



GEMEENTE HELMOND

'METEN IS WETEN' – ANALYSE VERBAND TUSSEN STROMEN EN MAGNEETVELDEN WIJK BRANDEVOORT, HELMOND

8 DECEMBER 2023



WSP NEDERLAND B.V.
UTRECHTSEWEG 310 (GEBOUW B50)
6812 AR ARNHEM

+31 (0)88 910 20 00
wsp.com/nl

PROJECTNUMMER
GE210600

DOCUMENTNUMMER
GE210600-R01, versie v2.0

COLOFON

RAPPORTHISTORIE

0.1	22 juni 2023	Initiële versie
0.2	15 september 2023	Interne review
1.0	15 september 2023	Concept
1.1	4 december 2023	Verwerking opmerkingen Gemeente Helmond, RIVM en TenneT
1.2	6 december 2023	Interne review
2.0	8 december 2023	Definitief

CONTACTGEGEVENS

Pieter Westerik
+31 6 8270 5145
pieter.westerik@wsp.com

AUTORISATIE

PROJECTNUMMER	DOCUMENTNUMMER	VERSIE	STATUS
GE210600	GE210600-R01	V2.0	concept

OPGESTELD DOOR	FUNCTIE	DATUM	HANDTEKENING
Pieter Westerik	Specialist	08-12-2023	

GOEDGEKEURD DOOR	FUNCTIE	DATUM	HANDTEKENING
Dennis Grimminck	Specialist	08-12-2023	

INHOUDS- OPGAVE

1	INLEIDING	5
1.1	Wat is deze studie niet?	5
1.2	Achtergronden	6
1.2.1	Magneetvelden rond hoogspanningslijnen	6
1.2.2	Voorzorgbeleid	6
1.2.3	Handreiking RIVM	7
2	METHODOLOGIE	8
2.1	Overzicht aanpak	8
2.2	Metingen voor bijstellen model	8
2.2.1	Meetapparatuur	8
2.2.2	Aanpak metingen	8
2.2.3	Verwerken resultaten	10
2.3	Stroomwaarden	10
2.3.1	Verkrijgen stroomwaarden	10
2.3.2	Verwerken resultaten	10
2.4	Bepaling plaatsafhankelijke reductiefactor	11
2.4.1	onzekerheden	11
2.4.2	de voldoende conservatieve factor	12
2.4.3	Bepaling reductiefactor per meetlocatie	12
2.4.4	Bepaling algemene reductiefactor	13
2.4.5	Bepaling plaatsafhankelijke reductiefactor	13
2.5	Berekening optredende magneetvelden	14
2.5.1	Theoretisch model	14
2.5.2	Bijgesteld model	14
2.5.3	Gemiddelde waarden	14
2.6	Permanente meter	15
2.6.1	Meetapparatuur	15
2.6.2	Plaatsing	15
3	RESULTATEN	16
3.1	Gemeten en berekende magneetvelden	16
3.2	Plaatsafhankelijke reductiefactor	18
3.3	Gemiddelde magneetvelden Q1 2023	20
3.4	Maximaal optredende magneetvelden Q1 2023	21
4	DISCUSSIE	22
4.1	Status uitkomsten	22
4.2	Opvallende uitkomsten	22
5	CONCLUSIE	24

BRONVERMELDING	25
BIJLAGEN	26
Bijlage A - Meetrapport Kiwa Dare	27
Bijlage B - datasheet permanente meetapparatuur	28
Bijlage C - Gemiddelde magneetveldwaarden Q1 2023	29

1 INLEIDING

Door de wijk Brandevoort in Helmond loopt een hoogspanningslijn van TenneT. Gemeente Helmond wil door middel van metingen meer inzicht krijgen in de jaargemiddelde magneetveldwaarden ter hoogte van de woningen rondom deze hoogspanningslijn. Dit om de gemeente en de bewoners meer duidelijkheid te geven over de werkelijk optredende magneetvelden. Daarnaast kunnen deze metingen als referentiemeting gebruikt worden om de huidige situatie te kunnen vergelijken met eventuele toekomstige wijzigingen in de aanwezige hoogspanningsverbindingen.

Om aan deze wens tegemoet te komen heeft WSP op verschillende plaatsen in de wijk Brandevoort de optredende magneetvelden gedurende een uur laten meten. Voor dezelfde momenten is bij TenneT opgevraagd welke stromen in de verschillende circuits van de hoogspanningslijn getransporteerd werden. Op basis van de stroomgegevens zijn theoretische magneetvelden berekend en deze zijn vergeleken met de gemeten magneetvelden. Op basis van deze vergelijking is het theoretische model gecorrigeerd. Hierdoor worden verschillende reducerende effecten die in de praktijk optreden meegenomen in de voorspellingen van het model. Dit gecorrigeerde model wordt vervolgens gebruikt om ook voor momenten dat er niet gemeten is voor de hele wijk de optredende magneetvelden te bepalen, op basis van de door TenneT opgegeven stroomwaarden in de hoogspanningslijn.

De rest van dit inleidende hoofdstuk plaatst deze studie in perspectief binnen wat grotere kaders. Vervolgens wordt in hoofdstuk 2 de aanpak van de studie beschreven. Dit omvat een omschrijving van de uitgevoerde metingen, de herkomst van de stroomwaarden in de hoogspanningslijn en de verdere analyse op basis waarvan uiteindelijk de gemiddelde magneetvelden in de wijk zijn bepaald. In hoofdstuk 3 worden vervolgens de resultaten van deze aanpak gepresenteerd. Ten slotte wordt in hoofdstuk 4 nog eens met een kritische blik naar deze resultaten gekeken.

1.1 WAT IS DEZE STUDIE NIET?

De uitkomsten van deze studie hebben nadrukkelijk niet dezelfde status als een berekening van de specifieke magneetveldzone volgens de handreiking van het RIVM. Een dergelijke berekening is geschikt om de specifieke magneetveldzone te bepalen op basis waarvan het voorzorgbeleid (zie paragraaf 1.2.2) gevoerd kan worden om te voorkomen dat zich nieuwe situaties voordoen waarbij gevoelige bestemmingen zich binnen deze zone bevinden. Een dergelijke berekening leidt tot een eenduidige en toekomstbestendige bepaling van deze zone. In deze studie daarentegen blijkt dat door (meet)onzekerheden de bepaling van een zone minder eenduidig is, hoewel deze wel dichterbij de werkelijkheid ligt. Bovendien kan een magneetveldzonebepaling op basis van metingen slechts iets zeggen over de op dit moment optredende magneetvelden en houdt deze geen rekening met eventuele hogere stromen die gedurende de rest van de levensduur van de hoogspanningslijn op kunnen treden.

Deze studie houdt nadrukkelijk ook met een heleboel in de praktijk voorkomende magneetvelden geen rekening. Sterker nog, bij het bepalen van het verband tussen optredende stromen en magneetvelden is juist gepoogd een bijdrage van andere bronnen van magneetvelden zo veel mogelijk te vermijden. Hierdoor laten de resultaten van deze studie zo nauwkeurig mogelijk de bijdrage aan het magneetveld van de hoogspanningslijn zien. Op veel plekken kunnen in de praktijk hogere magneetvelden optreden, bijvoorbeeld ten gevolge van ondergrondse elektriciteitskabels of huishoudelijke apparatuur.

1.2 ACHTERGRONDEN

1.2.1 MAGNEETVELDEN ROND HOOGSPANNINGSLIJNEN

Hoogspanningslijnen worden toegepast om grote hoeveelheden elektrische energie te kunnen transporteren. De stroom loopt door metalen geleiders die tussen de opeenvolgende hoogspanningsmasten zijn gespannen. Wanneer een stroom door een geleider loopt, veroorzaakt deze een magneetveld. De sterkte van dit magneetveld neemt af naar mate de afstand tot de geleider toeneemt. Naast een sterkte heeft het magneetveld ook een richting. Deze wordt onder andere bepaald door de richting van de stroom in de geleiders. Omdat op hetzelfde moment altijd stromen met verschillende richtingen in verschillende geleiders van een hoogspanningslijn lopen, hebben de magneetvelden van de verschillende geleiders ook verschillende richtingen. Tegengestelde magneetvelden heffen elkaar op, maar als ze niet exact tegengesteld zijn, gebeurt dit slechts ten dele. Hierdoor is het daadwerkelijk optredende magneetveld op een bepaalde locatie een complex samenspel van alle stromen die op een bepaald moment in een hoogspanningslijn lopen.

Dit complexe samenspel is met theoretische berekeningen echter goed te voorspellen, wanneer precies bekend is hoe de geleider loopt en hoeveel stroom er doorheen gaat. De in de handreiking van het RIVM beschreven methode voor het bepalen van de specifieke magneetveldzone maakt ook van dergelijke theoretische modellen gebruik. Hierin is echter een aantal zaken niet meegenomen dat ervoor kan zorgen dat de magneetveldsterkte in de praktijk lager uitvalt. De belangrijkste hiervan is de aanwezigheid van andere materialen die ook stroom kunnen geleiden. Een aantal voorbeelden hiervan zijn:

- Metalen buizen;
- Wapening van beton;
- Kabels, zeker als ze een gaarde afscherming hebben zoals coaxkabels en ondergrondse elektriciteitskabels;
- Metalen hekken;
- De 'bliksemraden' van een hoogspanningslijn (bovenste geleiders in een lijn die niet bedoeld zijn om stroom te transporteren maar om de andere geleiders tegen bliksem te beschermen);
- Ook de bodem geleidt een beetje en omdat deze een erg groot volume heeft kan deze ook een belangrijk reducerend effect hebben.

Dergelijke objecten hebben een dempend effect op de optredende magneetvelden. Dit allemaal meenemen in berekeningen vereist buitengewoon complexe modellen. Het wordt pas zeker hoe groot dit reducerende effect is en welke magneetvelden er optreden wanneer men de optredende magneetvelden daadwerkelijk meet. Daarom is er in dit onderzoek voor gekozen deze reducerende effecten in het model op te nemen door het te meten in plaats van exact te berekenen.

1.2.2 VOORZORGBELEID

Van magneetvelden is bekend dat ze gezondheidseffecten kunnen veroorzaken. Dit kan direct optreden zodra iemand aan zeer sterke magneetvelden (hoger dan 100 microtesla [2]) wordt blootgesteld. Daarnaast laten bepaalde studies zien dat er onder mensen die in de buurt van een hoogspanningslijn wonen een enigszins verhoogde kans op bepaalde ziekten is, en dat deze verhoging al zichtbaar is in gebieden waar de magneetvelden gemiddeld over een jaar sterker dan 0,2 tot 0,5 microtesla zijn.

Om deze reden is in 2005 door het toenmalige ministerie van VROM voorzorgbeleid ingesteld, waarbij wordt geadviseerd om zo veel als redelijkerwijs mogelijk is te vermijden dat er nieuwe situaties ontstaan waarbij kinderen langdurig verblijven in het gebied rond bovengrondse hoogspanningslijnen waar de gemiddelde magneetveldsterkte hoger dan 0,4 microtesla is. Dit beleid is verder verduidelijkt in 2008. Sindsdien is er ook nagedacht over hoe dit beleid ook op ondergrondse hoogspanningskabels en hoogspanningsstations toegepast kan worden. In 2023 is dit beleid door de

ministeries van EZK en BZK herijkt. Er is toen voor gekozen voorzorgbeleid voor alle onderdelen van het elektriciteitsnet in te voeren, in die zin dat langdurige blootstelling aan magneetvelden zo veel als redelijkerwijs mogelijk voorkomen wordt. Dat gebeurt door het treffen van bronmaatregelen die de magneetvelden reduceren bij alle netcomponenten. En door afstandsmaatregelen op basis van een berekende magneetveldzone die alleen voor bovengrondse hoogspanningslijnen worden geadviseerd, omdat voor hoogspanningsstations en ondergrondse kabels geen aanwijzingen voor een verhoogde kans op gezondheidseffecten is gevonden. Ook is ervoor gekozen het tuin/erf rond een gebouw wat eerder gold als gevoelige bestemming niet meer als gevoelige bestemming aan te merken.

1.2.3 HANDREIKING RIVM

Om het hierboven genoemde voorzorgbeleid te ondersteunen heeft het RIVM een handreiking gepubliceerd waarmee eenduidig en toekomstbestendig het gebied rond een bovengrondse hoogspanningslijn bepaald kan worden waarvoor wordt geadviseerd om gevoelige bestemmingen zo veel als redelijkerwijs mogelijk te voorkomen. Dit gebied wordt de specifieke magneetveldzone genoemd. In deze handreiking wordt gewerkt met bepaalde conservatieve, toekomstbestendige uitgangspunten, zodat bijvoorbeeld niet te verwachten is dat bij grotere stromen in de toekomst de specifieke magneetveldzone nog groter wordt. Ook kan er zo geen discussie ontstaan over de grootte van bepaalde reducerende effecten, omdat deze sowieso niet meegenomen worden. Volgens de handreiking wordt de specifieke magneetveldzone afgerond op veelvouden van 5 m, en worden de grenzen ervan steeds met rechte lijnen parallel aan de hoogspanningslijn weergegeven. Hierdoor is de specifieke magneetveldzone minder gevoelig voor kleine verschillen in modellen die door verschillende partijen voor dezelfde situatie gebruikt worden.

2 METHODOLOGIE

2.1 OVERZICHT AANPAK

Het doel van deze studie is een voldoende conservatief, maar toch zo nauwkeurig mogelijk verband vast te stellen tussen de in de hoogspanningslijn optredende stromen en de in de praktijk optredende magneetvelden ten gevolge van de hoogspanningslijn, op basis van metingen. Dit verband tussen stromen en magneetvelden wordt vervolgens gebruikt om voor elk moment waarvoor de stromen in de hoogspanningslijn bekend zijn de magneetvelden ten gevolge van de hoogspanningslijn voor de hele wijk Brandevoort te bepalen. Deze aldus berekende magneetvelden worden voortdurend geverifieerd middels één magneetveldmeter die in de wijk is geplaatst en die gedurende de looptijd van het project continu de daadwerkelijk optredende magneetveldsterkte blijft registreren.

2.2 METINGEN VOOR BIJSTELLEN MODEL

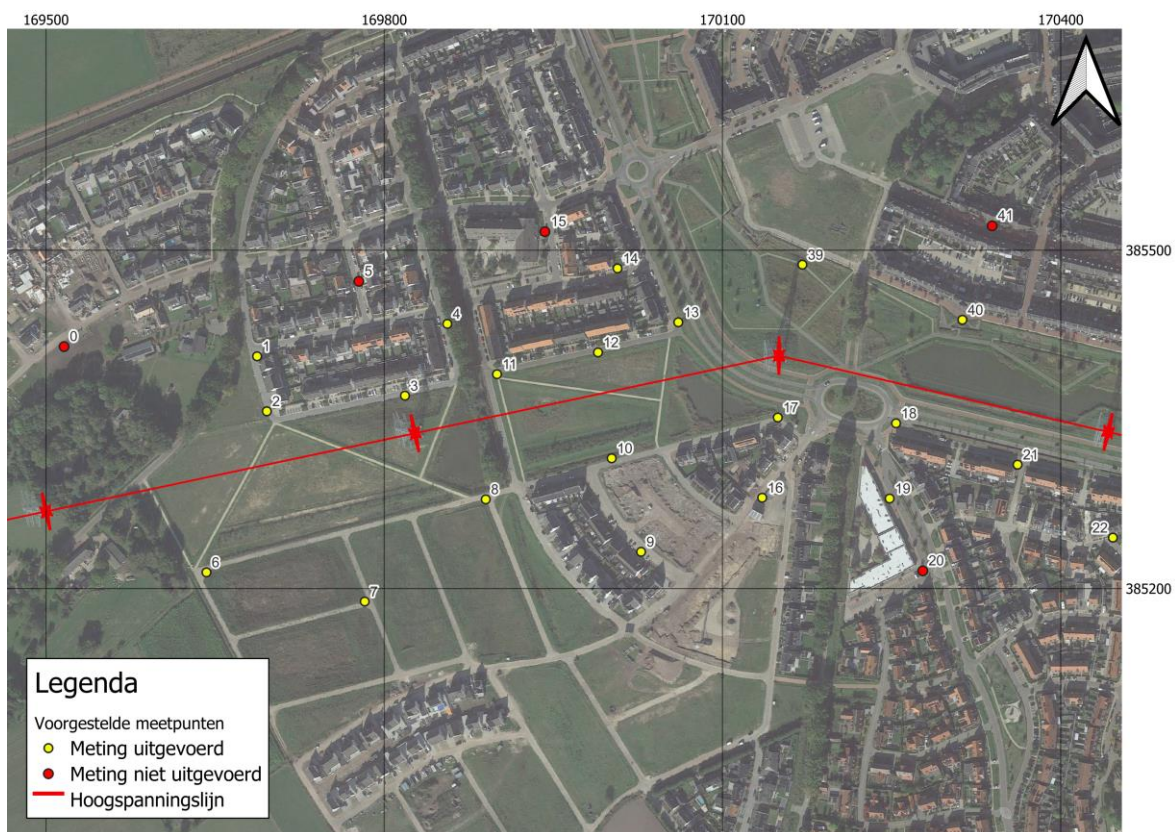
Om de verschillende reducerende effecten mee te kunnen nemen bij het bepalen van optredende magneetvelden op basis van in de hoogspanningslijn optredende stromen, zijn op verschillende locaties in de wijk metingen uitgevoerd, steeds gedurende ten minste een uur. Deze metingen zijn uitgevoerd door Kiwa Dare B.V. Het meetrapport is bijgevoegd als Bijlage A.

2.2.1 MEETAPPARATUUR

De metingen zijn uitgevoerd met een Narda ELT-400 'Magnetic field exposure level tester', voorzien van een meetprobe Narda ELT Probe 100 cm² 'B-field probe'. In Appendix C van het meetrapport van Kiwa Dare dat bijgevoegd is als Bijlage A is de datasheet van deze apparatuur opgenomen. De meter is op een statief geplaatst waardoor de metingen op 1 m boven maaiveld zijn uitgevoerd. De ELT-400 was via een datakabel van ten minste 5 m verbonden met een laptop welke geplaatst was in een auto. De RMS-magneetveldwaarden, op basis van een bandfilter 30 Hz tot 400 kHz, over steeds 1 seconde werden elke seconde gelogd.

2.2.2 AANPAK METINGEN

Voor de metingen waren 43 locaties gepland, om het verloop van het magneetveld langs de lijn en op verschillende afstanden van de lijn in kaart te brengen. Deze locaties zijn weergegeven in Figuur 1 en Figuur 2.



Figuur 1: Geografische weergave van de westelijk gelegen meetlocaties.



Figuur 2: Geografische weergave van de oostelijk gelegen meetlocaties.

Bij het kiezen van deze locaties is zo veel als mogelijk geprobeerd afstand te houden tot ondergrondse elektriciteitskabels, omdat deze een bijdrage zouden kunnen leveren aan het gemeten elektrisch veld. Bij het uitvoeren van de meting is op elke locatie steeds voorafgaand aan de meting met de hand gemeten in de buurt van de gewenste locatie om te zien of er duidelijk magneetvelden ten gevolge van een ondergrondse kabel gemeten konden worden. In een enkel geval is de meetlocatie naar aanleiding daarvan nog enkele meters verplaatst.

Uiteindelijk is niet voor al deze locaties een meting uitgevoerd, omdat bleek dat voor locaties die zich meer dan circa 125 m bij de hoogspanningslijn vandaan bevonden de magneetvelden dusdanig klein waren dat ze niet meer door de gebruikte meetapparatuur gedetecteerd werden. Op elk van de locaties waar uiteindelijk gemeten is, is voor ten minste een uur gemeten. Alle metingen zijn na elkaar uitgevoerd op verschillende momenten, in de periode van 7 t/m 16 maart 2023.

2.2.3 VERWERKEN RESULTATEN

De magneetvelden zijn ontvangen in .xlsx-formaat, en hieruit zijn gemiddelden bepaald per 15 minuten, ter vergelijking met de theoretische magneetveldwaarden op basis van door TenneT opgegeven stroomwaarden.

2.3 STROOMWAARDEN

2.3.1 VERKRIJGEN STROOMWAARDEN

Ter hoogte van de wijk Brandevoort zijn vier bovengrondse hoogspanningscircuits aanwezig. Twee circuits vormen een verbinding tussen de 380kV-hoogspanningsstations Maasbracht en Eindhoven, de twee andere circuits vormen een verbinding tussen de 150kV-hoogspanningsstations Eindhoven Oost en Helmond Zuid. Door TenneT worden de stromen in deze circuits elke 5 minuten een keer gemeten en gelogd bij begin- en eindstation van de verbinding. Deze stroomwaarden zijn aangeleverd door TenneT, met wat toelichting op de betrouwbaarheid en interpretatie van de verschillende aangeleverde waarden [1]. Hierbij is aangegeven dat bij sterke afwijkingen in de metingen aan begin en eind van 150kV-verbinding Eindhoven Oost - Helmond Zuid de meetwaarden ter hoogte van Helmond Zuid als meer betrouwbaar gezien moeten worden.

2.3.2 VERWERKEN RESULTATEN

Per circuit zijn twee metingen beschikbaar, en elke meting bestaat weer uit vier waarden:

- a. Reëel vermogen
- b. Blind vermogen
- c. Spanning
- d. Absolute waarde stroom (afgeleid uit de andere drie waarden).

In totaal zijn er voor elk moment dus 8 waarden beschikbaar per circuit. Hieruit moet voor de berekeningen één stroomwaarde bepaald worden, en een stroomrichting.

STROOMWAARDE

Voor de stroomwaarde is in principe het gemiddelde tussen de stroomwaarden (waarde 'd') van begin- en eindstation genomen, tenzij hier sterke afwijkingen in zitten:

- Wanneer van 1 van beide stations de waarde 0 is, is geen gemiddelde genomen maar alleen de meetwaarde van het andere station.
- Bij meetwaarden op 150kV-station Eindhoven Oost boven de 1 kA die deze circuits maximaal zouden mogen transporteren wordt alleen de meetwaarde van 150kV-station Helmond Zuid gehanteerd. Dat is ook gedaan wanneer deze waarden meer dan 200 A van elkaar afwijken.

STROOMRICHTING

De stroomrichting is bepaald op basis van het teken van het reële vermogen (waarde 'a' uit bovenstaande lijst). Hierbij zijn de stromen in de 380kV-circuits als positief geïnterpreteerd wanneer het gemeten vermogen bij Maasbracht positief was en bij Eindhoven negatief. De stromen in de 150kV-circuits zijn als positief geïnterpreteerd wanneer het gemeten vermogen bij Helmond Zuid positief was en bij Eindhoven Oost negatief.

2.4 BEPALING PLAATSAFHANKELIJKE REDUCTIEFACTOR

Verondersteld wordt dat er per locatie een min of meer constante verhouding zit tussen de theoretisch berekende magneetveldwaarden, op basis van de optredende stromen, en de daadwerkelijk gemeten magneetvelden. Dit zou dan veroorzaakt worden door verschillende dempende effecten die in het theoretische model niet zijn meegenomen. Wel is het goed mogelijk dat op de ene plek meer demping optreedt dan op de andere, bijvoorbeeld omdat er meer goed geleidende objecten aanwezig zijn. Deze verhouding noemen we hier de reductiefactor.

Door een uitkomst van het theoretische model te vermenigvuldigen met deze reductiefactor vind je de daadwerkelijk te verwachten waarde. Een lage reductiefactor betekent dus dat de daadwerkelijk te verwachten magneetveldwaarden een stuk lager liggen dan de theoretische waarden, en er dus sprake is van een sterke reductie ten gevolge van effecten die niet in het theoretische model zijn opgenomen. Omdat deze reducerende effecten van plek tot plek kunnen variëren, kan ook deze reductiefactor van plek tot plek variëren. In die zin spreken we ook wel van reductiefactoren (meervoud).

2.4.1 ONZEKERHEDEN

Een uitdaging bij het bepalen van de locatieafhankelijke reductiefactor is dat er verschillende afwijkingen en onzekerheden aanwezig zijn in de verschillende stappen van het onderzoek.

ONZEKERHEID METINGEN

Bij het meten in het lab en in het veld bleek dat de gebruikte magneetveldmeter eigenlijk altijd minimaal 0,03 tot 0,04 microtesla aangaf. Een eerste uitdaging die dit opleverde is dat er voor een heel aantal geplande meetlocaties, met name de locaties die verder van de hoogspanningslijn lagen, geen nuttige meetgegevens konden worden verzameld. De optredende magneetveldwaarden waren daar kleiner dan of gelijk aan deze ondergrens, waardoor de meter alleen deze ondergrenswaarde aangaf.

Omdat de herkomst van deze ondergrens niet precies bekend was, is aangenomen dat het hier om ruis gaat, die dus ook op zou treden bij hogere meetwaarden, en daar een spreiding in de meetwaarden op kan leveren tussen 0,04 microtesla hoger en lager dan de daadwerkelijk optredende waarde. Een dergelijke spreiding heeft dezelfde variantie als een normale verdeling met een standaarddeviatie van 0,023 microtesla. Een dergelijke spreiding zorgt er ook voor dat er in meetwaarden die niet al te ver boven dit ruisniveau liggen een relatief grote onzekerheid zit.

ONZEKERHEID STROOMWAARDEN

De onnauwkeurigheid in de stroommetingen zelf is onbekend. Daarnaast betreffen de opgegeven stroomwaarden geen gemiddelden over 5 minuten, maar steeds momentopnamen. Hierdoor kunnen aanvullende afwijkingen ontstaan wanneer op basis van deze stroomwaarden magneetvelden berekend worden en deze vergeleken worden met gemeten stroomwaarden die wel een gemiddelde zijn over een bepaalde periode.

OMGEVINGSFACTOREN

Gedurende de metingen kunnen er invloeden vanuit de omgeving zijn geweest of zijn veranderd. Denk bijvoorbeeld aan verplaatsing van auto's (hoewel deze op enkele meters afstand geen invloed leken te hebben op de meetwaarden), of het inschakelen/sterker worden van een andere bron van elektromagnetische straling. Dergelijke effecten zijn tijdens het uitvoeren van de metingen niet opgevallen, maar ze kunnen in theorie een rol hebben gespeeld.

ONNAUWKEURIGHEID MODEL

Het model is opgesteld op basis van ontwerpgegevens van de hoogspanningslijn. In de praktijk kunnen er kleine afwijkingen en afrondingsverschillen bestaan tussen de ontwerpsituatie en de daadwerkelijke situatie. Ook varieert bijvoorbeeld de exacte positie van de geleiders onder invloed van wind en opwarming.

SPREIDING IN REDUCTIEFACTOREN

Voor elke locatie is voor elke 15 minuten meettijd de verhouding bepaald tussen de gemeten magneetvelden en de theoretisch berekende magneetvelden op basis van de opgegeven stromen. Zowel voor de vier verschillende perioden van 15 minuten binnen één meetlocatie, als tussen de meetlocaties onderling, is te zien dat deze reductiefactoren niet allemaal aan elkaar gelijk zijn. De verschillen tussen de locaties zijn naar verwachting in ieder geval ten dele te verklaren doordat de dempende effecten niet voor elke locatie het zelfde zijn. Afgezien daarvan wordt aangenomen dat alle bovenstaande factoren bijdragen aan de spreiding die te zien is in de berekende reductiefactoren.

2.4.2 DE VOLDOENDE CONSERVATIEVE FACTOR

Vanwege alle onzekerheden is ervoor gekozen een voldoende conservatieve reductiefactor te bepalen voor de verschillende locaties in de wijk. Daarmee wordt bedoeld dat de reductiefactoren aan de veilige kant gekozen worden: de reductiefactoren waarmee het model bijgesteld wordt zijn dusdanig dat de magneetveldwaarden die door het aldus bijgestelde model berekend worden met 97,7% zekerheid hoger liggen dan de waarden die in werkelijkheid gemeten zouden worden. Dit percentage is door WSP gekozen en komt overeen met het deel van de waarden dat bij een normale verdeling onder het gemiddelde plus twee maal de standaarddeviatie ligt. De bijstelling van het model zou ook op basis van een ander percentage uitgevoerd kunnen worden wanneer de uitkomsten als te conservatief worden gezien, of wanneer juist meer zekerheid gewenst is dat het bijgestelde model voldoende conservatief is.

Hierbij moet wel gezegd worden dat deze zekerheid altijd in het perspectief gezien moet worden van de hiervoor besproken onzekerheden. Dit percentage zegt bijvoorbeeld niets over de kans dat in dit onderzoek systematische fouten zijn gemaakt, of over de kans dat er grote aanpassingen gedaan gaan worden aan de hoogspanningslijn of in de wijk die een invloed kunnen hebben op de optredende magneetvelden.

Voor bepaalde locaties, met name dicht bij de hoogspanningslijn, is zeer goede meetdata beschikbaar, omdat de gemeten waarden ver boven de hiervoor besproken ondergrens liggen. Voor dergelijke locaties is het gemakkelijker om meer zekerheid over de reductiefactor te krijgen. Hierdoor kan voor deze locaties vaak een lagere reductiefactor gehanteerd worden, terwijl de 97,7% zekerheid toch gehandhaafd blijft. Voor veel verder weg gelegen locaties zijn er geen goede meetgegevens uit de directe omgeving bekend. Hier moet teruggevallen worden op een algemene reductiefactor, die over het algemeen dus ook relatief hoog is ten opzichte van de reductiefactoren die gehanteerd kunnen worden voor de locaties met betere meetgegevens. Omdat dit echter over het algemeen ook locaties betreft waar de magneetvelden ten gevolge van de hoogspanningslijn toch al zeer laag zijn, zullen op basis hiervan niet zo snel heel hoge magneetvelden berekend worden.

2.4.3 BEPALING REDUCTIEFACTOR PER MEETLOCATIE

Per meetlocatie zijn vier reductiefactoren te bepalen, voor elk van de 15 minuten dat er gemeten is. Het gemiddelde van deze vier waarden wordt als basis voor de reductiefactor voor die locatie gebruikt. Daarnaast wordt een standaarddeviatie bepaald om daarmee uiteindelijk tot de 'voldoende conservatieve reductiefactor' te komen.

Ten eerste is er een standaarddeviatie te bepalen op basis van de meetonzekerheid, waarbij de meetwaarden verondersteld worden een normale verdeling te volgen. Dit leidt tot een standaarddeviatie van 0,023 microtesla (zie paragraaf 2.4.1, 'Onzekerheid metingen'). Deze waarde wordt gedeeld door de gemiddelde gemeten magneetveldwaarde

voor deze locatie om tot de relatieve afwijking te komen. Dit bepaalt dan ook de relatieve afwijking in de reductiefactor. Ten tweede wordt er gekeken naar de spreiding binnen de verzameling van de vier berekende reductiefactoren voor de locatie. Uit deze spreiding wordt ook een standaarddeviatie bepaald.

Van deze twee standaarddeviaties wordt vervolgens de hoogste genomen. Deze wordt tweemaal bij de gemiddelde reductiefactor voor deze locatie opgeteld om tot een 'voldoende conservatieve reductiefactor' voor die locatie te komen.

2.4.4 BEPALING ALGEMENE REDUCTIEFACTOR

De spreiding van reductiefactoren tussen de verschillende meetlocaties blijkt een stuk groter te zijn dan die binnen individuele meetlocaties. Daarom wordt de gewogen standaarddeviatie van de spreiding tussen de verschillende meetlocaties als maatgevend beschouwd bij het bepalen van de voldoende conservatieve algemene reductiefactor. Omdat niet alle meetlocaties even goede meetdata hebben opgeleverd worden de resultaten niet allemaal even zwaar meegerekend bij het bepalen van een gemiddelde reductiefactor en de standaarddeviatie van de spreiding. Aan elke locatie wordt een weegfactor toegekend gelijk aan het verschil tussen de gemiddelde gemeten magneetveldwaarde, en de 'ondergrens' van de meetapparatuur van 0,04 microtesla. Hierdoor worden locaties waar de optredende magneetvelden op het moment van de meting lager of gelijk waren aan deze ondergrens helemaal niet meegewogen, en worden locaties met meetwaarden ver boven deze ondergrens het sterkst meegewogen. Een gewogen gemiddelde van de reductiefactoren wordt als volgt bepaald:

$$R_{gem} = \frac{\sum w_i R_{gem,i}}{\sum w_i}$$

Met R_{gem} het gemiddelde voor de algemene reductiefactor, w_i de weegfactor van locatie i , en $R_{gem,i}$ de gemiddelde (dus niet de voldoende conservatieve) reductiefactor van locatie i . De gewogen standaarddeviatie wordt als volgt bepaald:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum w_i (R_{gem,i} - R_{gem})^2}{\sum w_i}}$$

De voldoende conservatieve algemene reductiefactor is dan $R_{conservatief,alg} = R_{gem} + 2 \cdot \sigma$.

2.4.5 BEPALING PLAATSAFHANKELIJKE REDUCTIEFACTOR

Bij de bepaling van een reductiefactor voor elke locatie in de wijk is een combinatie gemaakt van de algemene voldoende conservatieve reductiefactor, en de specifieke voldoende conservatieve reductiefactor van eventuele nabij gelegen meetpunten. De relatieve bijdrage van de reductiefactoren per meetlocatie aan de reductiefactor op een bepaalde plaats in de wijk neemt af naarmate het punt zich verder van een meetlocatie bevindt, tot 0% vanaf 200 m afstand, en ook naarmate de kwaliteit van de meting slechter is (de relatieve bijdrage van een bepaald punt wordt vermenigvuldigd met dezelfde weegfactoren w_i zoals hierboven gehanteerd). Hierdoor zal op plaatsen waar zich veel meetlocaties met goede metingen in de buurt bevinden de reductiefactor bijna volledig bepaald worden door de reductiefactoren van die goede nabijgelegen meetlocaties. Op plaatsen waar geen goede metingen in de buurt zijn, zal de reductiefactor gelijk zal zijn aan de algemene reductiefactor.

Om precies te zijn is een kernelfunctie gebruikt om de relatieve bijdrage van de reductiefactor van een bepaalde meetlocatie te bepalen als functie van de afstand tot die meetlocatie. Hiervoor is de volgende functie gehanteerd:

$$k(r) = \begin{cases} \left(1 - \frac{r^2}{r_{ref}^2}\right)^2, & r < r_{ref} \\ 0, & r \geq r_{ref} \end{cases}$$

Met r de afstand tot het meetpunt en r_{ref} de maximale afstand tot waar de meetlocatie nog invloed heeft. Voor r_{ref} is hier de waarde 200 m gekozen om een kleine overlap tussen de verschillende meetpunten te bewerkstelligen. Vervolgens is voor het hele gebied de totale bijdrage van alle meetpunten bepaald:

$$f(x, y) = \sum w_i k(r_i)$$

Met $r_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}$ en x_i en y_i de locatie van meetpunt i , en hiervan is de maximale waarde f_{max} bepaald. Vervolgens is voor alle locaties de voldoende conservatieve reductiefactor bepaald met

$$R_{conservatief}(x, y) = \frac{\sum w_i k(r_i) R_{conservatief,i}}{f_{max}} + \left(1 - \frac{f(x, y)}{f_{max}}\right) R_{conservatief,alg}$$

2.5 BEREKENING OPTREDENDE MAGNEETVELDEN

2.5.1 THEORETISCH MODEL

De magneetvelden zijn berekend op basis van de wet van Biot-Savart. De bijdragen van de stromen in de verschillende fasen van de hoogspanningslijn (met de zee bij 15 °C) zijn daarbij vectorieel opgeteld, rekening houdend met de onderlinge faseverschuiving. Voor ieder punt is vervolgens de RMS¹-waarde van de absolute waarde van het magneetveld bepaald, op 1 m boven maaiveld.

2.5.2 BIJGESTELD MODEL

In het bijgestelde model worden de uitkomsten van het theoretisch model vermenigvuldigd met de plaatsafhankelijke voldoende conservatieve reductiefactor $R_{conservatief}(x, y)$, zie paragraaf 2.4.5 hierboven.

2.5.3 GEMIDDELDE WAARDEN

Omdat er bij de berekening van magneetveldwaarden een absolute waarde genomen wordt van een vector, en het uiteindelijk gaat om het gemiddelde van deze absolute waarde, kan niet zonder meer het gemiddelde genomen worden van de stromen over een bepaalde periode om op basis daarvan de gemiddelde magneetveldwaarden te berekenen. De richting van het magneetveld kan veranderen bij variaties in de onderlinge stroomsterkte en -richting in de verschillende circuits van de hoogspanningslijn. Bij middeling bij voorbaat zouden de magneetveldwaarden van periodes waarin het veld de ene kant op gericht is afgetrokken worden van de magneetveldwaarden uit perioden dat het veld de andere kant op gericht is. In werkelijkheid moeten deze waarden bij elkaar opgeteld worden voor de middeling. Daarom is voor elke 5 minuten waarvoor goede stroomwaarden gegeven zijn het magneetveld berekend met het bijgestelde model, en is vervolgens het gemiddelde genomen van deze waarden.

¹ Root-mean-square – de wortel van het gemiddelde van de kwadraten van alle waarden

In de meetdata van TenneT zijn voor sommige momenten geen bruikbare stroomwaarden beschikbaar. Deze perioden zijn weggelaten bij de middeling. Bij de resultaten is steeds gerapporteerd welk aandeel van de tijd er geen meetwaarden beschikbaar waren.

2.6 PERMANENTE METER

In de wijk is ook permanent een magneetveldmeter geplaatst. Deze heeft geen functie in het bepalen van het magneetveld in de verschillende locaties in de wijk. De functie van deze meter is dat hiermee voortdurend een check wordt uitgevoerd op de magneetveldwaarden die bepaald zijn op basis van het bijgestelde model en de door TenneT aangeleverde stroomwaarden.

2.6.1 MEETAPPARATUUR

Voor de metingen is gebruikt van een Narda AMB-8059-metstation met modem voor mobiele data. Het station is voorzien van een eigen zonnepaneel en accu voor stroomvoorziening. Deze is uitgerust met een Narda HP-1B-01-metprobe. De datasheet van deze apparatuur is opgenomen als Bijlage B.

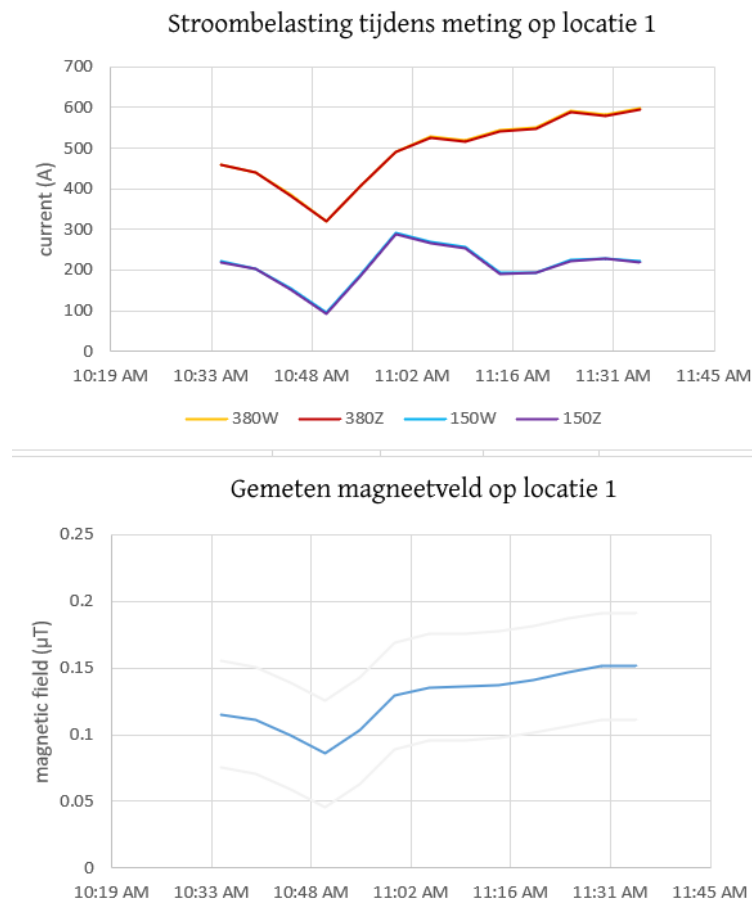
2.6.2 PLAATSING

De permanente meter is geplaatst tegenover Mommersdonk 44 te Helmond op 3 meter boven maaiveld om de kans op vandalisme te verkleinen. Dit is nabij meetlocatie 12 welke geografisch weergegeven is in Figuur 1. Deze locatie is gekozen omdat deze relatief dicht bij de hoogspanningslijn ligt op een punt waar de geleiders het verst doorhangen, midden tussen twee opeenvolgende masten. Hierdoor zijn altijd relatief duidelijke en hoge magneetveldwaarden te verwachten die goed met het bijgestelde model te verifiëren zouden moeten zijn. Daarbij is dit ook een locatie relatief dicht bij een van de groepen huizen die zich het dichtst bij de hoogspanningslijn bevinden en gaat het om een locatie waar relatief weinig verkeer nabij te verwachten is.

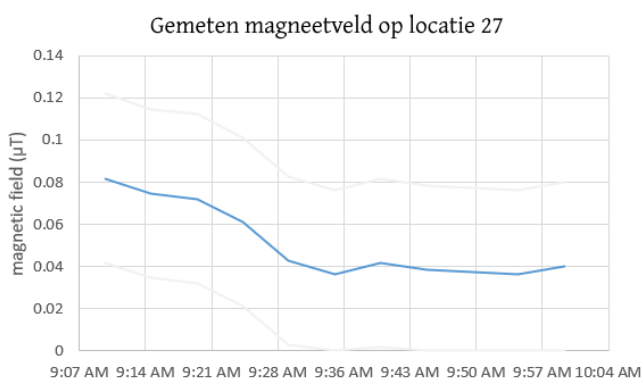
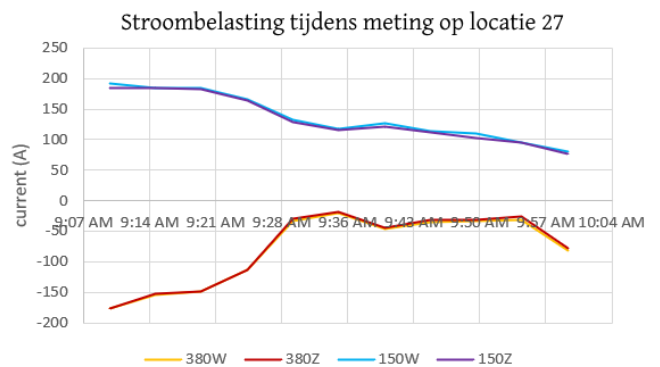
3 RESULTATEN

3.1 GEMETEN EN BEREKENDE MAGNEETVELDEN

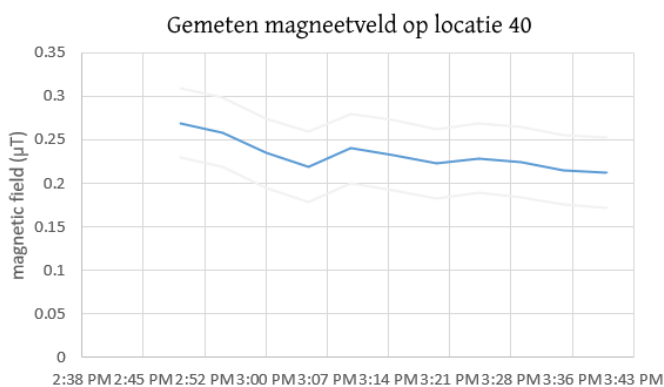
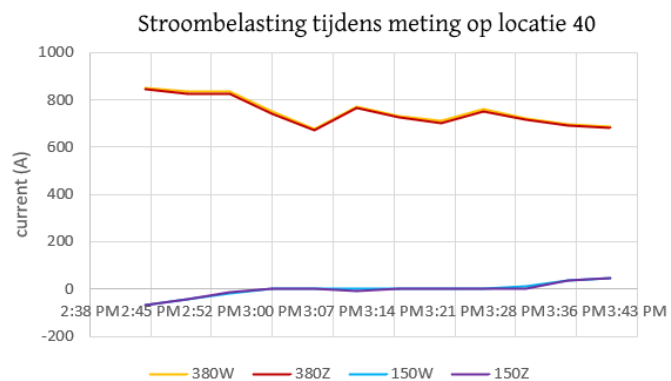
De ruwe meetdata is vastgelegd in het meetrapport dat te vinden is in Bijlage A. Om het verband tussen de stromen in de hoogspanningslijn en de magneetveldsterkte weer te geven zijn in Figuur 3 tot en met Figuur 5 de gemeten magneetvelden weergegeven, alsmede de stroombelasting op deze momenten. De trends die in de stroomwaarden optreden zijn voor deze meetlocaties ook duidelijk terug te zien in de gemeten magneetveldwaarden.



Figuur 3: Gemeten magneetveldsterktes en stroomwaarden voor de metingen op locatie 1



Figuur 4: Gemeten magneetveldsterktes en stroomwaarden voor de metingen op locatie 27



Figuur 5: Gemeten magneetveldsterktes en stroomwaarden voor de metingen op locatie 40

3.2 PLAATSAFHANKELIJKE REDUCTIEFACTOR

Op basis van de gemeten magneetveldsterktes en de berekende waarden is allereerst per meetlocatie een weegfactor en reductiefactor bepaald zoals beschreven in de paragrafen 2.4.3 en 2.4.4, deze zijn weergegeven in Tabel 1.

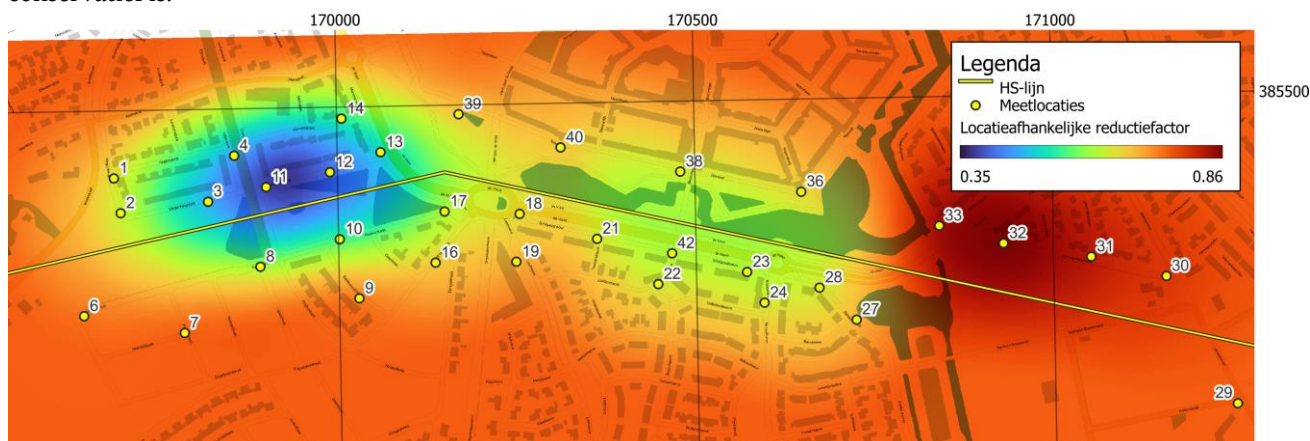
Tabel 1 - weegfactoren en reductiefactoren per meetpunt

MEETLOCATIE	WEEGFACTOR w_i	ACCEPTABELE REDUCTIEFACTOR VAN MEETLOCATIE VOLGENS PARAGRAAF 2.4.3
1	0.08	0.63
2	0.24	0.39
3	0.28	0.30
4	0.15	0.46
6	0.02	0.56
7	0.00	1.30
8	0.07	0.83
9	0.00	1.03
10	0.12	0.59
11	0.37	0.32
12	0.43	0.34
13	0.21	0.31
14	0.06	0.75
16	0.01	0.50
17	0.20	0.25
18	0.42	0.73
19	0.01	0.84
21	0.07	0.23
22	0.08	0.53
23	0.08	0.36
24	0.02	0.63
27	0.01	1.74
28	0.41	0.54
29	0.00	2.53
30	0.04	0.85
31	0.04	1.04

ACCEPTABELE REDUCTIEFACTOR VAN MEETLOCATIE VOLGENS PARAGRAAF 2.4.3

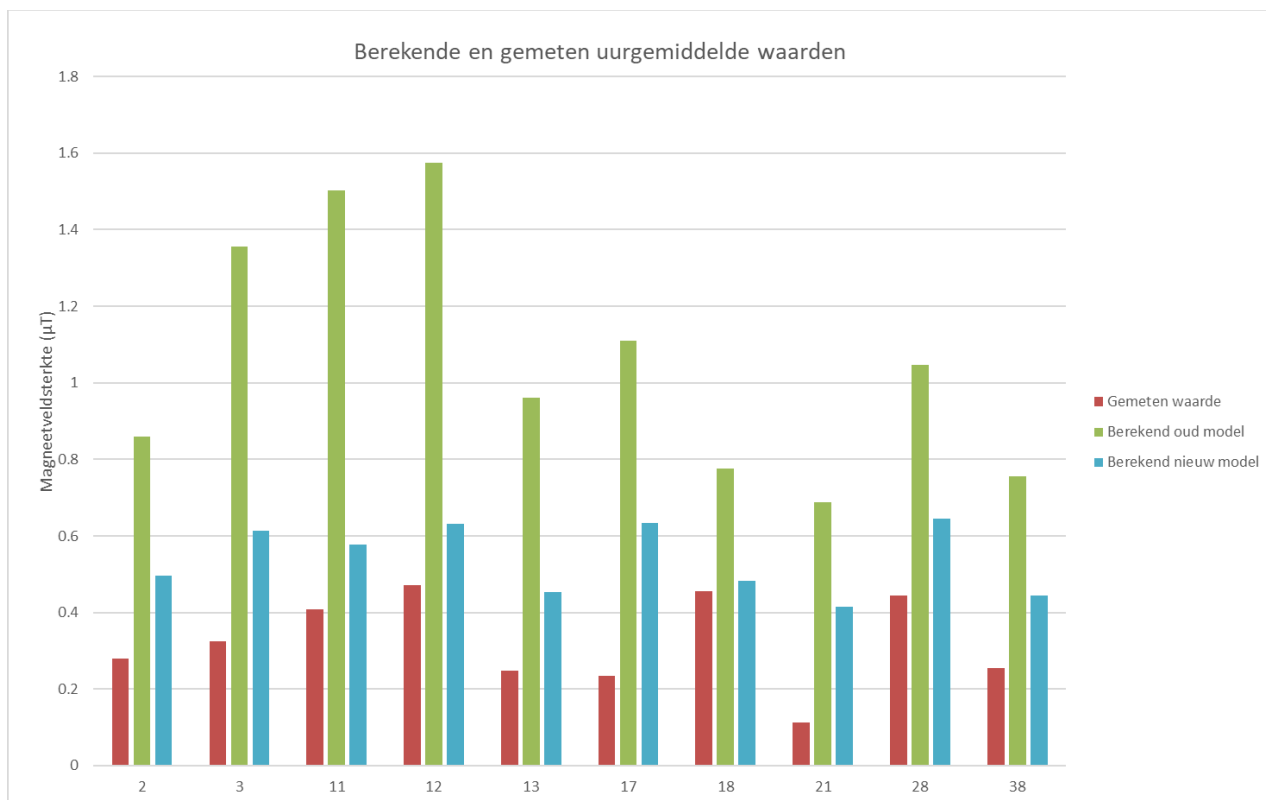
MEETLOCATIE	WEEGFACTOR w_i	ACCEPTABELE REDUCTIEFACTOR
32	0.03	2.38
33	0.09	1.13
36	0.15	0.35
38	0.21	0.40
39	0.05	0.52
40	0.19	0.41
42	0.17	0.34

Vervolgens is een locatieafhankelijke reductiefactor bepaald voor het gehele projectgebied. Deze reductiefactor heeft een waarde variërend tussen 0,35 en 0,86. De daadwerkelijk te verwachten magneetvelden liggen dus altijd lager dan de theoretische waarden, met een reductie van 14-65%. Deze reductiefactor is grafisch weergegeven voor het gehele projectgebied in Figuur 6. Hieruit blijkt dat met name rond locaties waar relatief hoge magneetvelden gemeten zijn een sterke reductie toe te passen is. Bij lagere meetwaarden verder van de hoogspanningslijn is de onzekerheid groter, en kan de reductiefactor dus minder laag gekozen worden omdat de kans groter is dat deze onvoldoende conservatief is.



Figuur 6: Reductiefactoren binnen het projectgebied

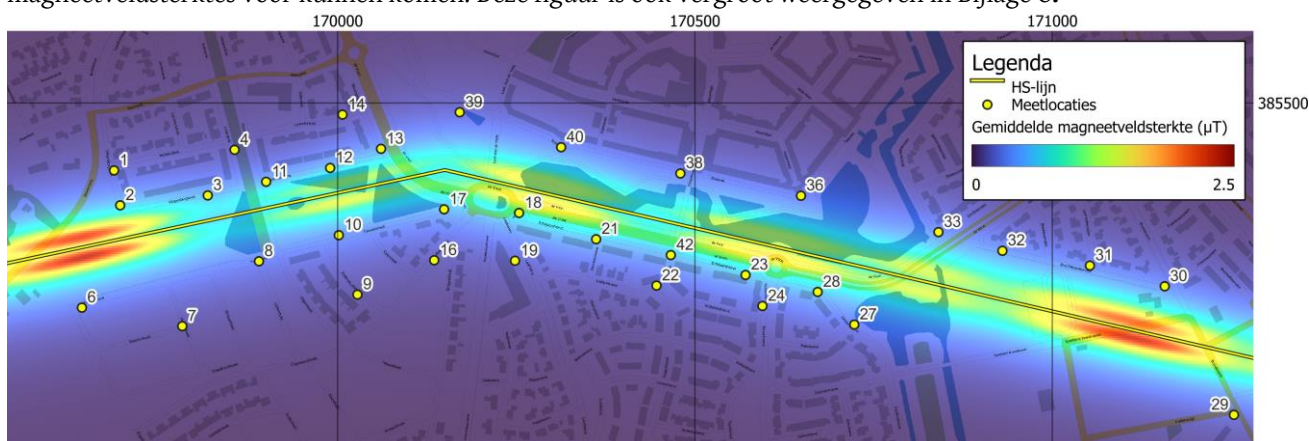
Het gemiddelde magneetveld is herberekend voor elk van de meetpunten tijdens het uur waarop gemeten is. In Figuur 7 is een vergelijking te zien tussen de berekende waarden volgens het oude model en met het bijgestelde model. Hier is te zien dat het bijgestelde model de gemeten waarden een stuk beter benadert, maar ook dat de resultaten van het bijgestelde model in alle gevallen voldoende conservatief zijn.



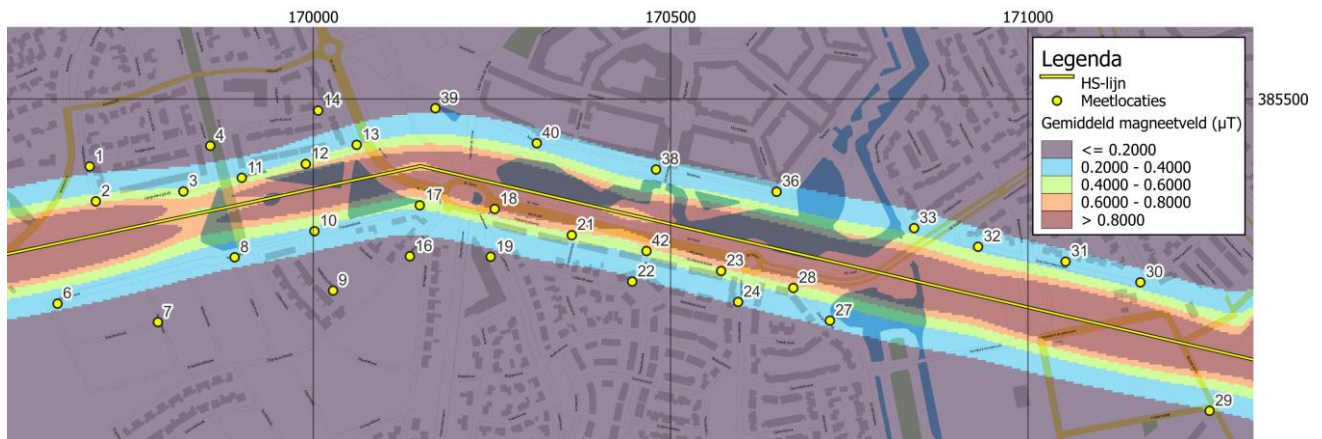
Figuur 7: Vergelijking tussen oude en nieuwe model op 10 nabijgelegen meetpunten.

3.3 GEMIDDELDE MAGNEETVELDEN Q1 2023

De gemiddelde magneetveldsterkte binnen het projectgebied welke berekend is na toepassing van de reductiefactoren is weergegeven in Figuur 8 en Figuur 9. In Figuur 8 is de bijgewerkte gemiddelde magneetveldsterkte voor het gehele projectgebied weergegeven. In Figuur 9 is in stappen van 0,2 µT weergegeven in welke zones bepaalde magneetveldsterktes voor kunnen komen. Deze figuur is ook vergroot weergegeven in Bijlage C.



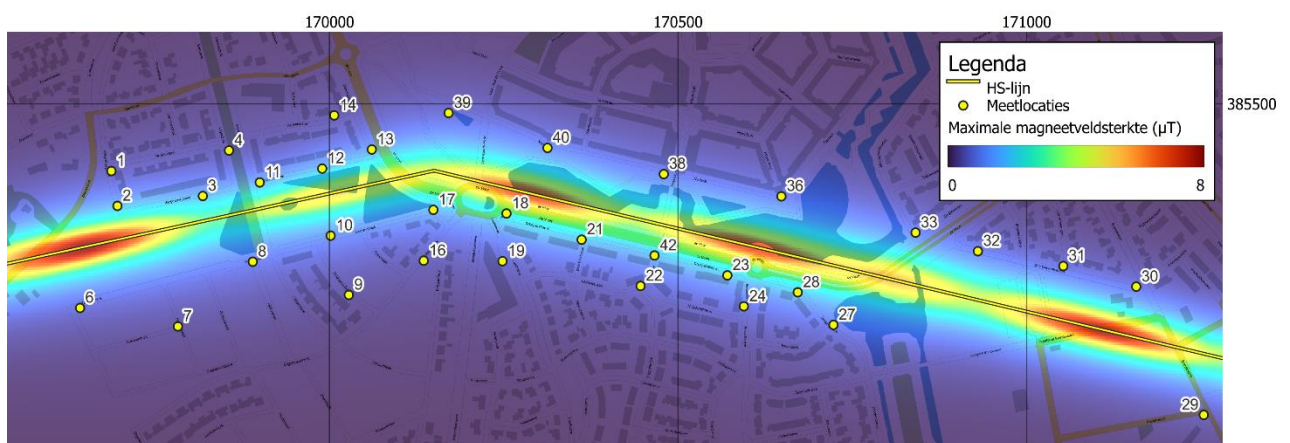
Figuur 8: Berekende gemiddelde magneetveldsterkte met bijgestelde model.



Figuur 9: Contourplot berekende gemiddelde magneetveldsterkte met bijgestelde model.

3.4 MAXIMAAL OPTREDENDE MAGNEETVELDEN Q1 2023

Figuur 10 is de maximale magneetveldsterkte in het eerste kwartaal van 2023 weergegeven zoals berekend volgens het bijgestelde model. Deze liggen op veel locaties significant hoger dan $0,4 \mu\text{T}$. Deze waarde is in dit geval echter niet relevant omdat deze als toetswaarde geldt voor langdurige (een jaar of langer) blootstelling. De hier getoonde waarden tot $8 \mu\text{T}$ zijn dus wel voor korte tijd (mogelijk maar enkele seconden) opgetreden, maar zijn nog steeds vele malen lager dan de toetswaarde van $100 \mu\text{T}$ [2] die geldt voor kortdurende blootstelling.



Figuur 10: Maximaal optredende magneetveldsterkte in Q1 van 2023 volgens het bijgewerkte rekenmodel.

4 DISCUSSIE

4.1 STATUS UITKOMSTEN

In paragraaf 3.3 en Bijlage C wordt een beeld geschetst van de gemiddelde magneetveldsterkte in het eerste kwartaal van 2023 in de wijk. Zoals eerder aangegeven zijn deze resultaten niet 1 op 1 te vergelijken met een bepaling van de specifieke magneetveldzone conform de handreiking van het RIVM. In dat verband wordt gebruik gemaakt van een toetswaarde van $0,4 \mu\text{T}$. Dit type berekening is echter gebaseerd op conservatieve uitgangspunten met betrekking tot de grootte en richting van de stromen in de hoogspanningslijn en de afronding. Daarnaast wordt er met jaargemiddelde waarden gerekend bij een bepaling volgens de RIVM handreiking. De hier getoonde resultaten worden onder andere bepaald door daadwerkelijk optredende stromen, en zijn bovendien niet bepaald voor een volledig jaar maar voor één kwartaal.

Daar komt nog bij dat uit deze studie gebleken is dat er een aantal onzekerheden optreden wanneer theoretische en gemeten waarden vergeleken worden. In dit rapport is een aantal van deze onzekerheden benoemd en is getracht tot 97,7% zekerheid te komen met betrekking tot deze onzekerheden. Daarmee blijft er altijd een kleine kans dat de optredende magneetveldsterktes in werkelijkheid hoger zijn, maar ook een grote kans dat ze in werkelijkheid lager zijn.

4.2 OPVALLENDE UITKOMSTEN

In Figuur 6 is te zien dat de reductiefactor lager is nabij de hoogspanningslijn. Dat wil zeggen dat rond de hoogspanningslijn de berekening het sterkst gecorrigeerd wordt. Gezien hier relatief grote magneetveldsterktes zijn gemeten is de verhouding tussen het meetsignaal en de ruis kleiner. Om deze reden is hier met meer zekerheid te zeggen dat de gemeten waarden correct zijn en kan er scherper bijgesteld worden. Daarmee wordt ook duidelijk dat de verschillende zekerheden en de daarvoor gehanteerde marges zeer bepalend zijn geworden voor de uitkomsten van dit onderzoek. Deze onzekerheid lijkt met name veroorzaakt te worden doordat het op veel plaatsen (met name die op grotere afstand van de hoogspanningslijn) een uitdaging is gebleken voldoende nauwkeurig te meten, omdat de optredende magneetvelden op het moment van de meting eenvoudigweg een stuk lager lagen dan de veel genoemde waarde van $0,4 \mu\text{T}$. Vaak bleek de aanwezigheid van andere bronnen van magneetvelden of de ondergrens van de gebruikte meetapparatuur een beperkende factor.

Uit het voorgaande kan het beeld ontstaan dat er grote gebieden zijn waar grote onzekerheden bestaan in de uitkomsten en waar dus mogelijk onnodig hoge uitkomsten gepresenteerd worden. Wat in dit verband goed is om op te merken dat juist ter hoogte van de woningen die het dichtst bij de hoogspanningslijn liggen, de kwaliteit van de metingen over het algemeen het hoogst is. Juist op deze plekken is het bijgestelde model dus zeer nauwkeurig, en zullen de gerapporteerde waarden dicht bij de werkelijkheid liggen. De gebieden waar de onzekerheid relatief hoog is vallen over het algemeen ook samen met de gebieden waar de magneetveldwaarden ten gevolge van de hoogspanningslijn sowieso duidelijk lager dan $0,4 \mu\text{T}$ liggen.

Rond meetpunten 11 en 12 is de reductiefactor opvallend laag. Dit zou deels kunnen komen door de relatief hoge meetwaarden tijdens de metingen op deze locaties, zoals in de vorige alinea beschreven. Ook kan het zijn dat op deze locaties daadwerkelijk meer demping van de magneetvelden door de aanwezige geleidende materialen optreedt, maar er is verder onderzoek nodig om hier verdere uitspraken over te kunnen doen.

Hoewel niet opvallend in de zin van 'onverwacht', is in dit onderzoek wel duidelijk de waarde gebleken van het theoretische model. Dit model geeft aan dat de magneetveldsterkte lager wordt op grotere afstanden van de hoogspanningslijn, en ook dat er een rechtstreeks verband is tussen de stromen in de hoogspanningslijn en de



optredende magneetvelden ten gevolge van de hoogspanningslijn. Beide trends zijn duidelijk te herkennen in de metingen.

5 CONCLUSIE

WSP heeft in opdracht van gemeente Helmond metingen laten uitvoeren in de wijk Brandevoort. Op basis hiervan is een theoretisch model voor de optredende magneetveldsterktes, zoals dat normaal gesproken voor de bepaling van zones conform de handreiking van het RIVM gebruikt wordt, gecorrigeerd. De door het theoretisch model voorspelde trends bleken goed zichtbaar te zijn in de metingen. Anderzijds kan met vrij grote zekerheid gesteld worden dat de daadwerkelijk optredende magneetveldsterktes in werkelijkheid tot wel 65% lager kunnen liggen dan de waarden die het theoretische model voorspelt.

Op veel locaties waren de magneetvelden dusdanig laag dat ze niet nauwkeurig gemeten konden worden. Hierdoor was er voor deze locaties geen basis om een sterke reductie toe te passen in het model. Het gaat hierbij echter om locaties waar de gemiddelde magneetvelden ten gevolge van de hoogspanningslijn duidelijk lager dan $0,4 \mu\text{T}$ liggen. Andersom kan dan ook gesteld worden dat ter hoogte van de woningen die het dichtst bij de hoogspanningslijn liggen juist wel nauwkeurig gemeten kon worden en de nauwkeurigheid van het gecorrigeerde model op die locaties dan ook relatief goed is.

Op basis van het bijgestelde model, met voldoende conservatieve marges, en de door TenneT voor elke 5 minuten van kwartaal 1 van 2023 aangeleverde stromen is er een kaart gemaakt van het relevante gebied rond de hoogspanningslijn. Hier is aangegeven wat de gemiddelde magneetveldwaarden waren gedurende deze periode. De in deze studie toegepaste methode op basis van metingen en daadwerkelijk optredende stromen wijken af van de in de handreiking van het RIVM opgenomen methode voor het bepalen van een specifieke magneetveldzone. Daarom zijn deze resultaten niet 1 op 1 te vergelijken. Daarmee is er ook geen directe relatie te leggen tussen de in dit rapport optredende waarden en het door de Nederlandse overheid gehanteerde voorzorgbeleid met betrekking tot magneetvelden rond hoogspanningslijnen. Wel geeft het een realistischer beeld van de daadwerkelijk optredende gemiddelde magneetveldsterktes in de wijk.

BRONVERMELDING

- [1] TenneT, e-mails van R. Ghafoer, E. Platenkamp d.d. 24-03-2023, 29-03-2023, 04-04-2023, 05-04-2023, 12-04-2023 en 15-05-2023
- [2] 1999/519/EG: Aanbeveling van de Raad van 12 juli 1999 betreffende de beperking van blootstelling van de bevolking aan elektromagnetische velden van 0 Hz – 300 GHz;



BIJLAGEN

- Bijlage A – Meetrapport Kiwa Dare
- Bijlage B – Datasheet permanente meetapparatuur
- Bijlage C – Gemiddelde magneetveldwaarden Q1 2023

BIJLAGE A – MEETRAPPOR T KIWA DARE

GE210600-R01 Bijlage A - Meetrapport Kiwa Dare.pdf

BIJLAGE B - DATASHEET PERMANENTE MEETAPPARATUUR

GE210600-R01 Bijlage B - datasheet permanente meetapparatuur.pdf

BIJLAGE C - GEMIDDELTE MAGNEETVELDWAARDEN Q1 2023

