

MAGNEETVELDEN HOOGSPANNING

Generieke situatiebeschrijving magneetveld van een 380 kV-hoogspanningsverbinding

Ministerie van Economische Zaken en Klimaat

Rapport nr.: 26-0878, Rev. 1

Datum: 16-06-2026



Projectnaam:	Magneetvelden hoogspanning	Energy Systems
Rapporttitel:	Generieke situatiebeschrijving magneetveld van een 380 kV-hoogspanningsverbinding	DNV Netherlands B.V.
Klant:	Ministerie van Economische Zaken en Klimaat Postbus 20401, 2500 EK Den Haag	Utrechtseweg 310-B50 6812 AR Arnhem
Contactpersoon klant:	Yannick Huijsing	Tel: 026 356 9111
Datum uitgave:	16-06-2026	Handelsregister Arnhem 09006404
Projectnummer:	10594792	
Organisatie unit:	Energy Markets & Strategy (EMS)	
Rapport nr.:	26-0878, Rev. 1	

Geschreven door:



Fred Koenis
Senior consultant



Taha Kucukcelebi
Medior consultant

Beoordeeld door:



Leo Lagendijk
Principal consultant

Goedgekeurd door:



Petra de Boer-Meulman
Head of department

Copyright © DNV 2026. All rights reserved. Unless otherwise agreed in writing: (i) This publication or parts thereof may not be copied, reproduced or transmitted in any form, or by any means, whether digitally or otherwise; (ii) The content of this publication shall be kept confidential by the customer; (iii) No third party may rely on its contents; and (iv) DNV undertakes no duty of care toward any third party. Reference to part of this publication which may lead to misinterpretation is prohibited.

DNV Distributie:

- ☒ Open
☐ Intern
☐ Vertrouwelijk
☐ Geheim

*Specificatie distributie: --

Trefwoorden:

elektromagnetische velden, hoogspanningslijn, donaumast, moldaumast, magneetveldzone, RIVM-handreiking, voorzorg-beleid, EU-aanbeveling 1999/519/EG, bronmaatregelen

Rev.	Datum	Reden van uitgave	Auteur	Beoordelaar	Goedgekeurd
0	12-05-2026	Eerste uitgave	F. Koenis	L. Lagendijk	P. de Boer-Meulman
1	16-06-2026	Herziene uitgave	F. Koenis T. Kucukcelebi	L. Lagendijk	P. de Boer-Meulman

Inhoudsopgave

SAMENVATTING.....	1
1 INLEIDING	2
1.1 Vraagstelling	2
1.2 Doel van het rapport	2
1.3 Korte achtergrond: magnetische velden en voorzorgbeleid	2
1.4 Wat komt er in dit rapport aan bod?	3
2 ELEKTROMAGNETISCHE VELDEN VAN HET ELEKTRICITEITSNETWERK	4
2.1 Het elektriciteitsnetwerk	4
2.2 Wat is een elektromagnetisch veld?	5
2.3 Wat doen elektromagnetische velden met ons lichaam?	7
2.4 Waarom is er voorzorgbeleid?	8
2.5 Inhoud van het voorzorgbeleid voor magnetische velden	9
3 MAGNETISCHE VELDEN EN DE ENERGIETRANSITIE	11
3.1 Files op het hoogspanningsnet	11
3.2 Bronmaatregel: fasenoptimalisatie	11
4 VELDBEREKENINGEN AAN HOOGSPANNINGSLIJNEN.....	14
4.1 Gegevens van de berekeningen	14
4.2 Resultaat van de berekeningen – donaumasten	15
4.3 Resultaat van de berekeningen – moldaumasten	19
5 CONCLUSIE	22
VERANTWOORDING AFBEELDINGEN	23

SAMENVATTING

Bij het gebruik van elektriciteit ontstaat altijd een magnetisch veld. Hoe meer stroom, hoe sterker het magnetisch veld. Sterke magnetische velden kunnen bij mensen *biologische effecten* of zelfs *gezondheidseffecten* veroorzaken. Biologische effecten zijn niet schadelijk. Voorbeelden zijn tintelingen voelen of lichtflitsen zien. Gezondheidseffecten zijn vaak wél schadelijk, bijvoorbeeld als het hart wordt verstoord door de magnetische velden. Magnetische velden mogen daarom niet te sterk zijn. Om mensen te beschermen tegen magnetische velden gelden er grenswaarden. Voor plekken waar iedereen mag komen is die grenswaarde 100 microtesla. Voor werkplekken is er vanuit de Arbowetgeving een zogeheten 'actieniveau' van 1000 microtesla. Nederland volgt hiermee de Europese regels en aanbevelingen.

Wetenschappelijk onderzoek laat zien dat mensen die lang in de buurt van hoogspanningslijnen wonen, *mogelijk* vaker leukemie krijgen. Er is geen wetenschappelijk (bijvoorbeeld biologisch) bewijs dat de magnetische velden van deze hoogspanningslijnen leukemie veroorzaken. Dit kan ook een andere oorzaak hebben of toeval zijn. Toch neemt de overheid dit serieus. Daarom is er vanuit de overheid een voorzorgbeleid. Bij de bouw of aanpassing van het elektriciteitsnet nemen netbeheerders technische maatregelen om het magnetisch veld kleiner te maken. Deze maatregelen worden *bronmaatregelen* genoemd. Bij nieuwe hoogspanningslijnen probeert men te voorkomen dat woningen, scholen, kinderdagverblijven en verpleeghuizen in de zone liggen waar de jaargemiddelde magnetische veldsterkte hoger kan zijn dan 0,4 microtesla (de 'magneetveldzone'). Dit zijn *afstandsmaatregelen*.

DNV heeft berekend hoe sterk de magnetische velden zijn bij twee typen 380 kV-hoogspanningslijnen: lijnen met donaumasten en met moldaumasten. Hierbij is de werkwijze gehanteerd van de Handreiking van het RIVM. Hierin staat beschreven hoe deze berekeningen moeten worden gedaan. DNV heeft voor beide typen hoogspanningslijnen:

- de magneetveldzone berekend
- bepaald hoe de magnetische veldsterkte verandert als de afstand tot de hoogspanningslijn groter wordt
- berekend waar de grenswaarde van 100 microtesla wordt bereikt.

Het gaat om een voorbeeldberekening die globaal een indicatie geeft van de sterkte en omvang van de magnetische velden bij deze masttypen. De berekeningen zijn uitgevoerd op het punt waar de geleiders het laagst hangen, omdat daar het magneetveld op de grond het sterkst is.

Voor de donaumasten is gekeken naar een situatie waarbij de lijn nog niet is opgewaardeerd naar een hoger vermogen en een situatie waarbij dat wel is gebeurd. Opwaarderen wil zeggen dat er meer stroom door de hoogspanningslijn kan. TenneT, de beheerder van het hoogspanningsnet, doet dit omdat het hoogspanningsnet op sommige plaatsen te vol is. Het is dan alsof er files op het hoogspanningsnet zijn. Voor de opgewaardeerde lijn is er een situatie berekend zonder en met de bronmaatregel van *fasenoptimalisatie*.

Uit de berekeningen voor een lijn met donaumasten blijkt dat de magneetveldzone smaller wordt als de hoogspanningslijn opgewaardeerd wordt én tegelijkertijd fasenoptimalisatie wordt toegepast. In de niet-opgewaardeerde situatie is de magneetveldzone 210 meter breed (2x105 meter). In de opgewaardeerde situatie waarin ook fasenoptimalisatie is toegepast, is de magneetveldzone 180 meter breed (2x90 meter). Er kan dus meer stroom door de lijn, waardoor meer mensen kunnen worden aangesloten op het elektriciteitsnet, maar de magneetveldzone wordt juist smaller. Uit de berekeningen blijkt ook dat de magnetische veldsterkte snel zwakker wordt, als de afstand tot de hoogspanningsmast groter wordt.

Een zelfde berekening is ook gedaan voor een lijn met moldaumasten. Dit is een nieuw masttype en daarom wordt bij deze mast altijd direct fasenoptimalisatie toegepast. Er is daarom geen situatie berekend zonder fasenoptimalisatie. De magneetveldzone is voor dit masttype 130 meter breed (2x65 meter). Dit is duidelijk smaller dan bij de donaumast.

De grenswaarde van 100 microtesla wordt voor beide masttypen bereikt op een niet toegankelijke hoogte van ongeveer 10 meter boven maaiveld, in de directe nabijheid van de geleiders van de hoogspanningslijn. Op deze plek ontstaan de belangrijkste risico's niet door het magnetisch veld, maar door het sterke elektrische veld rond de geleiders.

1 INLEIDING

1.1 Vraagstelling

Het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat heeft aan DNV gevraagd om berekeningen te maken van het magnetisch veld van twee typen 380 kilovolt (kV) hoogspanningslijnen en deze toe te lichten.¹ Het gaat om lijnen met donaumasten en met moldaumasten. Bij een *donaumast* liggen de geleiders naast en onder elkaar op twee horizontale armen. De bovenste arm draagt één geleider en de onderste arm twee. Dit type mast wordt in Nederland zeer veel gebruikt. Bij een *moldaumast* liggen de geleiders onder elkaar op drie horizontale armen. Elke arm draagt één geleider. Dit is een nieuw type mast. Netbeheerder TenneT past dit masttype sinds 2025 toe.²

In opdracht van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat heeft DNV voor beide masttypen een voorbeeld uitgewerkt. Daarbij is:

- de magneetveldzone berekend
- bepaald hoe de magnetische veldsterkte verandert als de afstand tot de hoogspanningslijn groter wordt
- berekend waar de grenswaarde van 100 microtesla wordt bereikt.

De hier gebruikte technische begrippen worden verderop in dit rapport uitgelegd.

1.2 Doel van het rapport

Het doel van dit rapport is om medeoverheden (gemeenten en provincies), uitvoeringsorganisaties van de overheid (zoals GGD'en en Omgevingsdiensten), en omgevingspartijen te informeren over magnetische velden bij hoogspanningsprojecten. Met omgevingspartijen worden hierbij semi-professionele partijen, zoals belangengroepen en, waar nodig, omwonenden bedoeld.

Het rapport legt uit wat magnetische velden zijn en welke factoren hun sterkte beïnvloeden. Dit gebeurt aan de hand van een algemene voorbeeldberekening. Daarnaast wordt het voorzorgbeleid voor magnetische velden toegelicht en wordt uitgelegd wat dit beleid betekent voor omwonenden. Tot slot laat het rapport met grafieken zien hoe sterk de velden zijn in verschillende situaties. Het gaat om bestaande hoogspanningslijnen met donaumasten (met en zonder fasenoptimalisatie) en om nieuw te bouwen hoogspanningslijnen met moldaumasten.

1.3 Korte achtergrond: magnetische velden en voorzorgbeleid

Als er stroom door een stroomdraad gaat, ontstaat een magnetisch veld. Dit gebeurt altijd. Hoe meer stroom, hoe sterker het magnetisch veld. Als er geen stroom is, is er ook geen magnetisch veld. Ook elektrische apparaten in huis, zoals een stofzuiger, een magnetron of een wasmachine, maken magnetische velden als je ze gebruikt.

Sterke magnetische velden kunnen bij mensen biologische effecten of zelfs gezondheidseffecten veroorzaken. Biologische effecten zijn effecten die verder niet schadelijk zijn. Voorbeelden zijn tintelingen voelen of lichtflitsen zien. Gezondheidseffecten zijn effecten op de gezondheid, die vaak wél schadelijk zijn. Bijvoorbeeld als het hart wordt verstoord door de magnetische velden. Magnetische velden mogen daarom niet te sterk zijn.

Om mensen te beschermen tegen te sterke magnetische velden zijn er *grenswaarden*. Deze zijn gebaseerd op wetenschappelijk onderzoek. In de openbare ruimte geldt een grenswaarde van 100 microtesla voor magnetische velden, bijvoorbeeld van hoogspanningslijnen en elektrische installaties.³ Deze waarde geldt ook voor apparatuur in huis. De waarde van 100 microtesla is geen wettelijke grens, maar een *advies* voor veilige blootstelling. In Europa wordt ernaar gestreefd om onder deze waarde te blijven.

¹ Als de spanning van een hoogspanningslijn 380 kilovolt (380 kV) is, betekent dat 380.000 volt. Een *kilovolt* is duizend volt.

² Zie: <https://www.tennet.eu/nl/nieuws/tennet-kiest-nieuwe-standaard-hoogspanningsmast>.

³ De sterkte van een magnetisch veld wordt weergegeven in de eenheid tesla (T). Een *microtesla* is één-miljoenste tesla. Zie hoofdstuk 2.

Wetenschappelijk onderzoek laat zien dat mensen die dicht bij hoogspanningslijnen wonen *misschien* meer kans hebben op leukemie. Of dit door de magnetische velden komt is niet bekend. Het kan ook een andere oorzaak hebben of toeval zijn. Wonen in de buurt van een hoogspanningslijn is veilig. Eventuele gezondheidsrisico's zijn laag en onzeker. Toch neemt de overheid dit serieus.

Daarom is er vanuit de overheid een voorzorgbeleid. De overheid zegt eigenlijk: we weten het niet zeker, dus laten we voorzichtig zijn. Bij de bouw of aanpassing van het elektriciteitsnet nemen netbeheerders technische maatregelen om het magnetisch veld kleiner te maken. Deze maatregelen worden *bronmaatregelen* genoemd. Daarnaast zijn er *afstandsmaatregelen*. Bij nieuwe hoogspanningslijnen probeert men te voorkomen dat woningen, scholen, kinderdagverblijven en verpleeghuizen (deze plekken noemt men *gevoelige gebouwen*) in de zone liggen waar de jaargemiddelde magnetische veldsterkte hoger kan zijn dan 0,4 microtesla. Dat gebied heet de *magneetveldzone*.

1.4 Wat komt er in dit rapport aan bod?

In dit rapport leest u over de volgende onderwerpen:

- **Hoofdstuk 2** legt uit hoe het elektriciteitsnetwerk eruit ziet. Verder beschrijft het wat elektromagnetische velden zijn en wat deze velden met het menselijk lichaam doen. Ook gaat het over Europese grenswaarden voor veilige blootstelling en over het Nederlandse voorzorgbeleid.
- **Hoofdstuk 3** beschrijft dat het hoogspanningsnet van netbeheerder TenneT vol raakt, door meer stroomgebruik en door de energietransitie. Daarom moet het hoogspanningsnet worden versterkt of uitgebreid. Om te zorgen dat de magnetische velden niet te sterk worden, gebruikt TenneT een techniek die fasenoptimalisatie heet. Dit is een voorbeeld van een bronmaatregel.
- **Hoofdstuk 4** legt uit hoe DNV de berekeningen heeft gedaan en laat de resultaten zien voor beide masttypen.
- **Hoofdstuk 5** geeft een korte conclusie van de belangrijkste punten uit dit rapport.

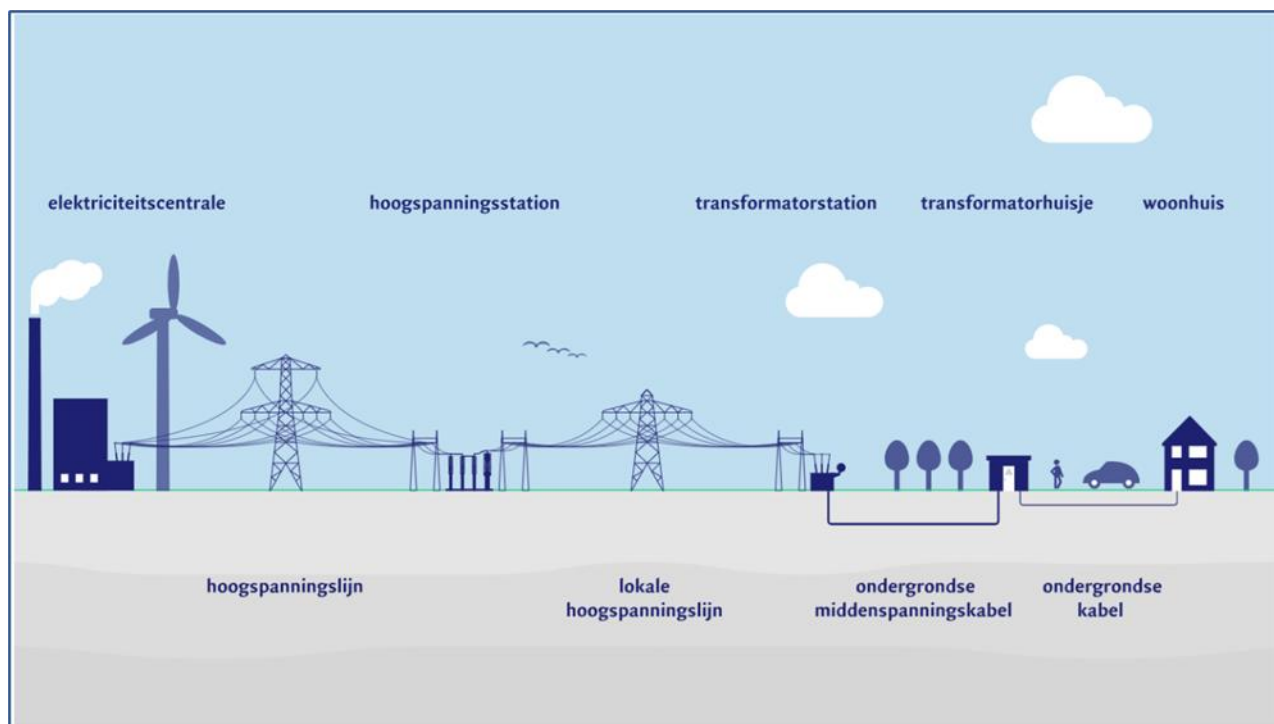
Dit rapport is op verzoek van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat zoveel mogelijk geschreven op taalniveau B1, zodat het voor een brede doelgroep goed leesbaar en begrijpelijk is.

In deze herziene editie zijn, anders dan in de eerste editie, de magneetveldberekeningen uitgevoerd op basis van een gestandaardiseerde referentiesituatie. Hiermee wordt een betere vergelijkbaarheid bereikt met de magneetveldzones zoals die in andere studies en in communicatie van overheden en netbeheerders worden toegepast.

2 ELEKTROMAGNETISCHE VELDEN VAN HET ELEKTRICITEITSNETWERK

2.1 Het elektriciteitsnetwerk

Elektriciteit ('stroom') is belangrijk in het dagelijks leven. Het zorgt ervoor dat lampen branden en apparaten werken. Maar hoe komt stroom van de plek waar het wordt opgewekt naar onze bedrijven en woningen? Daarvoor is een groot netwerk nodig. Dit *elektriciteitsnetwerk* zorgt dat elektriciteit veilig en betrouwbaar wordt vervoerd. Het elektriciteitsnetwerk is afgebeeld in Figuur 1.



Figuur 1 Het elektriciteitsnetwerk: de route van elektriciteitscentrale naar woonhuis

Elektriciteit wordt opgewekt in bijvoorbeeld elektriciteitscentrales, met zonnepanelen en met windmolens. Daarna wordt de stroom door heel Nederland vervoerd met hoogspanningskabels, boven of onder de grond. TenneT beheert dit deel van het netwerk, dat ook wel *hoogspanningsnet* wordt genoemd. TenneT is de landelijke netbeheerder. Kabels die boven de grond aan hoogspanningsmasten hangen, worden *hoogspanningslijnen* of gewoon *lijnen* genoemd. De draden waar stroom doorheen gaat worden ook wel *geleiders* genoemd. Deze geleiders staan onder hoge spanning (tussen 110 en 380 kilovolt).

In hoogspanningsstations worden deze hoge spanningen met transformatoren verlaagd naar middenspanningen van bijvoorbeeld 50, 20 of 10 kilovolt. Vanuit die hoogspanningsstations wordt de elektriciteit met ondergrondse kabels getransporteerd naar transformatorhuisjes in woonwijken. Transformatoren in die huisjes zetten de spanning om naar een laagspanning van 400 en 230 volt. Dat is de spanning die apparaten in huis gebruiken. Dit deel van het elektriciteitsnetwerk, ook wel *distributienet* genoemd, wordt beheerd door regionale netbeheerders, zoals Enexis, Liander en Stedin.

Vanaf het transformatorhuisje loopt een ondergrondse kabel naar elke woning. De kabel komt de woning binnen in de meterkast waar een elektriciteitsmeter het totale elektriciteitsverbruik meet. Na de meterkast lopen elektriciteitskabels door de muren en plafonds naar alle stopcontacten, schakelaars en lichtpunten in de woning.

Alle onderdelen van het elektriciteitsnetwerk wekken elektromagnetische velden op.

2.2 Wat is een elektromagnetisch veld?

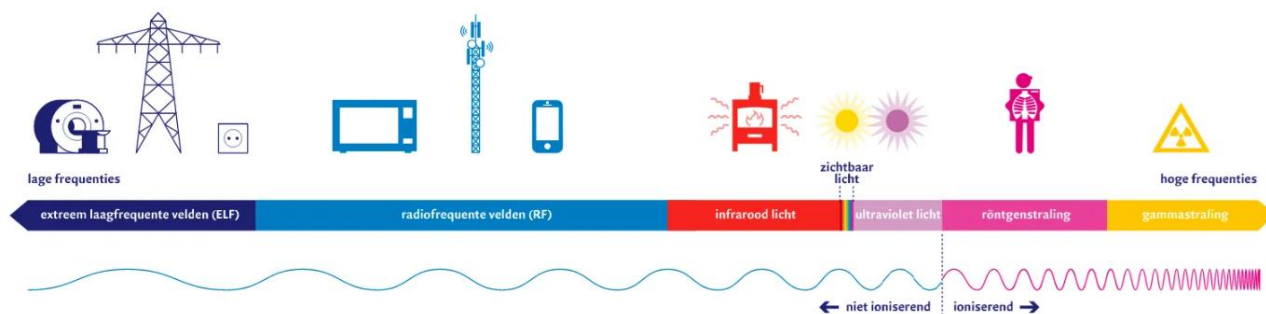
Een elektromagnetisch veld is een onzichtbare vorm van energie die ontstaat zodra er ergens een elektrische lading aanwezig is. Overal om ons heen zijn zulke velden. Sommige velden komen van nature voor, zoals het magnetisch veld van de aarde, het elektrisch veld van bliksem, en de kleine schokjes die je voelt bij het uittrekken van een wollen trui. Er zijn ook elektromagnetische velden die door mensen worden gemaakt. Soms gebeurt dat expres, bijvoorbeeld bij het versturen van informatie via 5G of wifi. Soms ontstaan de velden vanzelf, bijvoorbeeld bij het opwekken en vervoeren van elektriciteit, of als elektrische apparaten worden gebruikt. De velden ontstaan dan door de stroom.

Alles wat een elektromagnetisch veld maakt, noemen we een *bron*. Voorbeelden van zulke bronnen zijn hoogspanningskabels, elektromotoren, mobiele telefoons en radarapparaten. Ook de elektrische apparaten in huis zijn bronnen van elektromagnetische velden.

Elektromagnetische velden bewegen als golven, net als geluidsgolven of golven in het water. Het aantal golven per seconde noemt men de *frequentie*. Frequentie wordt gemeten in hertz (afgekort: Hz). Eén hertz betekent: één golf per seconde. Een voorbeeld: het elektromagnetische veld van het elektriciteitsnet (zoals thuis) heeft een frequentie van 50 hertz. Dat betekent: 50 golfbewegingen per seconde.

De frequentie kan heel laag of juist heel hoog zijn. In het algemeen geldt dat velden met een hogere frequentie energierijker zijn dan velden met een lagere frequentie. Alle elektromagnetische velden met lage en hoge frequenties samen vormen het *elektromagnetisch spectrum*. Het elektromagnetisch spectrum bestaat kort gezegd uit (zie Figuur 2):

- statische velden (van magneten en van het aardmagnetisch veld)
- extreem-laagfrequente velden (die ontstaan bij het gebruik van elektriciteit)
- radiofrequente velden (dit zijn velden van mobiele telefoons, wifi-routers en zenders)
- licht (niet alleen zichtbaar licht, maar ook infrarood en ultraviolet licht)
- ioniserende straling.



Figuur 2 Het elektromagnetisch spectrum

In het normale spraakgebruik worden alle hierboven genoemde elektromagnetische velden soms *straling* genoemd. Dit klopt eigenlijk niet. Met straling wordt door wetenschappers alleen *ioniserende* straling bedoeld. Dat zijn velden met heel hoge frequenties, zoals röntgenstraling of gammastraling. Ioniserende straling bevat zoveel energie dat deze het DNA van lichaamscellen kan beschadigen. Dit kan schadelijk zijn.

De velden waar het in de energievoorziening om gaat kunnen dit niet. Dit geldt ook voor de velden van mobiele telefoons en wifi-routers. Deze vormen van elektromagnetische velden worden daarom *niet-ioniserend* genoemd. Elektromagnetische velden van hoogspanning hebben ook *niets* te maken met radioactiviteit of radioactieve straling. *Het is dus niet zo* dat voorwerpen, zoals dingen die buiten staan en die je kunt vastpakken, radioactief kunnen worden in de buurt van hoogspanningslijnen, hoogspanningskabels of hoogspanningsstations. Een hoogspanningslijn veroorzaakt dus wel een elektromagnetisch veld, maar geen straling zoals bij röntgen- of gammastraling.

Bij lage frequenties, zoals de frequentie van het elektriciteitsnet (50 hertz), bestaat het elektromagnetisch veld uit twee delen: een *elektrisch veld* en een *magnetisch veld*. Een elektrisch veld ontstaat als er een elektrische spanning is, bijvoorbeeld bij een apparaat dat in het stopcontact zit. Een magnetisch veld ontstaat als er stroom gaat lopen. Dat gebeurt als een elektrisch apparaat wordt aangezet. Het elektrisch veld en het magnetisch veld samen wordt elektromagnetisch veld of elektromagnetische golf genoemd. Bij hogere frequenties, zoals voor mobiele telefonie, gedragen het elektrisch veld en een magnetisch veld zich meer als één geheel: een elektromagnetische golf waarin elektrische en magnetische velden onlosmakelijk met elkaar verbonden zijn.

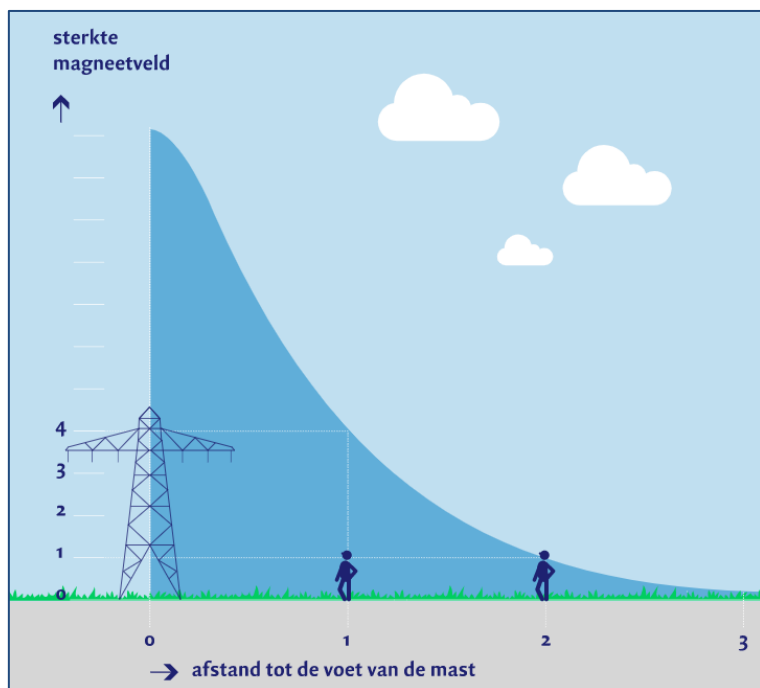
Een elektromagnetisch veld heeft een bepaalde sterkte: de *veldsterkte*. De sterkte van het elektrisch veld wordt uitgedrukt in volt per meter (V/m), die van het magnetisch veld in ampère per meter (A/m). Voor het magnetisch veld gebruiken we echter meestal de eenheid tesla (T) of microtesla (μT), genoemd naar de Kroatische natuurkundige en uitvinder Nikola Tesla. Velden gemeten in A/m en in T (of μT) zijn in elkaar om te rekenen.

Een voorbeeld van een bron van magnetische velden is een hoogspanningslijn. Hoe sterk het magnetische veld op een bepaalde plek is, hangt af van de stroomsterkte door de lijn en van de afstand tot de lijn. Twee handige regels zijn:

- als de stroomsterkte in de lijn verdubbelt, wordt ook het magnetisch veld twee keer zo sterk
- als je twee keer zo ver van de lijn gaat staan, wordt het magnetisch veld vier keer zwakker.

De magnetische veldsterkte neemt dus snel af als de afstand tot de hoogspanningslijn groter wordt. Dit geldt algemeen, dus ook voor ondergrondse kabels en voor apparatuur in huis: hoe groter de afstand, hoe lager het magnetisch veld.

Figuur 3 laat een illustratief voorbeeld zien van hoe het magnetische veld snel zwakker wordt als de afstand tot een hoogspanningslijn groter wordt.



Figuur 3 Als je twee keer zo ver van de lijn gaat staan, wordt het magnetisch veld vier keer zwakker

Recht onder een hoogspanningslijn is het magnetisch veld maximaal 10 microtesla. Dit is veel lager dan de grenzen waarbij biologische effecten of gezondheidseffecten kunnen optreden (zie hoofdstuk 2.3). Het magnetisch veld hangt af van de stroomsterkte die op dat moment door de geleiders gaat. Het magnetisch veld is ook afhankelijk van het type hoogspanningsmast. Dit zullen we zien in hoofdstuk 4. Het masttype bepaalt hoe de geleiders hangen: hoe hoog boven de grond en hoe ver uit elkaar. Dat heeft invloed op hoe sterk het veld is op de plek waar je staat.

2.3 Wat doen elektromagnetische velden met ons lichaam?

Elektromagnetische velden met een lage frequentie, zoals 50 hertz van elektriciteit in huis, kunnen kleine elektrische stroompjes in het menselijk lichaam opwekken. Het lichaam gebruikt zelf ook kleine stroompjes, bijvoorbeeld om spieren en zenuwen te laten werken. Als deze stroompjes sterk genoeg zijn, kunnen ze zenuwen of spieren prikkelen. Je kunt dan tintelingen voelen, pijn krijgen, spierschokken hebben of lichtflitsen zien. Dit zijn tijdelijke reacties in je lichaam. Als je dit wel merkt, maar het geen schade aan je lichaam geeft, noemen we dat een *biologisch effect*. Bij nog sterkere elektromagnetische velden kan ook het hart worden beïnvloed. Dat kan wel gevaarlijk zijn. Zoiets noemen we een *gezondheidseffect*.

Elektromagnetische velden met een frequentie vanaf 100.000 hertz worden radiofrequente velden genoemd. Deze velden komen bijvoorbeeld van radio- en televisiezenders, mobiele telefoons en wifi-routers. Radiofrequente velden kunnen het menselijk lichaam een beetje opwarmen. Dat lijkt op hoe je met een magnetron voedsel verwarmt. Een kleine opwarming is niet erg. Het lichaam kan de warmte goed afvoeren, net zoals wanneer je in de zon zit. Dit is een *biologisch effect*. Als het lichaam te warm wordt en het de warmte niet goed kwijt kan, kan dat wel gevaarlijk zijn. Je kunt dan last krijgen van hittestress of schade aan weefsels en organen. Dit is een *gezondheidseffect*.

Om mensen te beschermen tegen mogelijke effecten van elektromagnetische velden, zijn er grenswaarden. Deze geven aan wanneer een elektromagnetisch veld veilig is. Ze zijn gebaseerd op wetenschappelijk onderzoek. ICNIRP, een internationale organisatie van wetenschappers op het gebied van elektromagnetische velden, heeft in 1998 in een onderzoek bepaald wat veilige *grenswaarden* zijn.⁴ Bij 50 hertz zijn deze waarden:⁵

- voor het magnetisch veld: 100 microtesla
- voor het elektrisch veld: 5 kilovolt per meter.

Deze grenswaarden gelden voor korte blootstelling, bijvoorbeeld enkele seconden of minuten. In de grenswaarden zit een extra veiligheidsmarge, voor het geval er onzekerheden zijn in het onderzoek.

Zolang de veldsterkte onder deze grenswaarden blijft, zijn er geen biologische effecten of gezondheidseffecten te verwachten. De Europese Unie (EU) heeft deze waarden in 1999 overgenomen in een advies.⁶ Nederland volgt dit advies. Het is dus geen wet, maar wel een aanbeveling die wordt gebruikt. Deze grenswaarden gelden op plekken waar mensen gewoon mogen komen, zoals op straat, in speeltuinen of in openbare gebouwen. De elektromagnetische velden van het elektriciteitsnet zijn op plekken waar mensen mogen komen lager dan de grenswaarden.

Meestal zijn elektromagnetische velden zo zwak dat je er niets van merkt. Maar bij heel sterke velden kunnen er wel effecten optreden in het lichaam. Biologische effecten kunnen bij velden van 50 hertz optreden vanaf 1000 microtesla (voor het magnetisch veld) en vanaf 10 kilovolt per meter (voor het elektrisch veld). Gezondheidseffecten kunnen bij velden van 50 hertz optreden vanaf 6000 microtesla (voor het magnetisch veld) en vanaf 20 kilovolt per meter (voor het elektrisch veld). De hier genoemde waarden worden *actieniveaus* genoemd voor plaatsen waar mensen werken. Deze actieniveaus zijn vermeld in een richtlijn van de EU en overgenomen in de Nederlandse Arbowetgeving.⁷

De meeste mensen komen in het dagelijks leven niet in de buurt van zulke sterke velden. Alleen mensen die in bijvoorbeeld elektriciteitscentrales, in hoogspanningsstations of in de industrie werken, kunnen eraan worden blootgesteld. Voor hen gelden duidelijke regels om veilig te werken. Mensen die op zulke plekken komen, krijgen ook altijd eerst een veiligheidsinstructie.

⁴ ICNIRP heeft alle grenswaarden in 1998 opgenomen in een artikel in het Engelstalige tijdschrift *Health Physics*. Dit artikel is te vinden op: <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdl.pdf>.

⁵ Deze grenswaarden hangen altijd af van de frequentie: voor andere frequenties dan 50 hertz gelden andere waarden.

⁶ Dit advies, met nummer 1999/519/EG, is te vinden op <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:31999H0519>.

⁷ Deze richtlijn, met nummer 2013/35/EU, is te vinden op: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013L0035>.

2.4 Waarom is er voorzorgbeleid?

Statistisch onderzoek laat zien dat mensen die lang in de buurt van hoogspanningslijnen wonen mogelijk vaker leukemie krijgen. Eerst leek dit alleen bij kinderen voor te komen. Er is geen wetenschappelijk (bijvoorbeeld biologisch) bewijs dat de magnetische velden van deze hoogspanningslijnen leukemie veroorzaken. Toch neemt de overheid dit serieus.

In Nederland geldt daarom sinds 2005 een voorzorgbeleid voor magnetische velden van hoogspanning. In het begin was dit beleid alleen gericht op bovengrondse hoogspanningslijnen. Het doel was om zoveel mogelijk te voorkomen dat kinderen langere tijd kunnen verblijven in een gebied waar het magnetisch veld jaargemiddeld hoger kan zijn dan 0,4 microtesla (de magneetveldzone). Het gaat om plekken waar kinderen vaak en lang zijn, zoals woningen, scholen en kinderdagverblijven. Bij bovengrondse hoogspanningslijnen wordt daarom de magneetveldzone in beeld gebracht.

De Gezondheidsraad adviseerde in 2018 om het voorzorgbeleid ook te laten gelden voor ondergrondse elektriciteitskabels en andere bronnen van magnetische velden uit het elektriciteitsnet.⁸ In 2022 gaf de Gezondheidsraad aan dat leukemie mogelijk ook vaker voorkomt bij volwassenen die dicht bij hoogspanningslijnen wonen.⁹ Daarom is het Nederlandse voorzorgbeleid in 2023 aangepast. Met de netbeheerders is afgesproken dat zij bij de bouw van nieuwe onderdelen van het elektriciteitsnet bronmaatregelen nemen. Het doel van deze maatregelen is dat het magnetisch veld minder sterk wordt. Deze afspraak tussen de netbeheerders en de overheid staat in een convenant, dat is een soort overeenkomst.¹⁰ Verder geldt het beleid nu ook voor volwassenen. Ook verpleeghuizen zijn nu 'gevoelige gebouwen'.

Wetenschappers hebben niet kunnen aantonen dat leukemie wordt veroorzaakt door het magnetisch veld van hoogspanningslijnen. Leukemie kan ook ontstaan door andere dingen die te maken hebben met hoogspanningslijnen. In onderzoeken worden bijvoorbeeld metaaldeeltjes genoemd die van de kabels kunnen loskomen, verfdeltjes van de masten of bestrijdingsmiddelen die worden gebruikt om planten onder de lijnen weg te houden. Misschien spelen meerdere oorzaken mee, of gaat het om toeval. Er zijn ook andere mogelijke oorzaken voor het ontstaan van leukemie. Voorbeelden zijn luchtvervuiling, roken door ouders en het gebruik van pesticiden in de woonomgeving.

Het RIVM heeft in 2025 opnieuw een schatting gemaakt hoeveel kinderen in Nederland elk jaar leukemie kunnen krijgen doordat ze dicht bij hoogspanningslijnen wonen. De vorige schatting was uit 2003. De nieuwe schatting is dat elk jaar tussen 0 en maximaal 0,5 kinderen leukemie kunnen krijgen door de aanwezigheid van een bovengrondse hoogspanningslijn. De schatting voor het maximale aantal kinderen is hetzelfde gebleven als in 2003 (0,5). De schatting van het minimale aantal kinderen is kleiner geworden: deze gaat van 0,4 naar 0. Dit komt omdat nieuwe onderzoeken laten zien dat de kans op leukemie bij kinderen die bij hoogspanningslijnen wonen kleiner is geworden. Het is ook mogelijk dat magneetvelden bij hoogspanningslijnen geen leukemie veroorzaken. Voor deze berekening gebruikte het RIVM de nieuwste kennis uit internationale onderzoeken. Het RIVM heeft ook precies berekend hoe breed de zones met magneetvelden zijn en hoeveel kinderen daar wonen.¹¹

Er is in het wetenschappelijk onderzoek geen verband gevonden tussen wonen bij hoogspanningslijnen en andere ziekten, zoals ALS, de ziekte van Parkinson, de ziekte van Alzheimer of problemen met zwangerschap. Alleen voor leukemie bestaat een vermoeden voor een verband.

Wonen in de buurt van een hoogspanningslijn is daarom veilig. Eventuele gezondheidsrisico's zijn laag en onzeker. Toch probeert de overheid met het voorzorgbeleid, zo veel als redelijkerwijs mogelijk is, te voorkomen dat mensen langdurig worden blootgesteld aan magnetische velden.

⁸ Dit advies van de Gezondheidsraad is te vinden op: <https://www.gezondheidsraad.nl/documenten/2018/04/18/hoogspanningslijnen-en-gezondheid-deel-i-kanker-bij-kinderen>.

⁹ Dit advies van de Gezondheidsraad is te vinden op: <https://www.gezondheidsraad.nl/adviesonderwerpen/straling/hoogspanningslijnen-en-gezondheid-kanker-bij-volwassenen>.

¹⁰ Deze afspraken tussen de overheid en de netbeheerders zijn te vinden op: <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stort-2023-20395.html>.

¹¹ Dit rapport van het RIVM is te vinden op: <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2024-0196.pdf>.

Daarom worden bronmaatregelen genomen bij de bouw van nieuwe hoogspanningslijnen, hoogspanningskabels en transformatorhuisjes en wordt bij hoogspanningslijnen extra afstand gehouden tot woningen. De magneetveldzone bepaalt die extra afstand. Het lijkt of met het berekenen van een magneetveldzone in beeld gebracht wordt waar het veilig is om te verblijven en waar niet. Dat klopt niet. Ook binnen de magneetveldzone kunnen mensen veilig wonen en ook buiten de magneetveldzone lopen mensen risico op leukemie. De 0,4 microtesla is geen gezondheidkundige grenswaarde, maar een richtwaarde uit voorzorg, een beleidskeuze.

Het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat is verantwoordelijk voor dit voorzorgbeleid. Het voorzorgbeleid is geen wet. Het is een advies van de overheid, bijvoorbeeld voor gemeenten en de netbeheerders.¹² In vergelijking met andere Europese landen is Nederland voorzichtiger met magnetische velden van hoogspanning.¹³

2.5 Inhoud van het voorzorgbeleid voor magnetische velden

Het Nederlandse voorzorgbeleid bestaat uit twee soorten maatregelen:

- *bronmaatregelen*, bijvoorbeeld bij nieuw te bouwen onderdelen van het elektriciteitsnetwerk
- *afstandsmaatregelen* bij bovengrondse hoogspanningslijnen.

Nu wordt kort ingegaan op beide soorten maatregelen.

Bronmaatregelen

Bij het bouwen van nieuwe onderdelen van het elektriciteitsnetwerk moeten sinds 2023 *bronmaatregelen* worden genomen. Bronmaatregelen zijn maatregelen die het magnetisch veld *bij de bron* verminderen. De netbeheerders zijn hiervoor verantwoordelijk. Zij moeten deze maatregelen ook nemen wanneer zij bestaande onderdelen van het elektriciteitsnet aanpassen, bijvoorbeeld bij verzwaringen of groot onderhoud.

Het heel dicht bij elkaar leggen van stroomkabels is een voorbeeld van een bronmaatregel. Hierdoor heffen de magnetische velden van de kabels elkaar voor een deel op. Dit gebeurt bijvoorbeeld in transformatorhuisjes. Ook bij bovengrondse hoogspanningslijnen moeten, als dat mogelijk is, bronmaatregelen worden genomen. Een voorbeeld van een bronmaatregel bij bovengrondse hoogspanningslijnen is *fasenoptimalisatie* (zie hoofdstuk 3.2).

Bronmaatregelen moeten wel *proportioneel* zijn: dit betekent dat men alleen maatregelen neemt die passen bij het probleem: je doet iets als het magneetveld duidelijk kleiner kan worden zonder dat het extreem duur of ingewikkeld is.

Afstandsmaatregelen

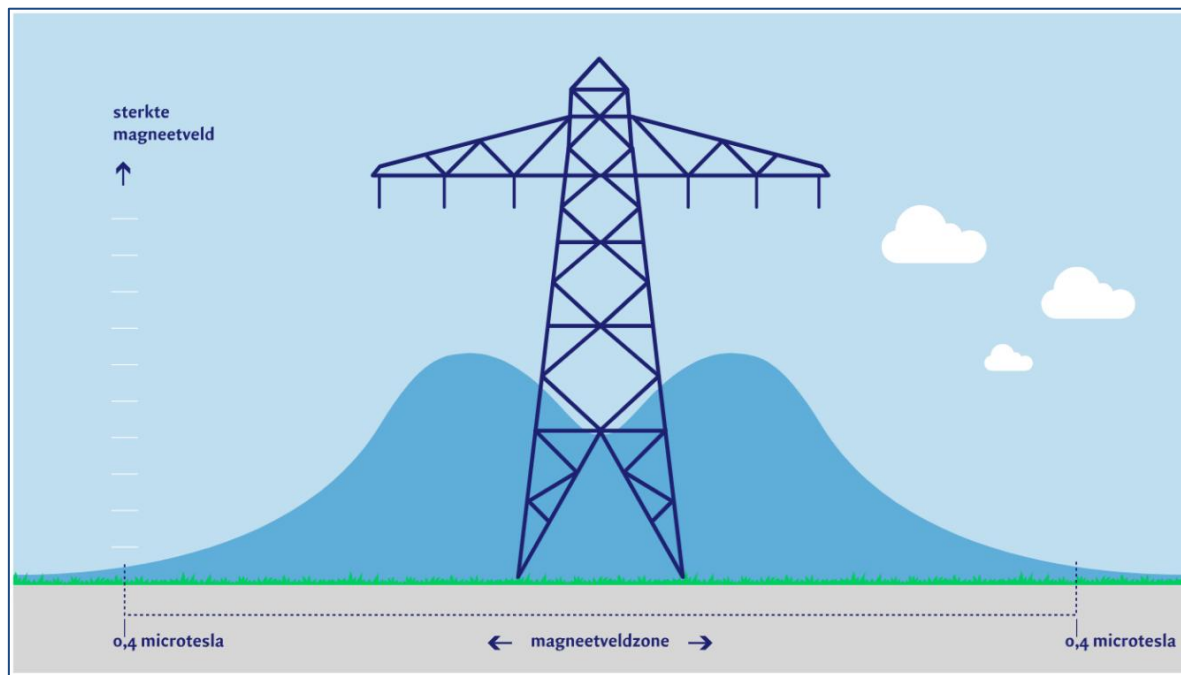
Als er een nieuwe hoogspanningslijn wordt gebouwd, probeert men te zorgen dat er zo weinig mogelijk gevoelige gebouwen in de zone liggen waar de jaargemiddelde magnetische veldsterkte hoger kan zijn dan 0,4 microtesla. Gevoelige gebouwen zijn woningen, scholen, kinderdagverblijven en sinds het nieuwe voorzorgbeleid uit 2023 ook verpleeghuizen. Dit werkt ook andersom: bij de bouw van nieuwe gevoelige gebouwen wordt gekeken of het haalbaar is om deze buiten de zone van 0,4 microtesla te plaatsen. De grenswaarde van 0,4 microtesla is vastgesteld door de overheid.

Het advies om, als het kan, afstand te houden geldt alleen voor bovengrondse hoogspanningslijnen en voor nieuwe situaties. Met nieuwe situaties worden de bouw van een nieuwe hoogspanningslijn of een nieuw gevoelig gebouw bedoeld. Bij nieuwe hoogspanningslijnen kunnen maatregelen bij de bron worden genomen. Ook kan bij de keuze van de locatie worden geprobeerd om zo weinig mogelijk gevoelige gebouwen in de magneetveldzone te laten liggen. Bij een bestaande lijn kunnen nieuwe gevoelige gebouwen meestal op voldoende afstand worden geplaatst. Bij bestaande gevoelige gebouwen onder of dicht bij een bestaande hoogspanningslijn verandert er niets.

¹² Het nieuwe voorzorgbeleid wordt toegelicht in een brief van de overheid. Deze brief is te vinden op: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/brieven/2023/04/21/informatiebrief-voorzorgbeleid-voor-magneetvelden-bij-elektriciteitsvoorzieningen>.

¹³ Het RIVM heeft een vergelijking gemaakt van het beleid in diverse landen. Zie: <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2017-0118.pdf>.

De zone waar de magnetische veldsterkte gemiddeld per jaar hoger dan 0,4 microtesla kan zijn, heet de *magneetveldzone* (zie Figuur 4). Aan beide kanten van de hoogspanningslijn wordt gekeken tot welke afstand het magnetisch veld hoger kan zijn dan 0,4 microtesla. Als de grens van 0,4 microtesla aan beide kanten op 100 meter ligt, dan loopt de magneetveldzone van 100 meter aan de ene kant tot 100 meter aan de andere kant van de hoogspanningslijn. De magneetveldzone is dan 200 meter breed (we zeggen meestal: 2x100 meter).



Figuur 4 De magneetveldzone is de zone waar de magnetische veldsterkte gemiddeld over een jaar hoger kan zijn dan 0,4 microtesla

De magneetveldzone wordt voor elk deel van een hoogspanningslijn apart berekend (zie par. 4.1). De zone is afhankelijk van factoren zoals de stroomsterkte, het masttype, de masthoogte en indirect ook van de spanning. De magneetveldzone wordt altijd bepaald op het punt waar de geleiders van de hoogspanningslijn het laagst boven maaiveld hangen, omdat daar het magnetisch veld op de grond het sterkst is.

Het RIVM heeft een speciale methode ontwikkeld om de magneetveldzone te berekenen. Deze methode wordt uitgelegd in een handleiding van het RIVM, door het RIVM 'Handreiking' genoemd.¹⁴ Omdat de berekeningen vrij ingewikkeld zijn, worden ze uitgevoerd door gespecialiseerde en onafhankelijke adviesbureaus.

¹⁴ Deze Handreiking is te vinden op: <https://www.rivm.nl/hoogspanningslijnen/handreiking>. De laatste versie is versie 5.0, van 21 april 2023.

3 MAGNETISCHE VELDEN EN DE ENERGIETRANSITIE

3.1 Files op het hoogspanningsnet

In Nederland beheert TenneT het landelijke hoogspanningsnet. Op land gaat het om verbindingen met een spanning van 110 tot 380 kilovolt. Deze verbindingen transporteren elektriciteit over grote afstanden en vormen zo de belangrijkste delen van het elektriciteitsnet. Een groot deel van deze verbindingen ligt bovengronds. Deze verbindingen noemen we hoogspanningslijnen. Ze hangen aan grote stalen masten die je goed in het landschap kunt zien. Aan de masten zitten de draden, ook wel geleiders genoemd, die de elektriciteit transporteren.

In grote delen van Nederland kunnen de hoogspanningslijnen nu, of in de nabije toekomst, niet genoeg stroom vervoeren. We zeggen dan dat het hoogspanningsnet 'vol' is. Het is alsof een snelweg te smal wordt voor al het verkeer, waardoor er vertragingen en files ontstaan. Dit komt doordat we in Nederland steeds meer elektriciteit gebruiken, vooral door de energietransitie. De energietransitie is de overgang van het gebruik van fossiele brandstoffen (zoals olie, gas en kolen) naar duurzame energiebronnen zoals zon en wind. Het hoogspanningsnet moet daarom *opgewaardeerd* of *uitgebreid* worden.

Bij een *uitbreiding* wordt een volledig nieuwe hoogspanningslijn gebouwd. Bij een *opwaardering* worden de draden (geleiders) van een bestaande hoogspanningslijn vervangen door nieuwe geleiders waar meer stroom doorheen kan. De spanning van zo'n verbinding blijft dan wel hetzelfde en ook de hoogspanningsmasten blijven meestal staan. Er wordt dus geen nieuw tracé aangelegd. Doordat er meer stroom door de geleiders kan, wordt wel het vermogen van de verbinding hoger. Verder worden verschillende andere werkzaamheden aan de hoogspanningslijn uitgevoerd. Bijvoorbeeld: het vernieuwen van kabelbevestigingen en bliksemdraden, het vervangen van onderdelen van de masten en het verstevigen van de masten. Een voorbeeld van een verbinding die naar een hoger vermogen opgewaardeerd wordt, is die tussen Krimpen aan den IJssel, Breukelen-Kortrijk en Diemen. Volgens de planning zijn deze werkzaamheden in 2028 afgerond. Een ander voorbeeld is de verbinding tussen Dodewaard en Doetinchem, waarvan de werkzaamheden volgens de planning in 2030 klaar zijn. Een andere verbinding, die tussen Ens en Zwolle, is kort geleden opgewaardeerd.¹⁵

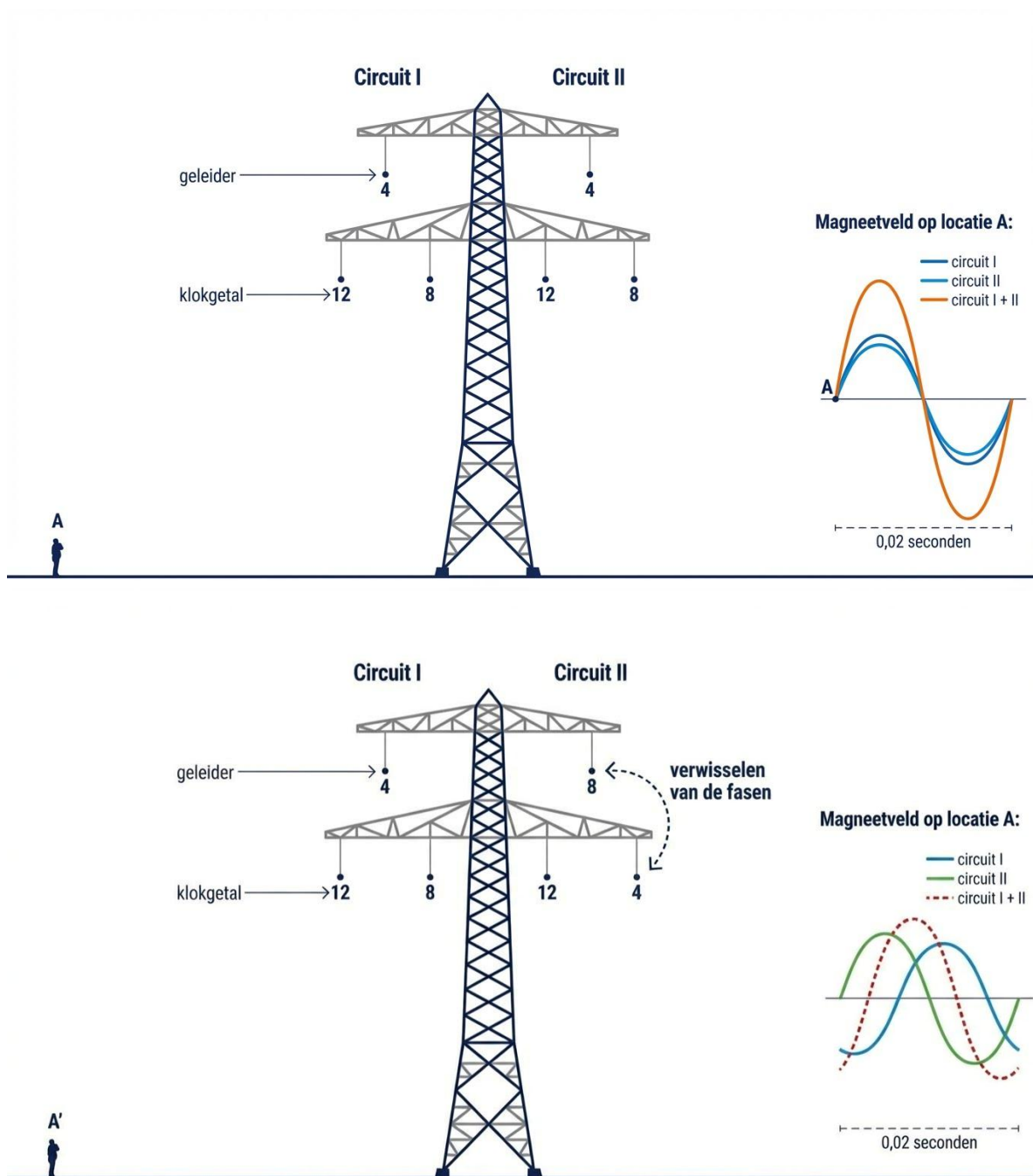
Bij uitbreidingen en opwaarderingen neemt TenneT bronmaatregelen, technische aanpassingen die ervoor zorgen dat de magnetische velden van de elektriciteitsvoorziening kleiner worden. Een voorbeeld hiervan is *fasenoptimalisatie*.

3.2 Bronmaatregel: fasenoptimalisatie

Als er meer stroom door een hoogspanningslijn gaat, wordt normaal gesproken de magneetveldzone breder. Soms kan dit voorkomen worden. Omdat bij een opwaardering ook nieuwe geleiders worden geplaatst, kan er met een technische oplossing voor gezorgd worden dat de magneetveldzone zo smal mogelijk blijft. Deze bronmaatregel heet fasenoptimalisatie. Hoe werkt dat?

De meeste hoogspanningsverbindingen bestaan uit twee *circuits*, één links en één rechts in een hoogspanningsmast. Een circuit bestaat altijd uit drie geleiders op dezelfde spanning. Elke geleider heeft verder een andere fase, zijn eigen 'timing'. Dit wordt ook wel het *klokgetal* genoemd. Zie Figuur 5, hierin zijn de klokgetallen aangegeven met de cijfers 4, 8 en 12. Elke geleider wekt een magnetisch veld op. Om de magneetveldzone van de hoogspanningslijn te bepalen moet je de magnetische velden van alle geleiders van de twee circuits bij elkaar optellen. Hoe kleiner de optelsom, hoe smaller de magneetveldzone. Gebleken is dat als je in twee circuits de fases met dezelfde klokgetallen naast elkaar in de mast hangt, de optelsom van de magnetische velden het grootst is. Wanneer je echter de volgorde van de klokgetallen in de verschillende circuits wisselt, pas je de 'timing' van het magnetisch veld aan en wordt de optelsom van de magnetische velden kleiner.

¹⁵ Meer informatie hierover is te vinden op de website van TenneT. Zie <https://www.tennet.eu/nl> onder 'Projecten'.



Figuur 5 Afbeelding boven: fases met dezelfde klokgetallen naast elkaar. Afbeelding onder: klokgetallen in de circuits zijn gewisseld

Een eenvoudige manier om fasenoptimalisatie te begrijpen is door te denken aan golfjes in een vijver. Wanneer meerdere bronnen (zoals zwemmende eenden) tegelijk golven maken, kunnen die golven elkaar versterken of juist uitvlakken, afhankelijk van hun onderlinge timing. Als de eenden samen bewegen (bijvoorbeeld allemaal tegelijk omhoog en omlaag), versterken de golfjes elkaar en krijg je grote golven. Als de eenden tegen elkaar in bewegen (de ene omhoog, de andere omlaag), vlakken de golfjes elkaar deels uit en blijft het water veel rustiger. Zo gedragen magnetische velden rondom hoogspanningslijnen zich ook: door fasenoptimalisatie wordt de stroom zo afgestemd dat de magnetische velden elkaar zo veel mogelijk opheffen. Dit leidt tot een lagere totale veldsterkte en een smallere magneetveldzone.

Het principe van fasenoptimalisatie lijkt ook wel een beetje op het principe van antigeluid, dat gebruikt wordt in noise-cancelling koptelefoons. Om bromtonen of omgevingsgeluid weg te filteren, maakt zo'n koptelefoon een geluidsgolf die tegengesteld is aan de bromtoon. Geluid is immers ook een golfverschijnsel. De originele bromtoon-golf en de antigeluid-bromtoon heffen elkaar deels op, waardoor het gebrom vermindert.

Fasenoptimalisatie kan worden toegepast bij alle typen masten. Veel masten in Nederland zijn van het donau-type. Bij opwaarderingsprojecten met donaumasten zal deze bronmaatregel daarom veel worden toegepast. Na fasenoptimalisatie hangen de geleiders in de ideale volgorde, waardoor deze maatregel niet opnieuw nodig of mogelijk is.

Vanaf 2025 gebruikt TenneT bij nieuwe lijnen de moldaumast. Dit is een nieuw type mast. Bij de moldaumast hangen de geleiders boven elkaar op drie armen. Doordat de geleiders dicht bij elkaar hangen, heffen de magnetische velden elkaar beter op en is de magneetveldzone al vaak smaller dan bij een donaumast. Ook bij een moldaumast kan fasenoptimalisatie als bronmaatregel worden gebruikt.¹⁶

¹⁶ Voor wie geïnteresseerd is in de verschillende typen hoogspanningsmasten, biedt de website <https://www.hoogspanningsnet.com/lijn/mast/> veel informatie. Deze website bevat veel foto's van masten en wordt beheerd door 'hoogspannings-hobbyisten'.

4 VELDBEREKENINGEN AAN HOOGSPANNINGSLIJNEN

4.1 Gegevens van de berekeningen

DNV heeft in een voorbeeldsituatie berekend hoe sterk de magnetische velden zijn bij twee typen 380 kV-hoogspanningslijnen: lijnen met donaumasten en met moldaumasten. In Figuur 6 worden beide soorten masten getoond.



Figuur 6 Op de linker afbeelding zijn donaumasten te zien, op de rechter een moldaumast

We berekenen de magneetveldzone van een hoogspanningslijn altijd per segment. Een segment is het stuk van de lijn tussen twee masten. De magneetveldzone kan per segment iets verschillen. Voor dit rapport hebben we één segment als voorbeeld berekend. Zo zie je hoe breed de magneetveldzone ongeveer is. Dit segment lijkt op de rest van de lijn, maar de uitkomst geldt niet precies voor alle andere delen.

Voor dit stuk van de lijn heeft DNV voor beide masttypen:

- de magneetveldzone berekend
- bepaald hoe de magnetische veldsterkte verandert als de afstand tot de hoogspanningslijn groter wordt
- berekend waar de grenswaarde van 100 microtesla wordt bereikt.

Voor beide masttypen rekenen we met een recht stuk 380 kV-hoogspanningslijn.

DNV gebruikt bij het berekenen van magneetveldzones altijd de Handreiking van het RIVM (zie hoofdstuk 2.4). Deze legt uit hoe de breedte van de zone berekend moet worden en welke technische informatie nodig is. Deze technische informatie staat in een database die door TenneT beschikbaar is gesteld. De berekening gebeurt met speciale software die aan de eisen van de Handreiking voldoet.¹⁷ De software laat ook zien hoe de veldsterkte verandert als je verder van de lijn af staat. De sterkte van het veld wordt steeds berekend op 1 meter boven de grond.

Voor een goede berekening van de magneetveldzone zijn verschillende gegevens nodig. Het gaat vooral om:

- het aantal circuits: één circuit bestaat uit drie geleiders die samen elektriciteit vervoeren
- de spanning: dit is het aantal kilovolt (kV)
- hoe zwaar de lijn kan worden belast: dit is de stroom in ampère (A) waarvoor de lijn ontworpen is
- het vermogen: dit geeft aan hoeveel elektriciteit de lijn kan vervoeren, gemeten in megavoltampère (MVA)
- de manier waarop de mast is gebouwd: de hoogte, hoe de geleiders hangen en de afstand ertussen
- de richting van de stroom: welke kant de elektriciteit op gaat
- de verdeling van de stroom: er wordt aangenomen dat de stroom gelijk is verdeeld over de geleiders.

¹⁷ De gebruikte software is het pakket EFC-400 van Narda (zie: <https://www.narda-sts.com/en/wideband-emf/efc-400-software>).

De breedte van de magneetveldzone hangt vooral af van hoeveel stroom er door de geleiders gaat. Die stroom verandert steeds, omdat dit afhangt van hoeveel elektriciteit mensen gebruiken en hoeveel wordt opgewekt, bijvoorbeeld door windmolens of zonnepanelen. Hoe meer stroom er loopt, hoe sterker het magnetisch veld. Als de stroom twee keer zo hoog wordt, wordt het magnetisch veld ook ongeveer twee keer zo sterk.

In Nederland kijkt men bij het voorzorgbeleid naar de gemiddelde stroom over een heel jaar. Dat is de hoeveelheid stroom die een hoogspanningslijn gemiddeld transporteert. Volgens de RIVM-handreiking wordt bij een 380 kV-lijn altijd aangenomen dat de gemiddelde stroom 30% is van de maximale stroom die de lijn aankan. Deze aanname is gebaseerd op de gemiddelde belasting van 380 kV-lijnen over een jaar. Deze schatting is voorzichtig: in de praktijk is de jaar-gemiddelde stroom vaak lager dan 30%.

Met de methode van het RIVM wordt eigenlijk een model van de werkelijkheid gemaakt, een simpele voorstelling van de echte situatie. Voor de berekening van de magneetveldzone worden sommige dingen vereenvoudigd, zodat het makkelijker is om de zone te berekenen. Door deze vereenvoudigingen laat de berekening niet zien hoe sterk het magnetisch veld op een bepaalde plek en tijd is. Het laat wel zien hoe de magneetveldzone gemiddeld over een jaar is, zoals afgesproken in het voorzorgbeleid van de Rijksoverheid.

Ten slotte is steeds berekend waar de grenswaarde van 100 microtesla ligt. Deze waarde wordt bij hoogspanningslijnen nooit vlak boven de grond bereikt, maar alleen dicht bij de geleiders van de hoogspanningslijn, dus hoog boven de grond. Maar let op: als je heel dicht bij de geleiders van een hoogspanningslijn komt, ontstaan de belangrijkste risico's niet door het magnetisch veld, maar door het sterke elektrische veld rond de geleiders.

Op de grond onder een hoogspanningslijn merken de meeste mensen niets. Dicht bij de geleiders, bijvoorbeeld wanneer je op hoogte werkt, kan het elektrisch veld echter zeer sterk worden. Als je te dichtbij komt, kunnen kleine elektrische stroompjes door je lichaam lopen. Dat kan voelen als een prikkelend of kriebelend gevoel op de huid, en soms gaan haren een beetje overeind staan. Dat is meestal niet direct schadelijk, maar wel een waarschuwing dat je te dicht bij de geleiders komt.

Binnen enkele meters van de geleiders kan zogenoemde *overslag* optreden. Daarbij springt elektriciteit door de lucht van de geleider naar een voorwerp of persoon in de buurt, zonder direct contact. Normaal gesproken werkt lucht als isolator, maar bij zeer hoge spanning kan die isolerende werking verdwijnen. Er ontstaat dan een vonk of vlamboog, vergelijkbaar met een kleine bliksemontlading. Zo'n overslag kan een levensgevaarlijke stroom door het lichaam veroorzaken. Je hoeft de geleider dus niet aan te raken om een ernstige of dodelijke elektrische schok te krijgen. Daarom gelden er strikte veiligheidsafstanden rond hoogspanningslijnen, vooral bij werkzaamheden met ladders, hoogwerkers, kranen of andere hoge objecten.

4.2 Resultaat van de berekeningen – donaumasten

Eerst is een berekening gedaan voor een recht stuk 380 kV-hoogspanningslijn met donaumasten. Er is gekeken naar twee situaties: de huidige situatie en de toekomstige situatie. In de huidige situatie is de lijn nog niet opgewaardeerd naar een hoger vermogen en is er ook geen fasenoptimalisatie toegepast. In de toekomstige situatie is de lijn wel opgewaardeerd. Daarin zijn twee varianten bekeken: één zonder en één met fasenoptimalisatie. In totaal zijn er dus drie situaties berekend. De gegevens voor deze drie situaties staan in Tabel 1.

Tabel 1 Gegevens van de voorbeeldberekening voor een donaumast

Voorbeeldberekening met donaumast				
Berekening	Circuits	Spanning	Stroom	Vermogen
1. Donaumast – huidige situatie	2	380 kV	2800 A	1860 MVA
2. Donaumast – opgewaardeerd zonder fasenoptimalisatie	2	380 kV	4000 A	2633 MVA
3. Donaumast – opgewaardeerd met fasenoptimalisatie	2	380 kV	4000 A	2633 MVA

Hierna worden de resultaten weergegeven. Deze gaan over:

- de berekening van de magneetveldzone
- hoe de magnetische veldsterkte verandert als de afstand tot de hoogspanningslijn groter wordt
- waar de grenswaarde van 100 microtesla wordt bereikt.

4.2.1 De berekening van de magneetveldzone

De 380 kV-hoogspanningslijn met donaumasten, waarvoor de magneetveldzone is berekend, bestaat uit twee circuits. Dat betekent dat er twee driefasesystemen zijn toegepast. Voor de huidige situatie is de ontwerpstroom 2800 A per circuit. Dit is in de praktijk de meest gebruikte waarde. De rekenstroom is dan 840 A (30% van 2800 A). Voor de opgewaardeerde situatie is de ontwerpstroom 4000 A per circuit, ook een normale waarde. De rekenstroom is dan 1200 A (30% van 4000 A). De opgewaardeerde situatie is berekend zonder en met fasenoptimalisatie. In de doorgerekende gestandaardiseerde referentiesituatie is de afstand tussen twee masten 400 meter. De *doorhang*, dit is het hoogteverschil tussen het ophangpunt aan de mast en het laagste punt van de geleider halverwege twee masten, is 11,4 meter.

In Tabel 2 staan per situatie de berekende magneetveldzones vermeld. De berekende afstanden zijn afgerond naar het dichtstbijzijnde getal dat een veelvoud is van 5 meter. Dit gebeurt bij alle berekeningen volgens de RIVM-handreiking.

Tabel 2 Berekening van de magneetveldzones per situatie voor een donaumast

Voorbeeldberekening met donaumast		
Berekening	Links (afgerond)	Rechts (afgerond)
1. Donaumast – huidige situatie	105 meter	105 meter
2. Donaumast – opgewaardeerd zonder fasenoptimalisatie	125 meter	125 meter
3. Donaumast – opgewaardeerd met fasenoptimalisatie	90 meter	90 meter

Uit de berekeningen blijkt dus dat de magneetveldzone smaller wordt als de hoogspanningslijn opgewaardeerd wordt én tegelijkertijd de bronmaatregel fasenoptimalisatie wordt toegepast.

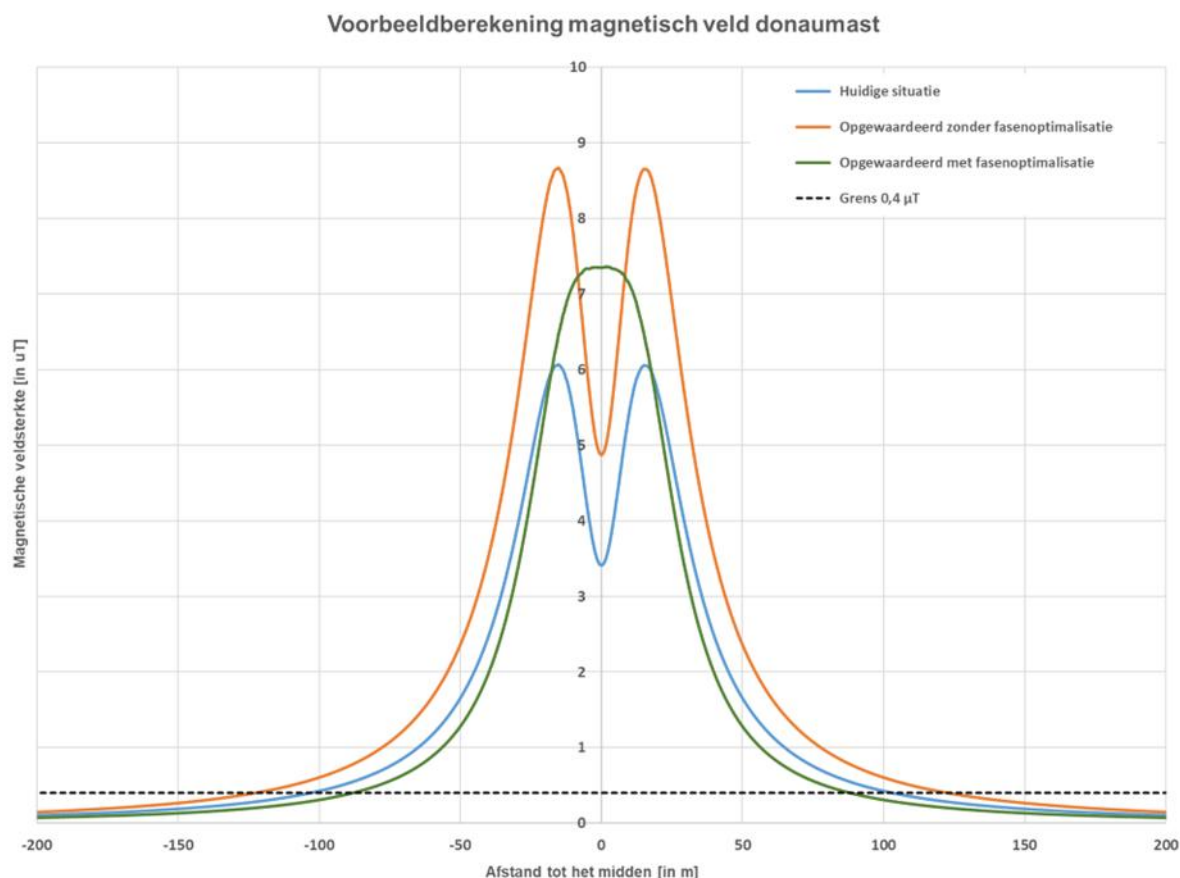
4.2.2 Invloed van de afstand op de veldsterkte

Figuur 7 laat de magnetische veldsterkte zien bij een donaumast, voor de drie situaties. Op de horizontale as staat de afstand tot de mast. Het midden van de hoogspanningsmast is het nulpunt. De veldsterkte is berekend voor afstanden tot 200 meter aan beide kanten van de mast. Op de verticale as staat de magnetische veldsterkte.

De blauwe lijn in de grafiek laat de huidige situatie zien. De maximale veldsterkte is ongeveer 6,1 microtesla en wordt bereikt links en rechts van het midden van de mast, recht onder de geleiders. In het midden van de mast is de veldsterkte ongeveer 3,4 microtesla.

De oranje lijn laat de situatie zien waarin de lijn is opgewaardeerd, maar zonder fasenoptimalisatie. Door de hogere stroom is de veldsterkte hoger dan bij de blauwe lijn. De maximale veldsterkte is ongeveer 8,7 microtesla, en in het midden van de mast ongeveer 4,9 microtesla.

De groene lijn laat de situatie zien waarin de lijn is opgewaardeerd en waarbij fasenoptimalisatie is toegepast. Hoewel de stroom hoger is dan in de huidige situatie, is de veldsterkte lager dan bij de blauwe lijn. De maximale veldsterkte is ongeveer 7,4 microtesla, in het midden tussen de geleiders. Bij deze situatie is de magneetveldzone het smalst.



Figuur 7 De invloed van afstand op de magnetische veldsterkte voor een donaumast

4.2.3 De grenswaarde van 100 microtesla

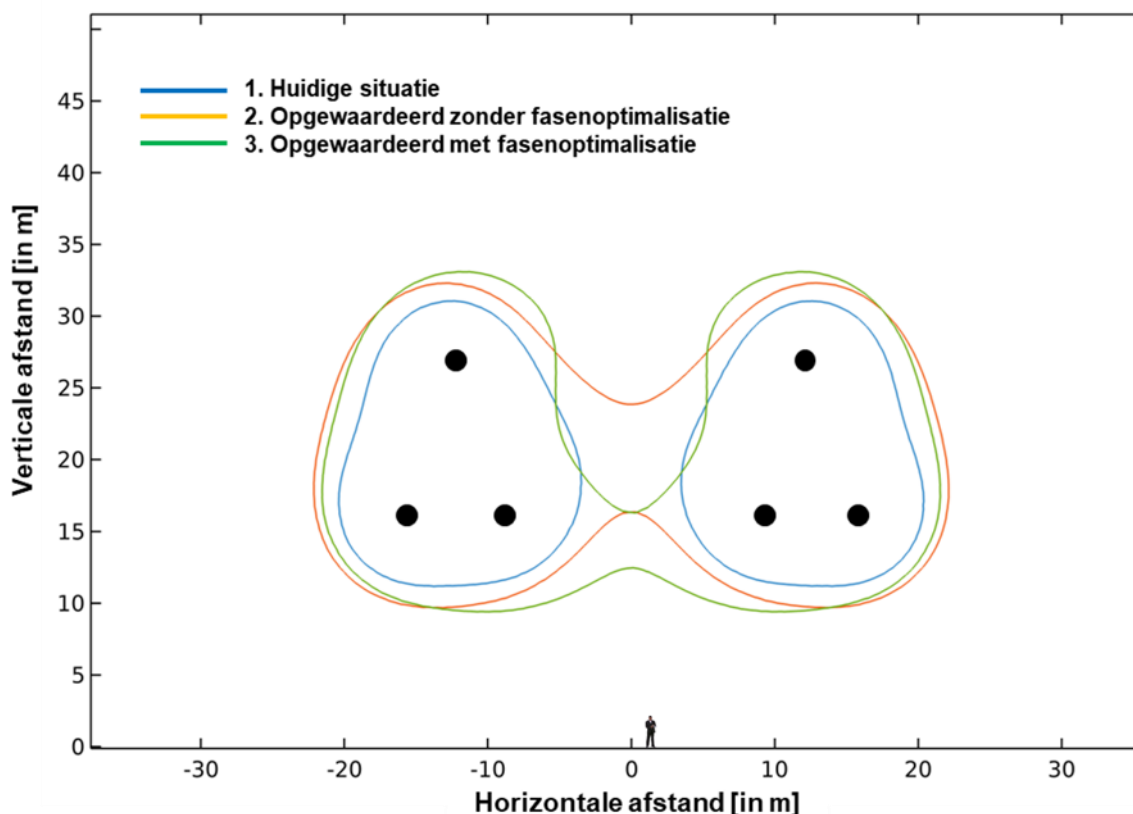
DNV heeft voor de drie situaties berekend waar de grenswaarde van 100 microtesla wordt bereikt bij een donaumast. Deze waarde is de grens waaronder geen biologische of gezondheidseffecten te verwachten zijn. De grenswaarde staat in een advies van de EU, met nummer 1999/519/EG (zie ook hoofdstuk 2.3).

Om te berekenen waar de grenswaarde van 100 microtesla wordt bereikt, gebruiken we niet de jaargemiddelde stroom. Dat doen we wel bij de berekening van de magneetveldzone. Hier gebruiken we de hoogste stroom die kan voorkomen. Dat is de ontwerpstroom. In de huidige situatie is dat 2800 A, in de opgewaardeerde situatie is dat 4000 A (zie ook Tabel 1). De resultaten van de berekening staan in Tabel 3. De tabel laat zien binnen welke afstand van de geleiders de magnetische veldsterkte hoger is dan 100 microtesla. Ook staat erin op welke hoogte boven de grond deze waarde wordt bereikt.

Tabel 3 Berekening op welke afstand de grenswaarde van 100 μ T wordt bereikt

Voorbeeldberekening met donaumast		
Berekening	Afstand van geleider	Hoogte boven maaiveld
1. Donaumast – huidige situatie	4,5 meter	11,2 meter
2. Donaumast – opgewaardeerd zonder fasenoptimalisatie	5,0 meter	9,7 meter
3. Donaumast – opgewaardeerd met fasenoptimalisatie	5,5 meter	9,4 meter

In Figuur 8 is het resultaat grafisch weergegeven. Onder in de tekening is een mens geplaatst om te laten zien hoe hoog de geleiders hangen. De geleiders zijn weergegeven met een zwarte stip. Rond de geleiders tonen curves waarbinnen de magnetische veldsterkte hoger is dan 100 microtesla. Dit gebied is bij de huidige situatie kleiner dan bij de opgewaardeerde situatie. Dat komt omdat de stroom bij de opgewaardeerde situatie hoger is, waardoor het magnetisch veld sterker is. De grenswaarde van 100 μT wordt steeds bereikt op ongeveer 10 meter hoogte boven het maaiveld. Dit is bij het laagste punt van de geleider, ongeveer in het midden tussen twee masten.



Figuur 8 Grafische weergave waar bij een donaumast de grenswaarde van 100 μT wordt bereikt

4.3 Resultaat van de berekeningen – moldaumasten

Een berekening zoals voor een hoogspanningslijn met donaumasten is ook gedaan voor een lijn met moldaumasten. Bij dit nieuwe masttype wordt altijd direct fasenoptimalisatie toegepast. Daarom is er geen situatie berekend zonder fasenoptimalisatie. Ook is niet berekend hoe sterk de magnetische velden zijn bij een stroom van 2800 A, zoals bij de donaumast. Die situatie komt namelijk niet voor. Er is dus één situatie berekend. De gegevens hiervan staan in Tabel 4.

Tabel 4 Gegevens van de voorbeeldberekening voor een moldaumast

Voorbeeldberekening met moldaumast				
Berekening	Circuits	Spanning	Stroom	Vermogen
4. Moldaumast – nieuwe situatie met fasenoptimalisatie	2	380 kV	4000 A	2633 MVA

Hierna worden de resultaten weergegeven van:

- de berekening van de magneetveldzone
- hoe de magnetische veldsterkte verandert als de afstand tot de hoogspanningslijn groter wordt
- waar de grenswaarde van 100 microtesla wordt bereikt.

4.3.1 De berekening van de magneetveldzone

De 380 kV-hoogspanningslijn met moldaumasten, waarvoor de magneetveldzone is berekend, bestaat uit twee circuits. Dat betekent dat twee driefasesystemen zijn toegepast. De ontwerpstroom is 4000 A per circuit. De rekenstroom is dan 1200 A (30% van 4000 A). Ook bij deze berekening is de afstand tussen twee masten 400 meter en is de doorhang 11,4 meter. In Tabel 5 staat de berekende magneetveldzone vermeld. De berekende afstanden zijn weer afgerond naar het dichtstbijzijnde getal dat een veelvoud is van 5 meter.

Tabel 5 Berekening van de magneetveldzone voor een moldaumast

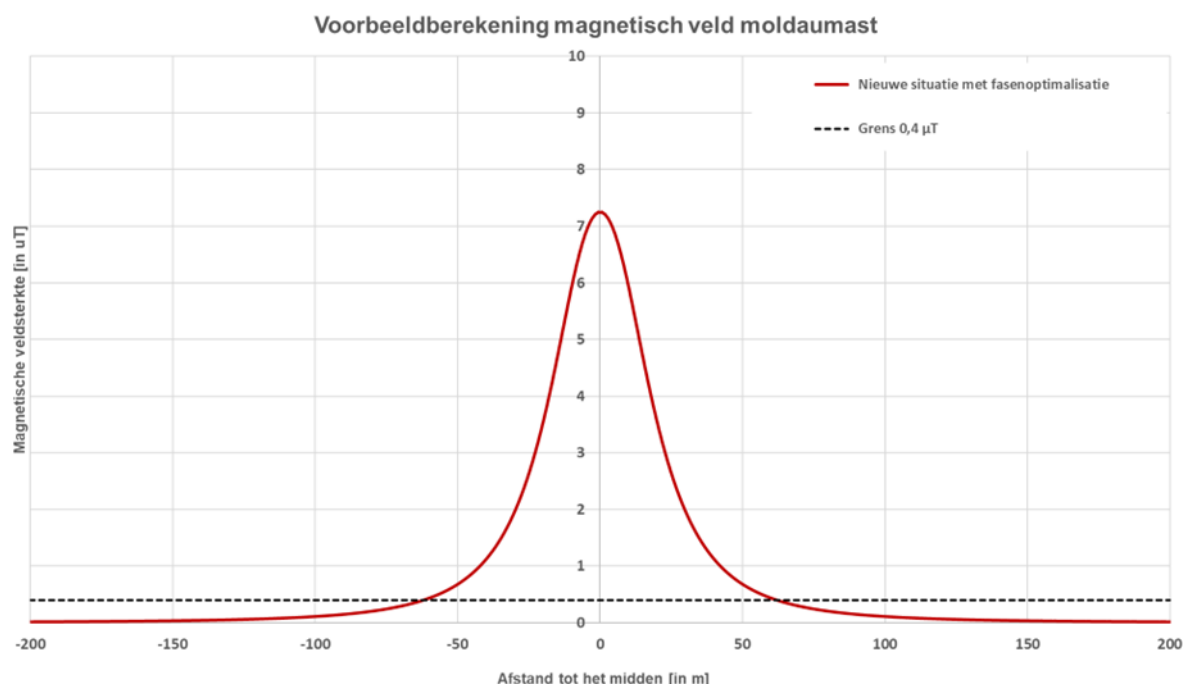
Voorbeeldberekening met moldaumast		
Berekening	Links (afgerond)	Rechts (afgerond)
4. Moldaumast – nieuwe situatie met fasenoptimalisatie	65 meter	65 meter

Met 2x65 meter is de magneetveldzone bij de moldaumast duidelijk smaller dan bij de donaumast, bij dezelfde elektrische belasting. Bij een donaumast is de magneetveldzone 2x90 meter.

4.3.2 Invloed van de afstand op de veldsterkte

Figuur 9 laat de magnetische veldsterkte zien bij een moldaumast, voor de nieuwe situatie met fasenoptimalisatie. Op de horizontale as staat de afstand tot de mast. Het midden van de hoogspanningsmast is het nulpunt. De veldsterkte is berekend tot 200 meter aan beide kanten van de mast. Op de verticale as staat de magnetische veldsterkte.

De maximale veldsterkte wordt bereikt onder het midden van de mast. De maximale veldsterkte is ongeveer 7,3 microtesla. De verticale as is hetzelfde als in Figuur 7, zodat de twee grafieken goed met elkaar vergeleken kunnen worden.



Figuur 9 De invloed van afstand tot het midden op de magnetische veldsterkte voor een moldaumast

4.3.3 De grenswaarde van 100 microtesla

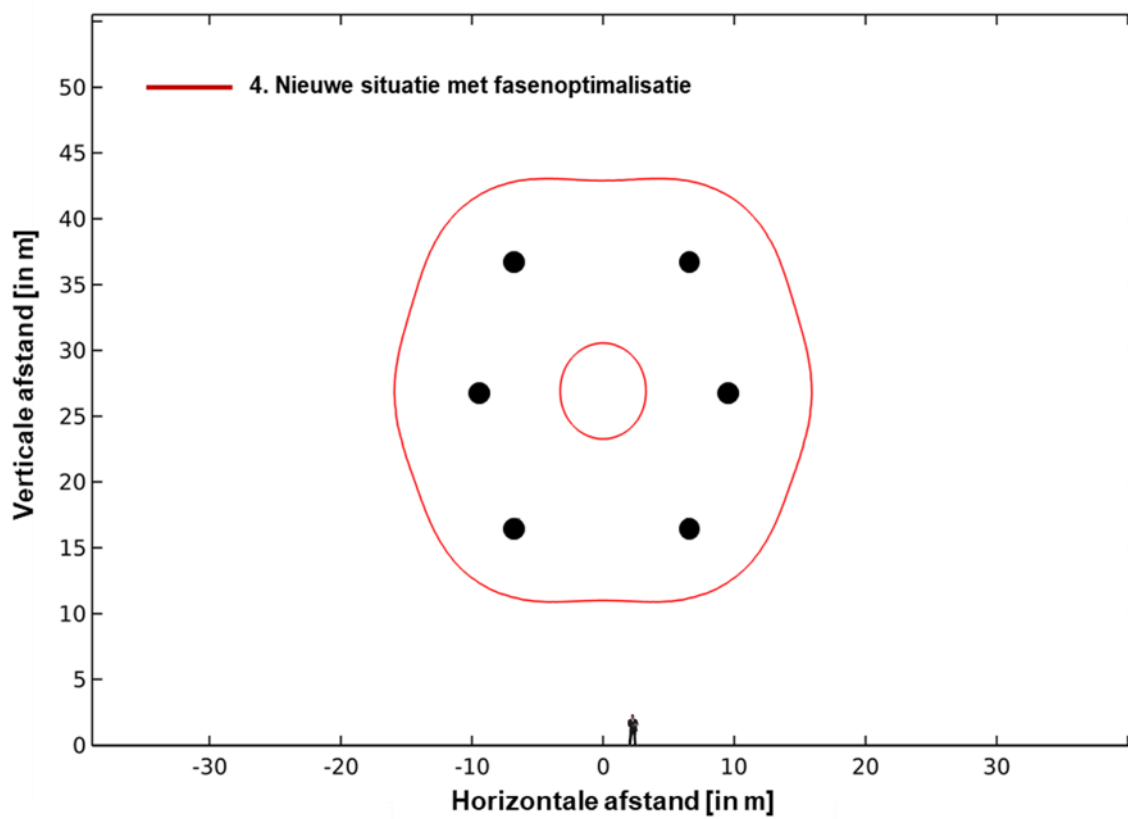
DNV heeft ook berekend waar bij een moldaumast de grenswaarde van 100 microtesla wordt bereikt. Deze waarde is de grens waaronder geen biologische of gezondheidseffecten te verwachten zijn. De grenswaarde staat in een advies van de EU, met nummer 1999/519/EG (zie ook hoofdstuk 2.3).

Om te berekenen waar de grenswaarde van 100 microtesla wordt bereikt, gebruiken we niet de jaargemiddelde stroom. Dat doen we wel bij de berekening van de magneetveldzone. Hier gebruiken we de hoogste stroom die kan voorkomen. Dat is de ontwerpstroom, hier 4000 A (zie ook Tabel 4). De resultaten staan in Tabel 6. De tabel laat zien binnen welke afstand van de geleiders de magnetische veldsterkte hoger is dan 100 microtesla. Ook staat erin op welke hoogte boven de grond deze waarde wordt bereikt.

Tabel 6 Berekening op welke afstand de grenswaarde van 100 μ T wordt bereikt

Voorbeeldberekening met moldaumast		
Berekening	Afstand van geleider	Hoogte boven maaiveld
4. Moldaumast – nieuwe situatie met fasenoptimalisatie	5,5 meter	10,9 meter

In Figuur 10 is het resultaat grafisch weergegeven. Onder in de tekening is een mens geplaatst om te laten zien hoe hoog de geleiders hangen. De geleiders zijn weergegeven met een zwarte stip. In de figuur zijn twee curves getekend. In het gebied binnen de buitenste curve en buiten de binnenste curve is de veldsterkte hoger dan 100 microtesla. De grenswaarde van 100 μ T wordt bereikt op meer dan 10 meter hoogte boven het maaiveld. Dit is bij het laagste punt van de geleider, ongeveer in het midden tussen twee masten.



Figuur 10 Grafische weergave waar bij een moldaumast de grenswaarde van 100 µT wordt bereikt

5 CONCLUSIE

DNV heeft berekend hoe sterk de magnetische velden zijn bij twee typen 380 kV-hoogspanningslijnen: lijnen met donaumasten en met moldaumasten. Hierbij is de werkwijze gehanteerd van de Handreiking van het RIVM. Hierin staat beschreven hoe deze berekeningen moeten worden gedaan. DNV heeft voor deze hoogspanningslijnen:

- de magneetveldzone berekend
- bepaald hoe de magnetische veldsterkte verandert als de afstand tot de hoogspanningslijn groter wordt
- berekend waar de grenswaarde van 100 microtesla wordt bereikt.

Het gaat om een voorbeeldberekening die globaal een indicatie geeft van de sterkte en omvang van de magnetische velden bij deze masttypen. De berekeningen zijn uitgevoerd op het punt waar de geleiders het laagst hangen, omdat daar het magneetveld op de grond het sterkst is.

Voor de donaumasten is gekeken naar een situatie waarbij de lijn nog niet is opgewaardeerd naar een hoger vermogen en een situatie waarbij dat wel is gebeurd. Opwaarderen wil zeggen dat er meer stroom door de hoogspanningslijn kan. TenneT, de beheerder van het hoogspanningsnet, doet dit omdat het hoogspanningsnet op sommige plaatsen te vol is. Het is dan alsof er files op het hoogspanningsnet zijn. Voor de opgewaardeerde lijn is er een situatie berekend zonder en met de bronmaatregel van *fasenoptimalisatie*.

Uit de berekeningen voor een lijn met donaumasten blijkt dat de magneetveldzone smaller wordt als de hoogspanningslijn opgewaardeerd wordt én tegelijkertijd fasenoptimalisatie wordt toegepast. In de niet-opgewaardeerde situatie is de magneetveldzone 210 meter breed (2x105 meter). In de opgewaardeerde situatie waarin ook fasenoptimalisatie is toegepast, is de magneetveldzone 180 meter breed (2x90 meter). Er kan dus meer stroom door de lijn, waardoor meer mensen kunnen worden aangesloten op het elektriciteitsnet, maar de magneetveldzone wordt juist smaller. Uit de berekeningen blijkt ook dat de magnetische veldsterkte snel zwakker wordt, als de afstand tot de hoogspanningsmast groter wordt.

Een zelfde berekening is ook gedaan voor een lijn met moldaumasten. Dit is een nieuw masttype en daarom wordt bij deze mast altijd direct fasenoptimalisatie toegepast. Er is daarom geen situatie berekend zonder fasenoptimalisatie. De magneetveldzone is voor dit masttype 130 meter breed (2x65 meter). Dit is duidelijk smaller dan bij de donaumast.

De grenswaarde van 100 microtesla wordt voor beide masttypen bereikt op een niet toegankelijke hoogte van ongeveer 10 meter boven maaiveld, in de directe nabijheid van de geleiders van de hoogspanningslijn. Op deze plek ontstaan de belangrijkste risico's niet door het magnetisch veld, maar door het sterke elektrische veld rond de geleiders.

VERANTWOORDING AFBEELDINGEN

Pagina	Bron
Voorpagina	Ruud Morijn, https://www.flickr.com/photos/10989519@N06/
4 (Figuur 1)	Kennisplatform EMV ^(*) . Zie: https://www.kennisplatform.nl/uit-welke-onderdelen-bestaat-het-elektriciteitsnetwerk/ .
5 (Figuur 2)	Kennisplatform EMV. Zie: https://www.kennisplatform.nl/welke-soorten-elektromagnetische-velden-zijn-er/ .
6 (Figuur 3)	Kennisplatform EMV. Zie: https://www.kennisplatform.nl/de-sterkte-van-elektromagnetische-velden/ .
10 (Figuur 4)	Kennisplatform EMV. Zie: https://www.kennisplatform.nl/hoe-sterk-zijn-magneetvelden-van-hoogspanningslijnen/ .
12 (Figuur 5)	DNV
14 (Figuur 6)	Links: Ruud Morijn, https://www.flickr.com/photos/10989519@N06/ ; rechts: TenneT
17 (Figuur 7)	DNV – gemaakt met MS Excel
18 (Figuur 8)	DNV – gemaakt met programma COMSOL Multiphysics
20 (Figuur 9)	DNV – gemaakt met MS Excel
21 (Figuur 10)	DNV – gemaakt met programma COMSOL Multiphysics

(*) DNV is één van de deelnemers aan het Kennisplatform Elektromagnetische velden (EMV)

Alle in dit rapport genoemde websites zijn voor het laatst geraadpleegd op dinsdag 16 juni 2026.



About DNV

DNV is the independent expert in risk management and assurance, operating in more than 100 countries. Through its broad experience and deep expertise DNV advances safety and sustainable performance, sets industry benchmarks, and inspires and invents solutions.

Whether assessing a new ship design, optimizing the performance of a wind farm, analyzing sensor data from a gas pipeline or certifying a food company's supply chain, DNV enables its customers and their stakeholders to make critical decisions with confidence.

Driven by its purpose, to safeguard life, property, and the environment, DNV helps tackle the challenges and global transformations facing its customers and the world today and is a trusted voice for many of the world's most successful and forward-thinking companies.