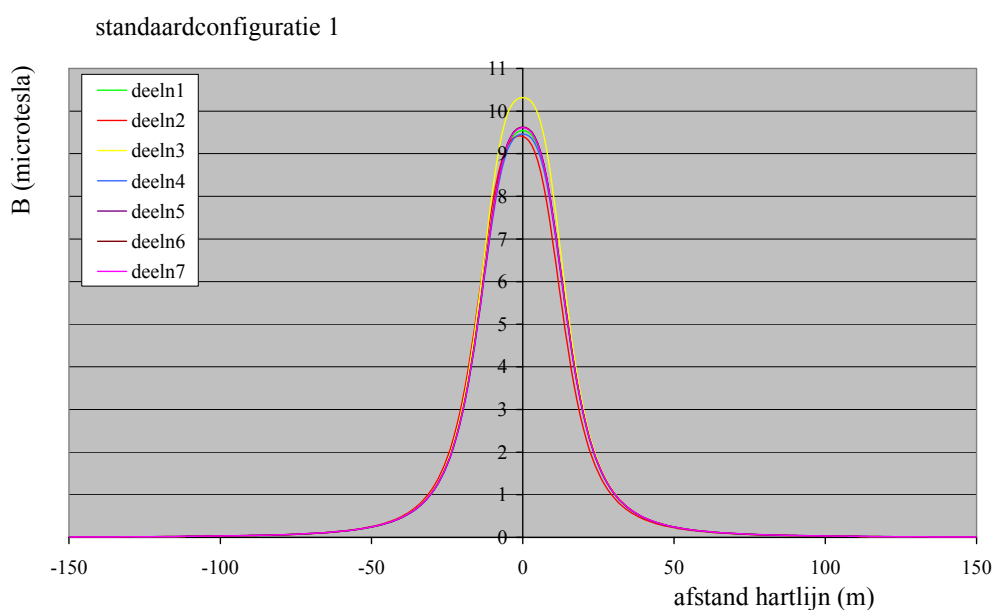
	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5
deelnA	9,6	9,8	3,7	5,0	2,2
deelnB	9,5	8,6	4,1	4,2	2,0
deelnC	9,7	7,3		4,6	2,0
deelnD	9,6	8,4	3,5	4,6	2,2
deelnE	7,6	9,9	3,6	3,1	

* de maximale waarde voor elke configuratie is steeds in rood weergegeven

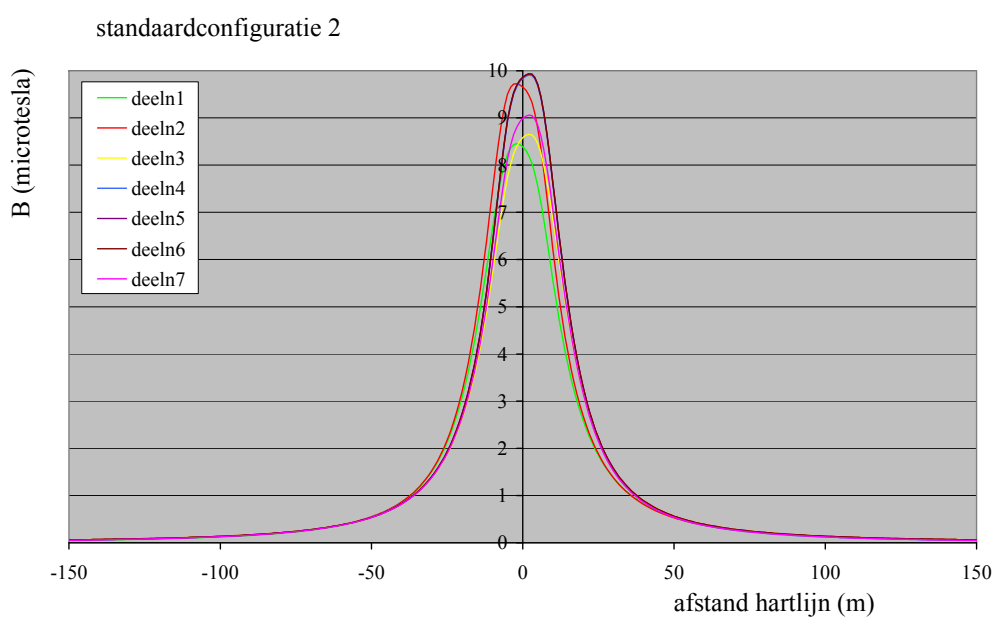
Ook hier is er geen deelnemer die duidelijk afwijkende resultaten heeft. Elke deelnemer, behalve deelnemer D, berekent een keer de hoogste waarde op het hart van de hoogspanningslijn.

Bijlage 6 Versie 3.0 Profielen magnetisch veld

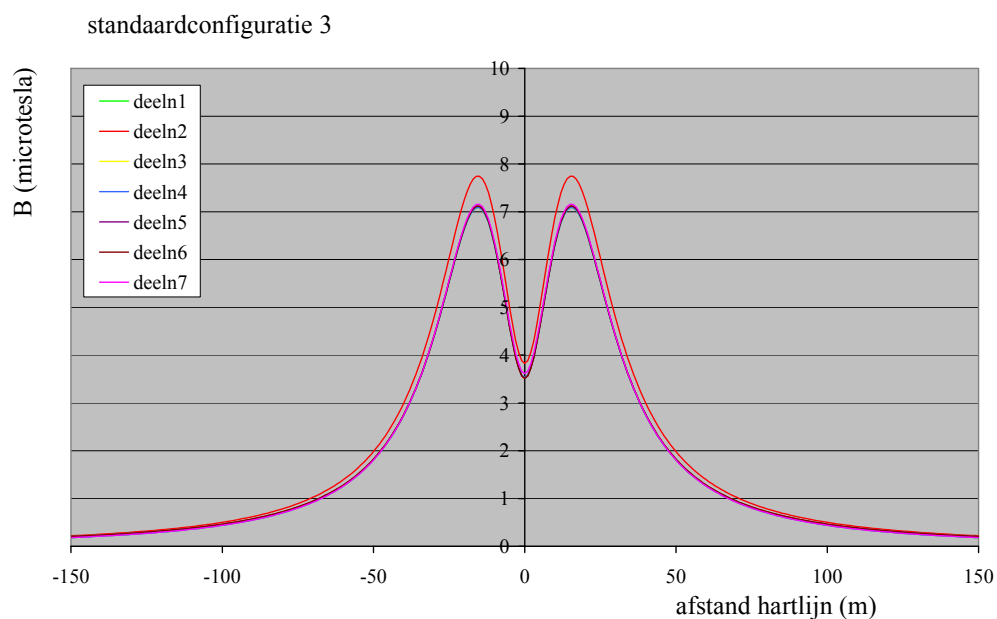
In deze bijlage zijn alle magneetveldprofielen opgenomen die door de zeven deelnemers aan de toepassingstest van de handreiking versie 3.0 zijn ingestuurd.



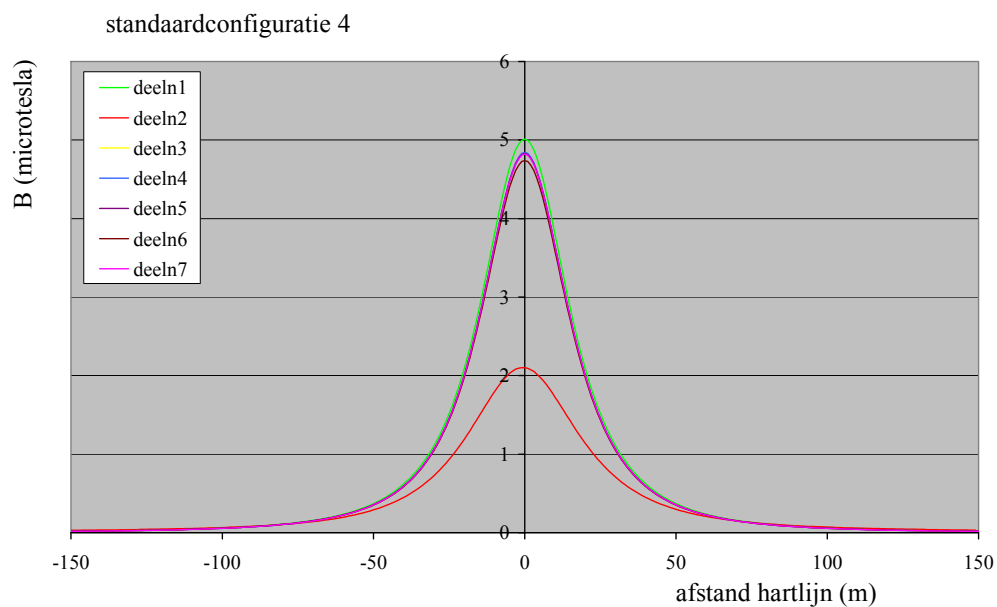
Figuur 24 Magneetveldprofielen ingestuurd door de zeven deelnemers voor configuratie 1



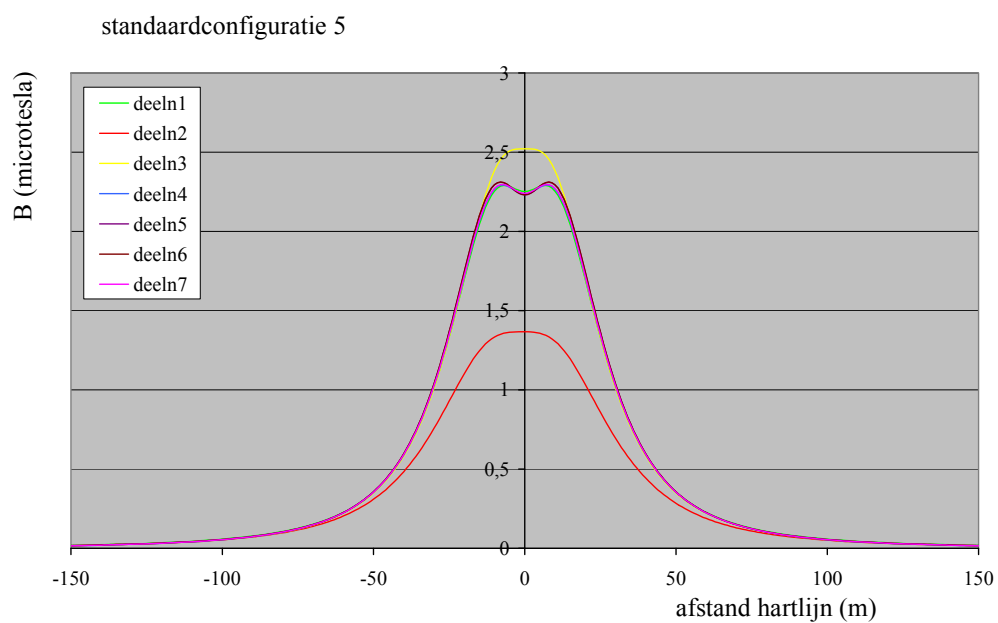
Figuur 25 Magneetveldprofielen ingestuurd door de zeven deelnemers voor configuratie 2



Figuur 26 *Magneetveldprofielen ingestuurd door de zeven deelnemers voor configuratie 3*



Figuur 27 *Magneetveldprofielen ingestuurd door de zeven deelnemers voor configuratie 4*



Figuur 28 Magneetveldprofielen ingestuurd door de zeven deelnemers voor configuratie 5

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl