

RIVM rapport 861020014/2007

Achtergronden beleid bovengrondse hoogspanningslijnen

G. Kelfkens, Laboratorium voor Stralingsonderzoek
M.J.M. Pruppers, Laboratorium voor Stralingsonderzoek

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

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Directoraat-Generaal Milieubeheer, Directie Stoffen, Afvalstoffen en Straling, in het kader van project M/861020 'Beleidsondersteuning Straling' (BEST), kennisvraag 'Elektromagnetische velden'.

© RIVM 2007

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

Rapport in het kort

Achtergronden beleid bovengrondse hoogspanningslijnen

Magnetische velden afkomstig van bovengrondse hoogspanningslijnen mogen in nieuwe woningen, scholen en kinderdagverblijven niet sterker zijn dan 0,4 microtesla. De overheid adviseert daarom gemeenten, provincies en netbeheerders om rond die hoogspanningslijnen preventief een zone in te stellen die vrij blijft van dergelijke bebouwing. Dit geldt voor situaties waarin nieuwe woningen in de buurt van een bovengrondse hoogspanningslijn worden gebouwd of nieuwe hoogspanningslijnen die bij bestaande woonwijken worden gerealiseerd. Het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) heeft het ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM) ondersteund bij het ontwikkelen van dit beleid.

Het beleid is ontwikkeld omdat kinderen die in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen wonen mogelijk een hogere kans op leukemie hebben. Het magnetische veld zou daarvoor verantwoordelijk kunnen zijn, al is een oorzakelijk verband niet bewezen. Met het voorzorgsbeleid wil de overheid voorkomen dat het potentiële risico toeneemt.

De magneetveldzone rond de hoogspanningslijnen markeert een gebied waarin het magnetische veld, gemiddeld over een jaar genomen, sterker is dan 0,4 microtesla. De breedte van de zone wordt afgeleid uit de nominale stroom waarvoor de hoogspanningslijn is ontworpen. De keuze voor deze magneetveldzone sluit goed aan bij internationale epidemiologische onderzoeken.

Het RIVM heeft de overheid bijgestaan door de beleidsmakers van actuele wetenschappelijke kennis te voorzien. Daarnaast heeft het instituut hulpmiddelen ontwikkeld om het beleid naar de praktijk te kunnen vertalen. De twee belangrijkste hulpmiddelen zijn: een methode om de magneetveldzone te berekenen en een digitale kaart van de Nederlandse bovengrondse hoogspanningslijnen met bijbehorende magneetveldzones. Deze hulpmiddelen zijn te vinden op een website die het RIVM voor gemeenten, provincies en netbeheerders heeft ontwikkeld, www.rivm.nl/hoogspanningslijnen.

Trefwoorden: magnetische velden, hoogspanningslijnen, woningen, 0,4 microtesla, voorzorgsbeleid

Abstract

Background of the Dutch overhead power line policy

Magnetic fields due to overhead power lines in new dwellings, schools and daycare centres should not exceed 0.4 microtesla. The Dutch government advises municipalities, provinces and grid companies in achieving this standard by establishing, as preventive measure, zones that are kept free from these type of buildings. This applies to new developments in the vicinity of existing power lines and to new power lines being developed close to existing residential areas. RIVM supported the Ministry of Environment in developing this overhead power line policy.

The policy has been developed because children living near overhead power lines may run an increased leukaemia risk due to magnetic fields from the power lines, although a causal connection has not been proven. The goal of this precautionary policy is to prevent a future increase in this potential risk.

The magnetic field zone marks an area in the vicinity of the power lines where the magnetic field averaged over a year exceeds 0.4 microtesla. Its width is derived from the nominal current for which the power line has been designed. This choice for the magnetic field zone is in line with international epidemiological surveys.

RIVM supported the government in providing policy makers with the best available scientific knowledge and also developed tools for implementing the policy. A guideline for calculating the magnetic field zone and a digital map of the overhead power lines with the corresponding magnetic field zones form the two most important tools. These tools are available in Dutch via the website www.rivm.nl/hoogspanningslijnen, developed by RIVM for municipalities, provinces and grid companies.

Key words: magnetic fields, overhead power lines, dwellings, 0,4 microtesla, precautionary policy

Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	9
1.1 Achtergrond	9
1.2 Doelstelling	10
1.3 Leeswijzer	10
2 Magnetische veldsterkten en blootstellingsduur in epidemiologische onderzoeken	11
2.1 Inleiding	11
2.2 Epidemiologisch onderzoek	11
2.3 Veldsterktebepaling	11
2.3.1 Gemeten blootstelling	11
2.3.2 Berekende blootstelling	12
2.4 Blootstellingsduur	12
2.5 Onzekerheden	14
2.6 Conclusie	15
3 Grenswaarde magnetisch veld	17
3.1 Inleiding	17
3.2 Grenswaarden in epidemiologische onderzoeken	17
3.3 Beleidskeuze advieswaarde in Nederland	19
4 Belasting Nederlands hoogspanningsnet 2003	21
4.1 Inleiding	21
4.2 Levering belastinggegevens	23
4.2.1 Belastinggegevens 220 en 380 kV-lijnen	23
4.2.2 Belastinggegevens regionale netten	24
4.3 Ontwerpbelasting	25
4.4 Resultaten belastingfractie	26
4.5 Discussie en conclusies	33
4.5.1 220 en 380 kV	33
4.5.2 Regionale lijnen	33
5 Indicatieve en specifieke zone	35
5.1 Inleiding	35
5.2 Indicatieve zone	35
5.2.1 TenneT-lijnen	37
5.2.2 Spanningsniveau 150 kV en lager	38
5.2.3 Indicatieve zones in de Netkaart	38
5.3 Specifieke zone	38
6 Handreiking berekening specifieke zone	39
6.1 Inleiding	39
6.2 Stroom	39
6.2.1 Rekenstroom	39
6.2.2 Jaargemiddelde stroom versus jaargemiddelde zone	40
6.3 Ontwerpbelasting	40

6.4	Rekenmodellen	40
6.5	Aardgeleidingsweerstand	41
6.6	Lengte lijngedeelte	41
6.7	Kromming 0,4 microteslacontour	42
6.8	Symmetrie	44
6.9	Nauwkeurigheid zonebreedte	44
7	Website en Netkaart	45
7.1	Website	45
7.2	Netkaart	46
8	Afsluitende opmerkingen	49
	Afkortingen	51
	Verklarende woordenlijst	52
Bijlage 1	Uniformiteit belastinggegevens	53
Bijlage 2	Nominale en ontwerpbelasting	57
Bijlage 3	Reductiefactor	59
Bijlage 4	Handreiking	65
Bijlage 5	Verband zonebreedte en stroomsterkte	77
	Literatuur	79

Samenvatting

Uit internationaal epidemiologisch onderzoek volgt dat kinderen die in de buurt van een bovengrondse hoogspanningslijn wonen mogelijk een hogere kans op leukemie hebben. Het magnetische veld in de buurt van de hoogspanningslijn zou daarvoor verantwoordelijk kunnen zijn, al is een oorzakelijk verband niet bewezen. In 2005 heeft de overheid uit voorzorg beleid gemaakt om te voorkomen dat dit potentiële risico in de toekomst zal toenemen. Dit beleidsadvies is op 3 oktober 2005 naar gemeenten, provincies en netbeheerders gestuurd.

Het RIVM heeft een aantal adviezen opgesteld om te zorgen dat het beleid zo goed mogelijk bij de wetenschappelijke kennis aansluit. In aanvulling daarop heeft het RIVM hulpmiddelen ontwikkeld om de betrokken partijen bij de uitvoering van het beleid te ondersteunen.

Bepaling magnetisch veld

Het is niet duidelijk hoe het magnetische veld leukemie zou kunnen veroorzaken. Daarom is het ook niet helder welke eigenschap van dat veld doorslaggevend is. Het gemiddelde van het magnetische veld over een bepaalde tijd zou bepalend kunnen zijn, maar het zou ook om de maximale veldsterkte, om snelle veldwisselingen of om nog iets geheel anders kunnen gaan. Uit een analyse van de manier waarop het magnetische veld in de epidemiologische onderzoeken wordt bepaald, blijkt het gemiddelde van het magnetische veld over een jaar hier de beste keuze te zijn.

Advieswaarde magnetische veldsterkte

De epidemiologische onderzoeken leveren geen eenduidige grenswaarde voor het magnetische veld op. Meer dan dat het risico verhoogd is bij langdurige blootstelling aan magnetische velden met veldsterkten boven een waarde ergens tussen 0,2 microtesla en 0,5 microtesla valt eigenlijk niet te concluderen. De door de staatssecretaris gekozen advieswaarde van 0,4 microtesla is in overeenstemming met deze bevindingen.

Representatieve stroom

De sterkte van het magnetisch veld wordt in belangrijke mate bepaald door de elektrische stroom, maar deze stroom varieert voortdurend. Om rekening te houden met deze variaties en met de toename van het elektriciteitsgebruik in de toekomst, heeft het ministerie van VROM besloten de zoneberekening te baseren op een vast percentage van de maximale stroom waarvoor de hoogspanningslijn is ontworpen.

Hulpmiddelen

Het RIVM heeft een website ontwikkeld (www.rivm.nl/hoogspanningslijnen). Deze website bevat drie hulpmiddelen voor gemeenten, provincies, netbeheerders en andere betrokkenen:

- algemene informatie over achtergronden en uitwerking van het beleid;
- een digitale kaart met de bovengrondse hoogspanningslijnen en de daarbij behorende (indicatieve) magneetveldzones;
- een berekeningsvoorschrift voor het berekenen van de (specifieke) magneetveldzone en voor de manier waarop de resultaten van die berekening dienen te worden gerapporteerd.

Toekomst

Over enkele details van het hoogspanningslijnenbeleid is de discussie nog niet afgerond. Het gaat daarbij om de bepaling van de maximale belasting van de bovengrondse hoogspanningslijnen en de direct daaraan gekoppelde maximale stroom waarvoor de hoogspanningslijn is ontworpen. Ten slotte is het plan om de digitale hoogspanningslijnenkaart actueel te houden nog in ontwikkeling.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Tijdens gebruik, transport en opwekking van elektriciteit ontstaan elektromagnetische velden met extreem lage frequentie (ELF) die nadelige effecten op de gezondheid zouden kunnen hebben. Sinds Wertheimer en Leeper in 1979 voor het eerst een mogelijk verband tussen kinderleukemie en het wonen in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen publiceerden, wordt er onderzoek gedaan naar gezondheidseffecten van ELF-velden [1]. De International Agency for Research on Cancer (IARC) – een agentschap van de World Health Organisation (WHO) – kwalificeerde de magnetische component van deze velden als ‘mogelijk carcinogeen voor mensen’ [2]. Volgens de commissie ‘ELF elektromagnetische velden’ van de Gezondheidsraad wijst de totaliteit van epidemiologisch onderzoek op een redelijk consistente associatie tussen het vóórkomen van leukemie bij kinderen en het wonen in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen, echter zonder dat een oorzakelijk verband is aangetoond [3]. In een analyse van epidemiologische onderzoeken concludeerde het RIVM dat van een mogelijk verhoogd risico op kinderleukemie sprake is bij wonen op een locatie waar de magnetische veldsterkte¹ hoger is dan een waarde ergens tussen 0,2 microtesla en 0,5 microtesla [4]. Uit een risicoschatting, gebaseerd op de veronderstelling dat er een causaal verband bestaat tussen de magnetische velden en kinderleukemie, blijken 0,5 van de 110 gevallen van kinderleukemie die jaarlijks optreden aan de bovengrondse hoogspanningslijnen toegeschreven te kunnen worden [5].

De mogelijkheid van een gezondheidseffect, de wetenschappelijke onzekerheid en de bezorgdheid bij burgers, waren voor de Nederlandse overheid aanleiding voor verder onderzoek en voor passende maatregelen in relatie tot de maatschappelijke kosten en baten (vierde Nationaal Milieubeleidsplan, NMP4 [6]).

Een eerste onderzoek in dat kader gaf aan dat in bestaande situaties een substantiële reductie van de blootstelling aan magnetische velden rond hoogspanningslijnen mogelijk is, maar dat de kosten voor zo’n reductie aanzienlijk zijn [7]. Een tweede onderzoek naar nieuwbouwsituaties wees uit dat een deel van de bouwplannen uit de Vierde Nota Ruimtelijke Ordening wordt doorsneden door een bovengrondse hoogspanningslijn [8]. Realisatie van die plannen in de voorgenomen vorm betekent dat het aantal woningen bij bovengrondse hoogspanningslijnen de komende decennia met 40% zal toenemen [9].

In zijn notitie ‘Nuchter omgaan met risico’s’ omschreef de toenmalige staatssecretaris Van Geel van Milieu zijn plannen voor het rijksbeleid bij bovengrondse hoogspanningslijnen [10]. Doel van dat beleid is om ‘nieuwe situaties waarbij kinderen worden blootgesteld aan magneetvelden, zo veel als mogelijk is, te vermijden’. Het uiteindelijke beleid is vastgelegd in een brief van de staatssecretaris aan gemeenten, provincies en netbeheerders van 3 oktober 2005 [11]. In deze brief wordt vastgesteld wat bedoeld wordt met nieuwe situaties, met (langdurige) blootstelling en binnen welke zone nieuwe situaties vermeden zouden moeten worden. Deze rapportage bevat de onderzoeken en analyses die het RIVM voor de onderbouwing en concrete uitwerking van dit beleid heeft gemaakt.

¹ Strikt genomen wordt hier de magnetische fluxdichtheid bedoeld; omdat in de meeste publicaties wordt gesproken van magnetische veldsterkte wordt in dit rapport eveneens deze benaming gebruikt.

1.2 Doelstelling

Doel van deze rapportage is een overzicht te geven van de analyses die het RIVM voor het nieuwe beleid met betrekking tot bovengrondse hoogspanningslijnen heeft opgesteld. Al deze onderzoeken zijn verricht op verzoek van het ministerie van VROM. Deze rapportage beperkt zich tot de onderzoeken die na het verschijnen van ‘Nuchter omgaan met risico’s’ [10] zijn gedaan.

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 van dit rapport richt zich op de vraag hoe blootstelling aan magnetische velden in relatie tot kinderleukemie gedefinieerd kan worden. Hiervoor is een analyse gemaakt van de manier waarop die blootstelling in de epidemiologische onderzoeken is vastgelegd. Hoofdstuk 3 documenteert de (beleidsmatige) keuze om 0,4 microtesla als advieswaarde voor het magnetische veld te hanteren. Hoofdstuk 4 bevat de analyse van de belasting van het Nederlandse hoogspanningsnet in 2003. Uit deze analyse volgt de keuze voor de stroom die bij de berekening van de 0,4 microteslazone wordt gebruikt. Hoofdstuk 5 bevat de uitwerking van de zonering voor het magnetische veld in indicatieve en specifieke zones. Hoofdstuk 6 beschrijft de manier waarop de specifieke 0,4 microteslazone berekend wordt. Deze rekenmethode is in een handreiking vastgelegd. Hoofdstuk 7 beschrijft de website en de bijbehorende netkaart die door het RIVM worden beheerd. Hoofdstuk 8, tot slot, bevat afsluitende opmerkingen.

2 Magnetische veldsterkten en blootstellingsduur in epidemiologische onderzoeken

2.1 Inleiding

De conclusie dat er in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen mogelijk een verhoogd risico op kinderleukemie kan optreden bij blootstelling aan magnetische velden met veldsterkte boven een waarde van ergens tussen 0,2 microtesla en 0,5 microtesla [4] is vooral gebaseerd op de *pooled analyses* van Ahlbom [12] en van Greenland [13]. Deze twee publicaties analyseren dertien verschillende onderzoeken die apart bekeken geen consistent beeld opleveren. Van deze dertien onderzoeken vindt er één een statistisch significante verhoging van het risico op kinderleukemie. Andere onderzoeken vinden wel een verband tussen magnetische velden en kinderleukemie, maar de waargenomen verhoging is niet statistisch significant. Enkele onderzoeken ten slotte vinden helemaal geen invloed van de aanwezigheid van hoogspanningslijnen. De kracht van de pooled analyses is dat zij alle data gezamenlijk analyseren. Bij de ontwikkeling van beleid voor magnetische velden in de buurt van hoogspanningslijnen is het daarom belangrijk te weten hoe de magnetische veldsterkten in de achter deze pooled analyses liggende epidemiologische onderzoeken zijn bepaald. Verder is het belangrijk of er uit die onderzoeken een wetenschappelijke onderbouwing afgeleid kan worden voor de invloed van de blootstellingsduur en wanneer van ‘langdurige’ blootstelling sprake is.

2.2 Epidemiologisch onderzoek

In dit hoofdstuk worden de gegevens op een rij gezet voor de in totaal dertien verschillende onderzoeken uit de pooled analyses van Ahlbom en van Greenland (zie Tabel 1).

2.3 Veldsterktebepaling

Bij negen van de dertien epidemiologische onderzoeken is het magnetische veld uitsluitend gemeten. In drie onderzoeken is het magnetische veld uitsluitend berekend op basis van de lijnkaracteristieken, de afstand tot de lijn en gegevens over de belasting van de lijn. In een onderzoek [14] is het magnetisch veld gemeten én berekend.

2.3.1 Gemeten blootstelling

Bij de metingen worden vrijwel altijd de drie componenten van het magnetische veld gemeten en de RMS-waarde² (B_{rms}) berekend. In acht van de negen onderzoeken die gebaseerd zijn op gemeten magnetische velden strekt de meting zich uit over een periode van 12, 24 of 48 uur. Als plaats van de meting wordt het meeste gewicht toegekend aan de kinderslaapkamer. Als maat voor de blootstelling

² $B_{\text{rms}} = \sqrt{(B_x^2 + B_y^2 + B_z^2)}$; B_x^2 , B_y^2 , B_z^2 worden gemiddeld over één trillingstijd.

wordt meestal het tijdgemiddelde³ van de metingen genomen. Dit tijdgemiddelde bevat de bijdrage van het magnetische veld veroorzaakt door de hoogspanningslijn en door apparatuur en bedrading in de woning. Een onderzoek [15] heeft een beperktere opzet en middelt enkele metingen in die vertrekken waar kinderen veel verblijven. Meestal wordt ook de omgevingsblootstelling ingeschat door een meting buiten de voordeur of een aantal metingen langs de perceelgrens. Drie onderzoeken [14, 15, 16] proberen in te schatten hoeveel andere bronnen, zoals elektrische apparatuur en bedrading in huis, bijdragen aan het magnetische veld. Dit gebeurt door een extra meting te doen waarbij de stroom in de woning is afgesloten. Uit London et al. [16] kan worden geconcludeerd dat de gemiddelde magnetische veldsterkte in de woonvertrekken van woningen in de buurt van een hoogspanningslijn hierdoor tot ongeveer 80% van de eerder gemeten waarde wordt teruggebracht.

2.3.2 Berekende blootstelling

In de vier onderzoeken waar het magnetische veld wordt berekend, is dat op basis van het jaargemiddelde van de stroom door de lijn zoals het energiebedrijf die heeft bepaald, meestal op basis van daggemiddelden. Uit deze stroomsterkte, de afstand van de woning tot de hoogspanningslijn en de karakteristieken van de lijn wordt met een softwarepakket de (jaargemiddelde) magnetische veldsterkte ter plekke van de woning bepaald. Deze berekende veldsterkte omvat alleen het magnetische 50 Hz veld veroorzaakt door de hoogspanningslijn. Het magnetische veld ten gevolge van apparatuur en bedrading in de woning wordt niet meegenomen. Een onderzoek zegt ook de maximale jaarlijkse belasting te hebben geëvalueerd [17], maar die wordt verder bij de resultaten niet meer genoemd. Geen van de epidemiologische onderzoeken bevat gegevens over hoe de jaargemiddelde stroomsterkte zich verhoudt tot de stroom die de circuits maximaal kunnen transporteren.

2.4 Blootstellingsduur

De epidemiologische onderzoeken evalueren het verband tussen wonen in de buurt van een bovengrondse hoogspanningslijn, waar het (tijdgemiddelde) magnetische veld een bepaalde waarde heeft, en het risico op leukemie. De invloed van de verblijftijd van de kinderen in de woning of van de dagelijkse blootstellingsduur wordt in geen van de onderzoeken expliciet onderzocht. Impliciet wordt ervan uitgegaan dat een combinatie van de sterkte van het magnetische veld en de verblijfsduur van het kind de biologisch relevante ‘dosis’ bepaalt en dat de controlegroep en de groep leukemiegevallen gemiddeld even lang in de woning verblijven.

³ Meestal het rekenkundige gemiddelde: $\frac{\sum_{i=1}^n B_i}{n}$, soms het geometrische gemiddelde: $\left(\prod_{i=1}^n B_i\right)^{1/n}$.

Tabel 1 Blootstellingsgegevens voor de onderzoeken in de pooled analyses

Onderzoek	Gemeten blootstelling	Berekende blootstelling	land	Greenland pooled analysis	Ahlbom pooled analysis
Feychting [14]	eenmalige meting (4 x 5 minuten) in centrale kamer; ook meting met stroom in huis afgesloten (kamer dichtst bij lijn, centrale kamer en kamer verst van lijn)	jaargemiddelde belasting op basis van historische gegevens voor het kalenderjaar voorafgaand aan de diagnose; verder afstand en lijnkenarakteristieken, aanvullend berekende dosis op tijdstip meting	Zweden	X	X
Savitz [15]	metingen in kinderslaapkamer, ouderslaapkamer en kamer(s) waar kind volgens opgestuurde vragenlijst gemiddeld meer dan een uur per dag verblijft; duur van de meting niet vermeld; ook meting bij de voordeur en met stroom in huis afgesloten		Verenigde Staten	X	
London [16]	24 uursgemiddelde meting in kinderslaapkamer; kortdurende metingen in drie andere vertrekken en in de tuin. Ook meting met stroom in huis afgesloten		Verenigde Staten	X	
Tynes [17]		jaargemiddelde historische belasting; maximale belasting, cumulatieve dosis gedurende eerste levensjaar en gedurende eerste vier jaar	Noorwegen	X	X
Coghill [18]	meting gedurende ongeveer 24 uur; als blootstellingsmaat is het 12 uursgemiddelde (20.00u tot 8.00u) in de kinderslaapkamer gekozen		Engeland	X	
Dockerty [19]	24 uursgemiddelde (kamer waar kind het meest verblijft en kinderslaapkamer)		Nieuw-Zeeland	X	X
Linet [20]	tijdgemiddelde blootstelling huishouden. Gebaseerd op activiteiten patroon kind, 24 uursgemiddelde meting in kinderslaapkamer en incidentele metingen in keuken, woonkamer en buiten voordeur		Verenigde Staten	X	X
McBride [21]	48 uursgemiddelde gebaseerd op persoonlijke dosimeter in rugzak kind en een 24 uursmeting in de kinderslaapkamer; eenmalige meting buiten voordeur en langs perceelgrens		Canada	X	X
Michaelis [22]	24 uursgemiddelde meting in kinderslaapkamer en woonkamer		Duitsland	X	X
Olsen [23]		jaargemiddelde stroom over een volledig kalenderjaar; verder afstand en lijnkenarakteristieken	Denemarken	X	X
Tomenius [24]	eenmalige meting magnetisch veld buiten de voordeur. Instrument bevat één spoel die zo wordt gedraaid dat gemeten waarde maximaal is		Zweden	X	
Verkasalo [25]		magneetveldberekening gebaseerd op jaargemiddelde stroom, lijneigenschappen en afstand	Finland	X	X
UKCCS [26]	spotmetingen, aangevuld met 48 uursgemiddelde meting voor hoge dosisgroep		Engeland		X

2.5 Onzekerheden

De achterliggende vraag voor het beleid met betrekking tot bovengrondse hoogspanningslijnen is of er een betrouwbare maat te vinden is voor de ‘dosis’ van het agens dat mogelijk kinderleukemie veroorzaakt of de ontwikkeling daarvan versnelt. Omdat er over een biologisch mechanisme waardoor blootstelling aan magnetische velden tot kinderleukemie zou kunnen leiden nog niets duidelijk is, bevat elk antwoord op de vraag naar zo’n dosismaat onzekerheden. Drie belangrijke oorzaken van onzekerheden zijn:

- In de epidemiologische onderzoeken uit de pooled analyses is alleen een statistisch verband tussen kinderleukemie en het magnetische veld gevonden. Voor het elektrische veld bijvoorbeeld is die associatie niet gevonden [2]. Toch blijft het mogelijk dat er een andere oorzaak is voor een verhoogd risico op leukemie die (direct of indirect) met het magnetische veld samenhangt. In 2005 is in het Verenigd Koninkrijk een uitgebreid onderzoek naar het voorkomen van kanker in de buurt van hoogspanningslijnen verricht [27]. Dit onderzoek bevestigt de associatie tussen wonen in de buurt van een bovengrondse hoogspanningslijn en kinderleukemie. Er is een verhoogd risico gevonden binnen 600 meter van de lijnen. Voor kinderen die dichterbij dan 200 meter bij een hoogspanningslijn geboren zijn bedraagt het relatieve risico 1,69. In het gebied tussen 200 meter en 600 meter afstand van de hoogspanningslijn is het relatieve risico 1,23. Op dergelijke afstanden is de magnetische veldsterkte lager dan 0,1 microtesla. Dit verhoogde risico in een gebied waar de magnetische veldsterkte relatief laag is, kan erop wijzen dat niet het magnetische veld de oorzaak is voor het verhoogde risico of dat ook veldsterktes lager dan 0,1 microtesla tot een verhoogd risico kunnen leiden.
- Bij gebrek aan beter schatten vrijwel alle geëvalueerde onderzoeken de relevante blootstelling aan het magnetische veld op basis van het gemiddelde magnetische veld over een bepaalde periode (12 uur tot een jaar) ter plekke van de woning en/of kinderslaapkamer. Feitelijk wordt daarmee de relatie tussen het tijdgemiddelde magnetische veld en het risico op leukemie onderzocht. Impliciet wordt daarbij aangenomen dat de manier waarop kinderen worden blootgesteld niet uitmaakt. Blootstelling aan een relatief zwak magnetisch veld gedurende lange tijd zou hetzelfde effect hebben als kortdurende blootstelling aan een relatief sterk magnetisch veld. Een recent onderzoek naar een mogelijke relatie tussen blootstelling aan magnetische velden en miskramen [28] stelt precies deze veronderstelling ter discussie. In genoemd onderzoek is een verhoogd risico op een miskraam niet geassocieerd met de gemiddelde blootstelling aan magnetische velden, maar wel met blootstelling aan waarden boven 1,6 microtesla.
- Het is niet bekend gedurende welke periode in de ontwikkeling van een kind de blootstelling aan magnetische velden bepalend zou kunnen zijn voor een mogelijk verhoogd risico op kinderleukemie. De metingen van het magnetische veld vinden soms plaats na de diagnose, ook al is het kind verhuisd. Soms worden alleen kinderen in de analyse opgenomen die minimaal een jaar voor de diagnose in hetzelfde huis woonden. De onderzoeken waarin het magnetische veld wordt berekend, gaan uit van de jaargemiddelde stroom, meestal in het jaar voor de diagnose. Maar de cruciale periode voor blootstelling kan verder terug in de tijd liggen.

2.6 Conclusie

De magnetische veldsterkte die in epidemiologische onderzoeken wordt vermeld, is een tijdgemiddelde waarde van het magnetische veld over een bepaalde periode. Als het magnetische veld gemeten wordt, is deze periode typisch 24 uur. Bij onderzoeken die uitgaan van berekende magnetische velden wordt de berekening van het magnetische veld gebaseerd op het jaargemiddelde van de stroom door de lijn. De gemeten veldsterkten in de buurt van hoogspanningslijnen zijn inclusief de bijdrage van apparatuur en bedrading in de woning. Als plaats voor de meting krijgt de kinderslaapkamer het meeste gewicht. Als het magnetische veld wordt berekend, is dat uitsluitend het veld afkomstig van de hoogspanningslijn.

Als maat voor de blootstelling wordt in de epidemiologische onderzoeken het wonen in de buurt van de hoogspanningslijn, bij een bepaalde magnetische veldsterkte, gebruikt. De invloed van de duur van de blootstelling op het ontstaan van kinderleukemie is onvoldoende onderzocht. Geen van de onderzoeken doet een uitspraak over de tijd die de kinderen in de woning doorbrengen of wanneer van ‘langdurige’ (dagelijkse) blootstelling sprake is.

Zolang niet duidelijk is op welke manier de mogelijke verhoging van het risico op kinderleukemie in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen tot stand komt, is een precieze dosimetrie voor een mogelijk veroorzakend agens niet mogelijk en niet zinvol.

3 Grenswaarde magnetisch veld

3.1 Inleiding

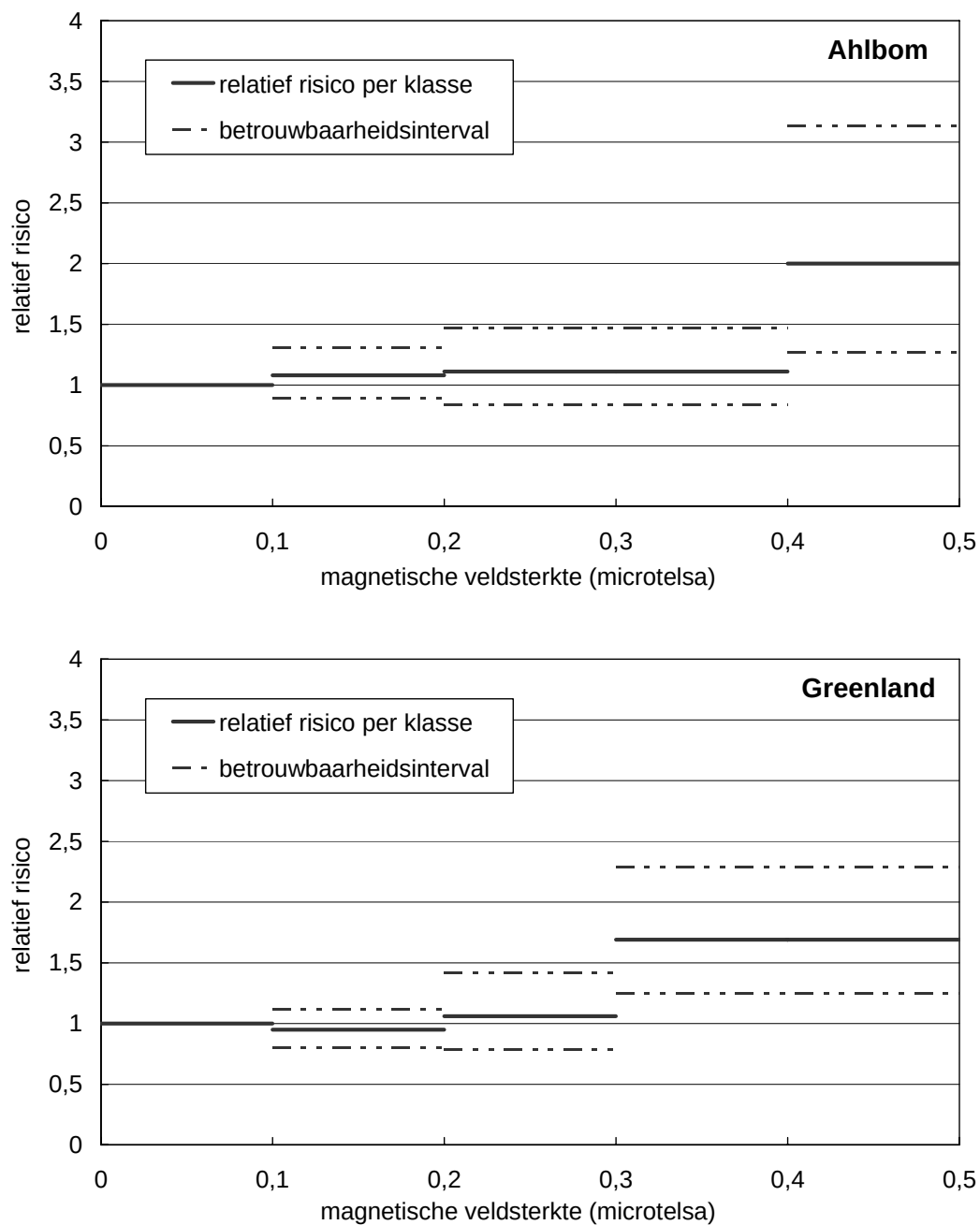
Om de gegevens uit de epidemiologische onderzoeken in concreet ruimtelijk beleid te kunnen vertalen, is het nodig zones in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen te benoemen waar mogelijk een verhoogd risico op kinderleukemie bestaat. Om deze zone vast te kunnen leggen, moet een grenswaarde voor het magnetische veld worden gekozen waarvoor geldt dat het risico beneden deze grenswaarde ‘maatschappelijk acceptabel’ is. Dit ‘maatschappelijk acceptabele’ risico zou bij voorkeur gerelateerd moeten worden aan het maximum toelaatbare plaatsgebonden risico zoals dat in het Nederlandse risicobeleid is vastgelegd.

Gedetailleerde gegevens over blootstelling aan magnetische velden in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen en een mogelijk verhoogd risico op kinderleukemie zijn er niet. Een causaal verband is niet bewezen. Een dosis-effectrelatie is niet bekend, mede omdat het verband tussen leukemie en magnetische velden niet in proefdieronderzoek is gevonden. De beste gegevens waaruit een verband tussen de sterkte van het magnetische veld en een mogelijk verhoogd risico op kinderleukemie valt af te leiden, zijn de pooled analyses van Ahlbom [12] en Greenland [13]. In paragraaf 3.2 wordt hier nader op ingegaan. In dit hoofdstuk wordt aangegeven hoe deze epidemiologische gegevens tot de in Nederland gemaakte beleidskeuze voor 0,4 microtesla als advieswaarde hebben geleid.

3.2 Grenswaarden in epidemiologische onderzoeken

De pooled analyses van Ahlbom en Greenland zijn gebaseerd op van tevoren gekozen blootstellingscategorieën voor de leukemiegevallen en de controlegroep. De groep die wordt blootgesteld aan magnetische veldsterkten tussen 0 en 0,1 microtesla is in beide onderzoeken als referentie gekozen. Aan deze blootstellingscategorie wordt het relatieve risico van 1 (extra risico 0) toegekend. Voor de hogere blootstellingscategorieën verschilt de klasse-indeling in de twee pooled analyses.

In Figuur 1 zijn de relatieve risico's en de 95% betrouwbaarheidsintervallen voor de verschillende blootstellingscategorieën uit de onderzoeken van Ahlbom en van Greenland gegeven. Ahlbom hanteert vier klassen: 0 - 0,1 microtesla (referentie); 0,1 - 0,2 microtesla; 0,2 - 0,4 microtesla en hoger dan 0,4 microtesla. Hij vindt een statistisch significante verhoging van het risico op leukemie met een factor 2 in de categorie die aan veldsterkten hoger dan 0,4 microtesla wordt blootgesteld. Greenland onderscheidt eveneens vier klassen: 0 - 0,1 microtesla (referentie); 0,1 - 0,2 microtesla; 0,2 - 0,3 microtesla en hoger dan 0,3 microtesla. In de analyse van Greenland wordt een statistisch significante verhoging van het risico met een factor 1,7 gevonden voor de kinderen die worden blootgesteld aan magnetische velden met een veldsterkte boven 0,3 microtesla.



Figuur 1 Relatief risico voor kinderleukemie in de verschillende blootstellingscategorieën volgens Ahlbom (boven) en Greenland (onder).

Naar aanleiding van de relatieve risico's valt het volgende te constateren:

- het relatieve risico neemt toe met toenemende magnetische veldsterkte;
- er is van een significante toename in risico sprake vanaf 0,3 microtesla (Greenland) of 0,4 microtesla (Ahlbom); de toename in het relatieve risico bedraagt een factor 1,7 (Greenland) à 2 (Ahlbom); en

- de hoge blootstellingscategorieën bevatten een relatief klein aantal kinderen. In de studie van Greenland vallen er 99 van de 2.656 kinderen met leukemie in de blootstellingscategorie boven de 0,3 microtesla. In de analyse van Ahlbom bevat de blootstellingscategorie boven de 0,4 microtesla 44 van de 3.247 kinderen met leukemie.

3.3 Beleidskeuze advieswaarde in Nederland

In het voorjaar van 2001 concludeerde het RIVM op grond van de pooled analyses en enkele andere epidemiologische onderzoeken dat uit deze analyses alleen kan worden afgeleid dat het risico op kinderleukemie mogelijk is verhoogd bij magnetische veldsterkten hoger dan een waarde ergens tussen 0,2 en 0,5 microtesla [4]. De nauwkeurigheid in de resultaten van de epidemiologische onderzoeken is onvoldoende voor een meer gedetailleerde uitspraak. Hierbij is het wel van belang dat Greenland [13] een significante verhoging van het risico vindt bij blootstelling boven 0,3 microtesla en Ahlbom bij blootstelling boven 0,4 microtesla [12].

In september 2001 werd het vierde Nationaal Milieubeleidsplan gepubliceerd [6]. Dit NMP4 bevat het beleidsvoornemen van de Nederlandse regering met betrekking tot de magnetische velden in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen. De regering besloot om, op basis van het voorzorgsbeginsel, nader onderzoek te doen naar passende maatregelen in relatie tot de maatschappelijke kosten en baten. Grenswaarden voor het magnetische veld waarop eventuele maatregelen betrekking zouden hebben, worden in het NMP4 niet genoemd. In november 2001 vroeg de gemeente Utrecht [29] de toenmalige minister van VROM hoe de gemeente bij de inrichting van de Vinex-locatie Leidsche Rijn op het toekomstige beleid voor bovengrondse hoogspanningslijnen kon anticiperen. In zijn antwoord (januari 2002) raadt minister Pronk aan om 'zo veel mogelijk te voorkómen dat nieuwe situaties ontstaan waarbij sprake is van langdurige blootstelling van kinderen aan magnetische velden van bovengrondse hoogspanningslijnen van meer dan 0,4 microtesla'. In deze brief wordt voor de eerste keer een concrete beleidskeuze voor het magnetische veld genoemd. De beleidsnota 'Nuchter omgaan met risico's' (NOR) pakte in januari 2004 de beleidsvorming voor bovengrondse hoogspanningslijnen weer op [10]. Doel van NOR is 'om nieuwe situaties waarbij kinderen worden blootgesteld aan magneetvelden, zo veel als mogelijk is, te vermijden. Hierbij zullen maatschappelijke kosten en baten moeten worden meegewogen'. Net als in het NMP4 legt NOR geen advieswaarden voor het magnetische veld vast. Wel beperkt NOR, op grond van een afweging van kosten en baten, het voorgenomen beleid tot nieuwe situaties. In het project 'Beleidsalternatieven Hoogspanningslijnen Onderling Overlegd (BAHLOO)' werd de aanzet voor beleid uit NOR met de direct betrokkenen⁴ uitgewerkt. De belangrijkste conclusies in de eindrapportage van BAHLOO [30] zijn:

- dat het voor de hand ligt het beleid voor bovengrondse hoogspanningslijnen tot nieuwe situaties te beperken;
- dat zonering als de meest effectieve manier om het beleid vast te leggen wordt gezien;
- en dat een referentiewaarde van 0,4 microtesla door alle partijen als politieke keuze van het rijk wordt geaccepteerd.

In zijn aanbiedingsbrief bij het BAHLOO-rapport [31] neemt staatssecretaris Van Geel deze conclusies over. Hiermee ligt de 0,4 microtesla als advieswaarde voor het Nederlandse beleid feitelijk vast. De precieze uitwerking vindt plaats in het beleidsadvies van de staatssecretaris aan gemeenten, provincies en de beheerders van hoogspanningslijnen van 3 oktober 2005 [11]. Dit beleidsadvies beveelt aan om

⁴ Aan BAHLOO hebben meegewerkt: IPO, VNG, EnergieNed, GGD, Woonbond, NEPROM, AEDES, VNO-NCW, Vereniging Eigen Huis, Stichting Natuur en Milieu en het Meldpuntennetwerk Gezondheid en Milieu.

bij bovengrondse hoogspanningslijnen in nieuwe situaties de zone waar de jaargemiddelde magnetische veldsterkte hoger is dan 0,4 microtesla vrij te houden van gevoelige bestemmingen. Als gevoelige bestemmingen worden woningen, scholen, crèches en kinderopvangplaatsen aangemerkt. Er is gekozen om van de jaargemiddelde magnetische veldsterkte uit te gaan en niet van een vaste afstand omdat het jaargemiddelde het beste aansluit bij de epidemiologische onderzoeken (zie paragraaf 2.6).

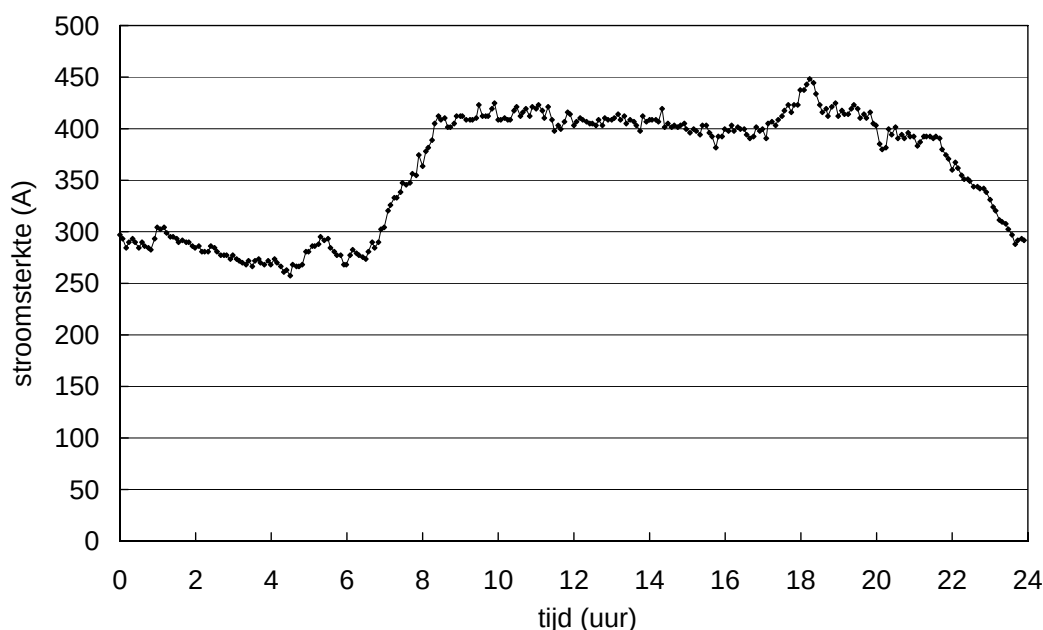
4 Belasting Nederlands hoogspanningsnet 2003

4.1 Inleiding

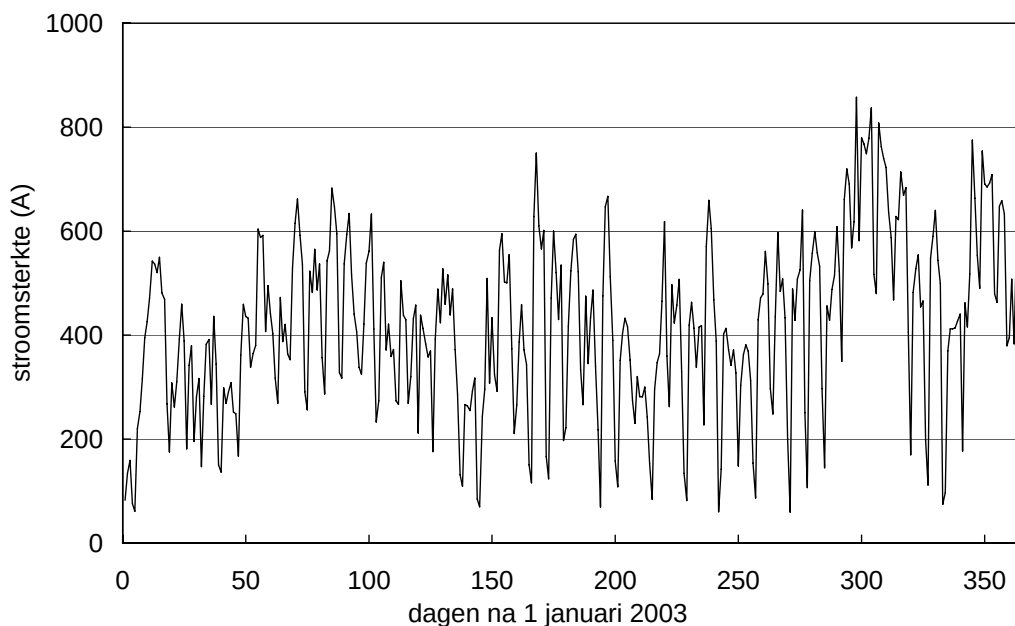
Het beleidsadvies van 3 oktober 2005 beveelt aan om bij bovengrondse hoogspanningslijnen in nieuwe situaties de zone waar de jaargemiddelde magnetische veldsterkte hoger is dan 0,4 microtesla vrij te houden van gevoelige bestemmingen. In de periode oktober 2004 – september 2005 is door het ministerie van VROM, in overleg met de netbeheerders vertegenwoordigd door EnergieNed, vastgesteld hoe de breedte van deze zone het beste kan worden bepaald. In dat overleg is vastgelegd welke gegevens van hoogspanningsmasten en geleiders nodig zijn, welke jaargemiddelde rekenstroom (I_{rek}) bij de bepaling van de zonebreedte wordt gebruikt en welke softwarepakketten voor de zoneberekening in aanmerking komen. Dit hoofdstuk beschrijft de manier waarop de keuze voor de rekenstroom tot stand is gekomen.

De stroom door een circuit van een hoogspanningslijn varieert, van uur tot uur, van dag tot dag en over de seizoenen. Een extra complicatie ontstaat doordat een hoogspanningslijn op de toekomst is ontworpen. Door de te verwachten groei in het gebruik van elektriciteit in Nederland zal de komende decennia de stroom door de meeste hoogspanningslijnen toenemen. In een bepaalde regio kan de belasting van een hoogspanningslijn toenemen door het ontwikkelen van nieuwbouwplannen voor woningen, kantoren of industrie.

Figuur 2 geeft de variatie van 5 minutenmetingen voor een typische 150 kV-lijn over een etmaal. De gemiddelde stroomsterkte over een etmaal (daggemiddelde) varieert over het jaar. In Figuur 3 is deze variatie voor een 380 kV-lijn weergegeven.



Figuur 2 Typische stroomsterkte door een circuit van een 150 kV-hoogspanningslijn over een etmaal (1 februari 2005).



Figuur 3 Typische stroomsterkte door een circuit van een 380 kV-hoogspanningslijn: daggemiddeld in het jaar 2003.

Voor de rekenstroom is ervoor gekozen om de stroom door een circuit te middelen over een heel jaar. Allereerst sluit deze keuze goed aan bij de epidemiologische onderzoeken (paragraaf 2.6). Bovendien worden door deze keuze variaties over de dag, over de dagen van de week en over de seizoenen uitgemiddeld. Ter illustratie: de stroom door het circuit in Figuur 3 gemiddeld over de tweede week van februari bedraagt 200 A, terwijl die stroom gemiddeld over de eerste week van november ruim 620 A bedraagt. Als referentiejaar is 2003 gekozen omdat daarvoor in het door de netbeheerders gebruikte Energy Management System (EMS) voor elke twee uur meetwaarden beschikbaar zijn, in ieder geval voor de door TenneT beheerde lijnen. Lastiger is het om een verantwoorde schatting te maken van de belasting van het hoogspanningsnet in de komende 25 jaar. Toch is dat nodig omdat een zone die, op basis van de gegevens voor 2003, voor een bovengrondse hoogspanningslijn is berekend, bij een zwaardere belasting in 2010 breder zal uitvallen. Voor het bepalen van een toekomstgerichte waarde voor de rekenstroom zijn twee invalshoeken gekozen. De eerste benadering, die uiteindelijk in het geadviseerde beleid wordt gevolgd, gaat uit van de belastingfractie: de over een geheel jaar gemiddelde 2 uurswaarde voor de belasting van het circuit gedeeld door de nominale belasting van het circuit (zie paragraaf 4.3). Deze benadering is uitgewerkt in paragraaf 4.4. Tijdens de beleidsontwikkeling is nog een geheel andere benadering aan de orde geweest, gebaseerd op een reductiefactor. De reductiefactor voor een circuit is gedefinieerd als de over een geheel jaar gemiddelde 2 uurswaarde voor de stroom door het circuit gedeeld door de maximale 2 uurswaarde in dat jaar. Omdat de berekeningen gebaseerd op de reductiefactor in het uiteindelijke beleid geen rol spelen, zijn deze niet in het hoofdrapport, maar in een bijlage opgenomen.

Voor heel 2003 zijn door TenneT voor de lijnen onder hun beheer voor elk circuit op elke dag de 12 x 2 uursgemiddelde waarden aangeleverd. EnergieNed heeft toegezegd zich in te spannen om soortgelijke gegevens voor de netbeheerders van de 150 kV-, 110 kV- en 50 kV-lijnen te verkrijgen. Aangeleverde gegevens zijn vertrouwelijk en zullen niet zonder instemming van de netbeheerders door het RIVM worden verspreid of openbaar gemaakt.

Dit hoofdstuk legt vast welke gegevens zijn aangeleverd en welke bewerkingen en analyses het RIVM met die gegevens heeft uitgevoerd. De resultaten van de analyse worden gerapporteerd en enkele overwegingen voor het vastleggen van de rekenstroom worden gepresenteerd.

4.2 Levering belastinggegevens

4.2.1 Belastinggegevens 220 en 380 kV-lijnen

Eerste levering

Op 18 oktober 2004 ontving het RIVM de gegevens van TenneT [32], voor in totaal 63 circuits (22 van 220 kV; 41 van 380 kV). Elk circuit is gekarakteriseerd door ‘spanning’, ‘station van’, ‘station naar’ en ‘circuit-kleur’. De ‘circuitkleur’, bijvoorbeeld wit of zwart, is een aanduiding die de netbeheerder gebruikt om aan te geven welk van de circuits die aan een hoogspanningsmast hangen, bedoeld wordt. Voor elke 2 uurswaarde in het Electricity Management System (EMS) van TenneT zijn gegevens beschikbaar gesteld. Per 2 uurswaarde, gekarakteriseerd door ‘meting-nummer’ en ‘tijdstip (datum + uur)’ wordt steeds het vermogen (MW) en het blindvermogen (Mvar) vermeld.

Na een globale analyse van het RIVM bleek dat op een aantal dagen alle lijnen een 2 uurswaarde voor beide circuits gelijk aan 0 hadden. In totaal ontbraken zo’n 4% van de meetwaarden.⁵ Na terugkoppeling van dit resultaat heeft TenneT de gegevens opnieuw gegenereerd en aan het RIVM geleverd.

Tweede levering

Op 18 november 2004 ontving het RIVM de volledige meetgegevens [33]. In vergelijking met de eerste levering bleek er één circuit extra te zijn: ‘380 kV, Zandvliet-Geertruidenberg, grijs’. Hiermee komt het totale aantal TenneT-circuits op 64 (22 220 kV-circuits; 42 380 kV). De analyse van deze metingen heeft zich beperkt tot 2003.⁶

Bij de tweede levering is naast het vermogen (MW) en het blindvermogen (Mvar) ook de stroom I geleverd. Het verband tussen I, MW, Mvar en de spanning U is:⁷

$$I = \frac{\sqrt{(MW)^2 + (M \text{ var})^2}}{U\sqrt{3}}$$

Met deze levering is een compleet overzicht van de 220 kV- en 380 kV-circuits verkregen.

⁵ 173 van de 4.380 (=12*365) 2 uurswaarden.

⁶ Op twee dagen (11/2/2003, 11/8/2003) bleken 2 uursgemiddelden voor telkens 16:00u te ontbreken. Deze zijn toegevoegd en de waarde voor het 2 uursgemiddelde is berekend door de waarden van 14:00u en 18:00u te middelen.

⁷ Berekeningsformule overgenomen uit toelichtende notitie van TenneT, bij de genoemde mail.

4.2.2 Belastinggegevens regionale netten

Eerste levering

De eerste levering van gegevens voor de regionale netten was afkomstig van EnergieNed op 18 november 2004 [34]. De levering omvatte lijnen beheerd door Eneco (150 kV-lijnen in de provincie Utrecht), TZH/TenneT (50 kV- en 150 kV-lijnen in de buurt van Rotterdam) en Delta (150 kV- en 50 kV-lijnen in Zeeland).

Deze gegevens bevatten niet de 2 uurs-EMS-waarden voor 2003, die wel voor de 220 en 380 kV-lijnen beschikbaar zijn, maar bevatten reeds gemiddelde waarden voor de stroom en de maximale stromen (of beter MVA's). Uit de data werd niet duidelijk hoe deze waarden waren bepaald (op basis van 5 minutenwaarden of 2 uurswaarden) en over welke periode werd gemiddeld. Daarom waren deze bestanden ongeschikt voor verdere analyse. Bovendien ontbraken de nominale waarden voor de circuits en konden de lijnen door de cryptische naamgeving niet binnen het geografische informatiesysteem van het RIVM gelokaliseerd worden. Na terugkoppeling met EnergieNed is afgesproken dat deze de regionale netbeheerders opnieuw zou vragen om beter onderbouwde belastinggegevens aan te leveren.

Tweede levering

De tweede levering van belastinggegevens door de regionale netbeheerders vond plaats op 30 mei, 2 juni en 3 juni 2005. Op 30 mei 2005 werden door Nuon [35] 139 circuits aangeleverd (15 50 kV, 33 110 kV, 91 150 kV). Het bestand bevatte de gegevens over de juiste periode (geheel 2003) voor de stroom, gemiddeld over het jaar en de maximale waarde. Niet duidelijk is of de berekeningen gebaseerd zijn op 2 uurswaarden. Daarnaast ontbraken de nominale waarden voor de circuits. Ook deze levering was niet voldoende voor een volledige analyse van de belastinggegevens. Op 14 juli 2005 reageerde het RIVM direct naar Nuon en vroeg om de volledige data volgens een door het RIVM met EnergieNed afgestemd format aan te leveren (zie Bijlage 1).

Eveneens op 30 mei 2005 werd door Essent een overzicht in grafiekvorm aangeleverd van de belasting van het noordelijke hoogspanningsnet (120 circuits). Deze levering werd op 3 juli 2005 aangevuld met de achter de grafiek liggende data voor het noordelijke [36] en het zuidelijke [37] gedeelte van het door Essent beheerde hoogspanningsnet. Deze gegevens zijn gebaseerd op 5 minutenwaarden voor een maand (februari of maart) in 2005, en daardoor niet geschikt voor een analyse die vergelijkbaar is met die van de TenneT-lijnen.

Op 2 juli 2005 werd een tweede levering van Eneco ontvangen [38]. Het ging om twaalf circuits in de buurt van Rotterdam (negen 50 kV en drie 150 kV). Berekeningen zijn voor geheel 2003, maar niet gebaseerd op 2 uurswaarden. Bovendien ontbreken de nominale capaciteiten voor de circuits. Ook hiervoor is een analyse analoog aan de TenneT-lijnen niet uit te voeren.

Derde levering

Om de aanlevering van de gegevens voor de regionale netten te standaardiseren heeft het RIVM een dataformat opgesteld (Bijlage 1). Dit format bevat uitleg over waarom het RIVM deze gegevens nodig heeft en op welke manier de gegevens het beste kunnen worden aangeleverd. Aanlevering geschiedt in geaggregeerde vorm van de jaargemiddelde stroom, de maximale stroom en de nominale capaciteit voor het circuit, waarbij bepaling van maximale en gemiddelde stroom gebeurt op basis van de 2 uurswaarden voor geheel 2003. De verantwoordelijkheid voor aanlevering en juistheid van de berekening ligt bij de regionale netbeheerders. Het RIVM is verantwoordelijk voor een correcte verdere analyse. Dit format werd, met het verzoek om gegevens, op 14 juli 2005 direct naar Nuon, Eneco en Essent ge-e-mailed.

Op 9 augustus 2005 werden door Eneco gegevens in het gevraagde format aangeleverd [39]. In totaal ging het om twaalf circuits van 50 kV (lijnlengthe 44 km) en 28 circuits van 150 kV (lijnlengthe 252 km). Deze gegevens zijn geschikt voor verdere analyse.

Overzicht regionale netten

Op 1 september 2005 beschikte het RIVM over bruikbare gegevens voor 25% van de 50 kV-lijnen,⁸ voor geen van de 110 kV-lijnen en voor 14% van de 150 kV-lijnen. Deze gegevens worden onvoldoende representatief geacht om een betrouwbare analyse op te kunnen baseren, vergelijkbaar met die voor de TenneT-lijnen. Daarom bevat dit rapport geen gedetailleerde analyse voor de regionale netten.

4.3 Ontwerpbelasting

Elke hoogspanningslijn is ontworpen op een bepaalde maximale belasting. De circuits kunnen gedurende langere tijd daarmee worden belast zonder negatieve gevolgen voor kwaliteit en levensduur van de geleiders. Die maximale belasting wordt hier aangeduid met ‘ontwerpbelasting’. De ontwerpbelasting wordt vooral bepaald door de geleiders (materiaal, oppervlaktebehandeling en doorsnede) en door omgevingsfactoren (temperatuur en windsnelheid). Daarnaast kunnen bouwwerken in de buurt van de lijn een striktere grens aan de ontwerpbelasting stellen omdat de circuits bij een hoge belasting te sterk doorhangen waardoor de minimale afstand van 6 meter tot het bouwwerk niet gehandhaafd blijft. Voor de meeste bovengrondse hoogspanningslijnen wordt de ontwerpbelasting niet volledig benut, bijvoorbeeld doordat de bedrijfsspanning lager is dan de ontwerpspanning, omdat er maar een circuit gerealiseerd is terwijl er meer mogelijk zijn of omdat de transformatoren niet geschikt zijn om de stroom die maximaal door de geleiders zou kunnen lopen te verwerken.

Hoewel de ontwerpbelasting in principe voor alle hoogspanningslijnen bekend is, is er geen duidelijk en toegankelijk overzicht van de ontwerpbelasting van de Nederlandse bovengrondse hoogspanningslijnen. Daarom is bij de berekeningen in dit hoofdstuk primair uitgegaan van de belastingen zoals die op de TenneT-kaart ‘Nederlands hoogspanningsnet’, worden vermeld. De TenneT-kaart gaat uit van het hoogspanningsnet zoals het op dat moment operationeel is. De op de kaart vermelde maximale belasting is een soort ‘gebruikswaarde’. De waarden op de TenneT-kaart worden aangeduid met ‘nominale belasting’. De nominale belasting kan niet groter worden dan de ontwerpbelasting, maar zal meestal kleiner zijn. Door technische ingrepen (installeren van een zwaardere transformator, toevoegen van een circuit) kan de nominale belasting worden verhoogd.

Bij de globale schatting door KEMA van de breedte van de zones voor het magnetische veld in de buurt van het Nederlandse hoogspanningsnet is steeds van deze nominale belasting en de daarbij behorende stroom uitgegaan [40]. Om bedrijfszekerheids- en veiligheidsredenen zal het jaargemiddelde van de stroom ruim onder deze nominale belasting moeten blijven. In de KEMA/RIVM-analyse is aangenomen dat de belasting van de lijn gelijk over de twee (of drie of vier) circuits is verdeeld. Voor het bepalen van de nominale belasting is verder uitgegaan van het (n-1)-criterium. Als een van de circuits niet kan worden gebruikt, moet het andere circuit (of de andere circuits) het vermogen van de gehele lijn kunnen transporteren. Daarom is bij twee circuits de belasting van een circuit gemiddeld over een heel jaar niet meer dan de helft van de nominale belasting. In werkelijkheid zal de jaargemiddelde stroom door een circuit meestal onder de helft van de nominale stroom liggen. Bij drie

⁸ Uitgedrukt als percentage van het totaal aantal kilometers hoogspanningslijn voor het betreffende spanningsniveau.

circuits is de jaargemiddelde belasting van een circuit maximaal twee derde van de nominale stroom. Bij vier circuits is dat drie vierde.

Zoals reeds opgemerkt zijn de feitelijke ontwerpbelastingen moeilijk te achterhalen. Aanvankelijk werd aangenomen dat de ontwerpbelasting voor de bovengrondse hoogspanningslijnen af te leiden zou zijn uit de capaciteitsplannen die door de netbeheerders in 2005 aan de Directie Toezicht Energie (Dte) moesten worden aangeboden. Om organisatorische redenen is het de netbeheerders niet gelukt om de ontwerpwaarden in de 2005 plannen op te nemen. Tot deze waarden beschikbaar en toegankelijk zijn, wordt daarom in de berekeningen uitgegaan van de nominale waarde zoals die op de meest recente TenneT-kaart (van 1-1-2004) is vermeld.

Vooruitlopend op het definitief vaststellen van de ontwerpbelasting voor de hoogspanningslijnen heeft TenneT voor de door hen beheerde lijnen (380 kV- en 220 kV-circuits) een verbeterde schatting voor de ontwerpbelasting gemaakt [41]. Deze wordt aangeduid met de term ‘geoptimaliseerde belasting’. Hierbij is voor elke lijn uitgaande van de nominale belasting geïnventariseerd welke optimalisatie (installeren van een zwaardere transformator, toevoegen van een circuit) mogelijk is en tot welke ontwerpbelasting dit leidt.

Als extra stap heeft TenneT deze geoptimaliseerde belasting nog voor alle circuits met 25% verhoogd. Reden hiervoor is dat TenneT in de meest recente berekeningen uitgaat van een maximale geleidertemperatuur van 90 °C gedurende 0,1% van de tijd [42, 43]. In eerder onderzoek werd voor de maximale geleidertemperatuur een waarde van 70 °C aangehouden. Een uitgebreide onderbouwing van deze nieuwe aanpak ontbreekt. De van toepassing zijnde NEN-EN norm op dit gebied vermeldt slechts 70 °C of 80 °C als maximale temperatuur voor bestaande geleiders [44].

Uiteindelijk levert dit de ‘ontwerpbelasting’ voor een circuit, zoals vastgelegd in [45]. Bijlage 2 bevat voor de 380 kV- en 220 kV-lijnen een overzicht van de nominale belasting (TenneT-kaart), de geoptimaliseerde belasting en de door TenneT bepaalde ontwerpbelasting. Gemiddeld is de geoptimaliseerde belasting 10% hoger dan de nominale waarde. De ontwerpbelasting is gemiddeld bijna 40% hoger dan de nominale belasting.

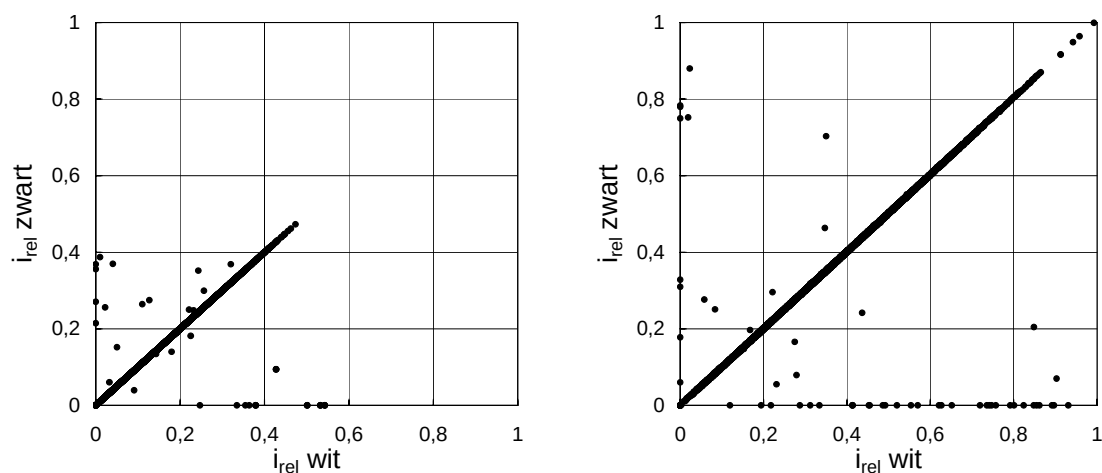
De berekeningen in dit hoofdstuk zijn gebaseerd op de nominale belastingen. In één geval (Figuur 9) wordt aangegeven hoe een keuze voor de geoptimaliseerde belasting of voor de ontwerpbelasting in de berekeningen zou doorwerken.

4.4 Resultaten belastingfractie

220 en 380 kV-lijnen

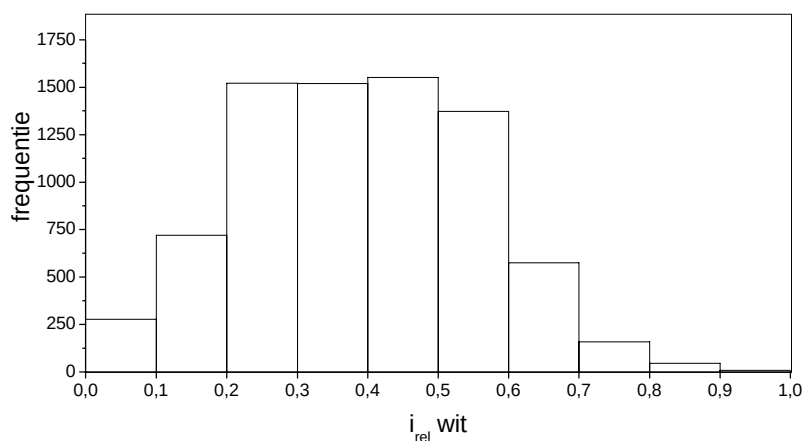
Uit de door TenneT geleverde gegevens blijkt dat de meeste 220 en 380 kV-lijnen uit twee circuits bestaan.

Figuur 4 vergelijkt de stroom in de twee verschillende circuits van twee typische 380 kV-lijnen. In de elektriciteitssector worden de verschillende circuits met kleuren aangeduid (meestal zwart en wit). De relatieve stroom (i_{rel}) is de verhouding tussen de stroom door het circuit en de nominale stroom voor dat circuit.



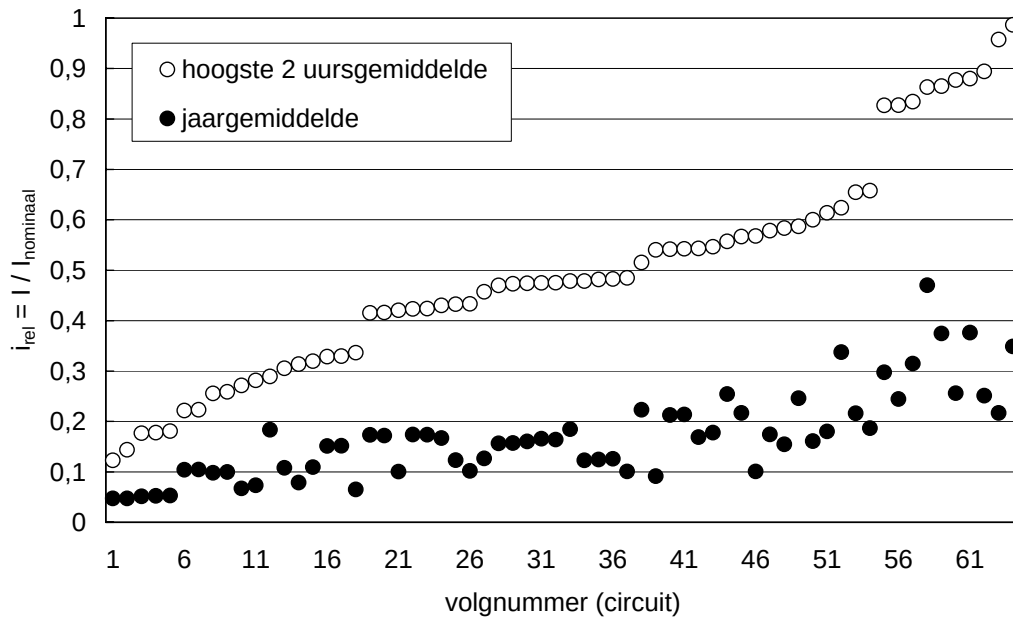
Figuur 4 Vergelijking tussen de stroom in het zwarte circuit en de stroom in het witte circuit gedurende 2003 voor twee typische 380 kV-lijnen. Vanwege het grote aantal dicht bij elkaar gelegen meetpunten zijn de meeste meetpunten niet meer afzonderlijk zichtbaar, maar vormen ze een dikke zwarte lijn onder een hoek van 45°.

De veronderstelling dat beide circuits ongeveer hetzelfde worden belast, lijkt op te gaan. Voor de meeste tijdpunten zijn de waarden door het witte en zwarte circuit even groot. De aanname, op basis van het (n-1)-criterium, dat de maximale 2 uursbelasting niet boven 50% van de nominale belasting zou uitkomen, gaat niet op voor de rechterlijn in Figuur 4. Het frequentiediagram in Figuur 5 geeft dat duidelijk aan.



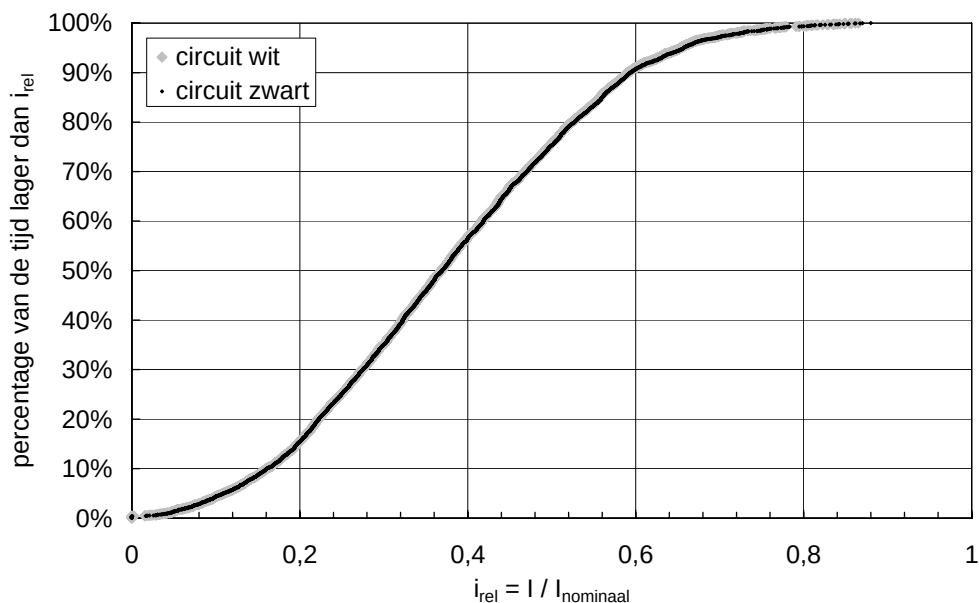
Figuur 5 Frequentiediagram voor de stroom door het witte circuit uit het rechterdiagram in Figuur 4.

Uit Figuur 6 blijkt dat bij 27 van de 64 circuits (42%) het hoogste 2 uursgemiddelde boven 50% van de nominale waarde ligt. De nominale waarde zelf werd voor de TenneT-lijnen in 2003 niet overschreden.

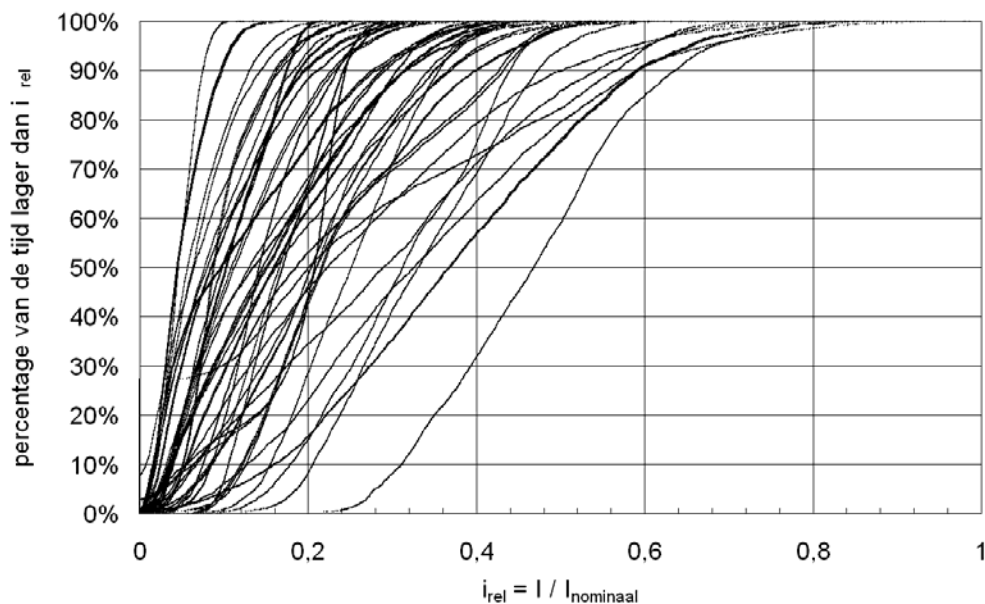


Figuur 6 Jaargemiddelde stroom en maximale stroom gerelateerd aan de nominale waarde voor alle 380 kV- en 220 kV-circuits.

Om meer inzicht te krijgen in het tijdsgedrag van de belasting is geïnventariseerd welk gedeelte van het jaar de belasting beneden een bepaalde fractie van de nominale waarde ligt. Figuur 7 geeft deze tijdsverdeling voor een grensoverschrijdende 380 kV-lijn (twee circuits): 10% van het jaar is de belasting lager dan 16% van de nominale waarde, 50% van het jaar beneden de 36% van nominaal en 10% van het jaar ligt de belasting boven 90% van de nominale waarde. Figuur 8 geeft dezelfde gegevens voor alle 220 kV- en 380 kV-circuits.



Figuur 7 Percentage van het jaar dat de stroom door het witte en zwarte circuit van een van de grensoverschrijdende 380 kV-lijnen onder een bepaalde fractie van de nominale waarde ligt (de curve bestaat eigenlijk uit een groot aantal losse meetpunten, maar die vallen schijnbaar samen tot een lijn).

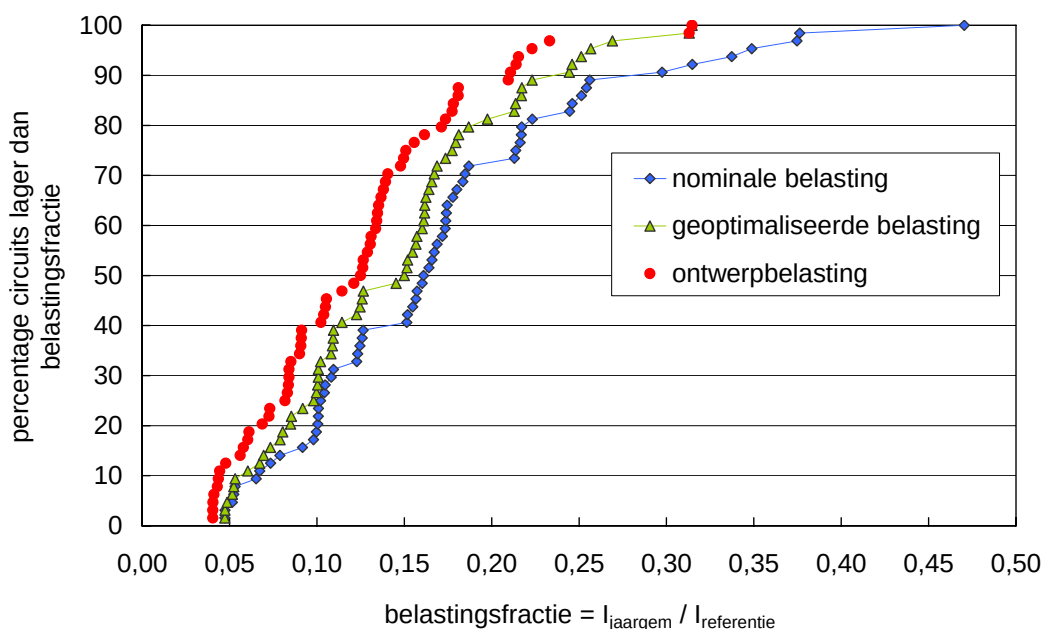


Figuur 8 De verdeling van de 2 uursgemiddelde waarden van de stroom in 2003 ten opzichte van de nominale stroom voor alle 220 en 380 kV-circuits (de curves bestaan eigenlijk uit een groot aantal losse meetpunten, maar die vallen schijnbaar samen tot een lijn).

Tot slot is de verdeling van de belastingfracties geanalyseerd (blauwe punten in Figuur 9). Het 220 kV- en 380 kV-hoogspanningsnet is gemiddeld gezien relatief laag belast. Voor alle circuits is de

jaargemiddelde belasting lager dan 50% van de nominale waarde. Voor 50% van de circuits is de belastingfractie lager dan 0,16. Voor 10% van de circuits geldt dat de belastingfractie groter is dan 0,3.

De hiervoor beschreven evaluatie van de belastingfractie is gebaseerd op de nominale belasting van de circuits. Om de transportcapaciteit van het Nederlandse hoogspanningsnet recht te doen en beter aan te sluiten bij de verwachte belasting op langere termijn zou bovenstaande analyse eigenlijk uit moeten gaan van de ontwerpbelasting voor de circuits. Gevalideerde waarden voor de ontwerpbelasting zijn momenteel niet voorhanden. Om een indicatie te geven hoe de resultaten van de hiervoor beschreven analyse kunnen veranderen als van de werkelijke ontwerpbelasting wordt uitgegaan, zijn de belastingfracties voor de 220 kV- en 380 kV-circuits herberekend, gebaseerd op de schattingen van TenneT voor de geoptimaliseerde belasting en de ontwerpbelasting (zie paragraaf 4.3 en Bijlage 2). De resultaten van deze herberekening zijn eveneens weergegeven in Figuur 9 (groene en rode punten).



Figuur 9 Cumulatieve verdeling van de belastingfracties gebaseerd op de nominale belasting de geoptimaliseerde belasting en de ontwerpbelasting voor alle 220 kV- en 380 kV-circuits.

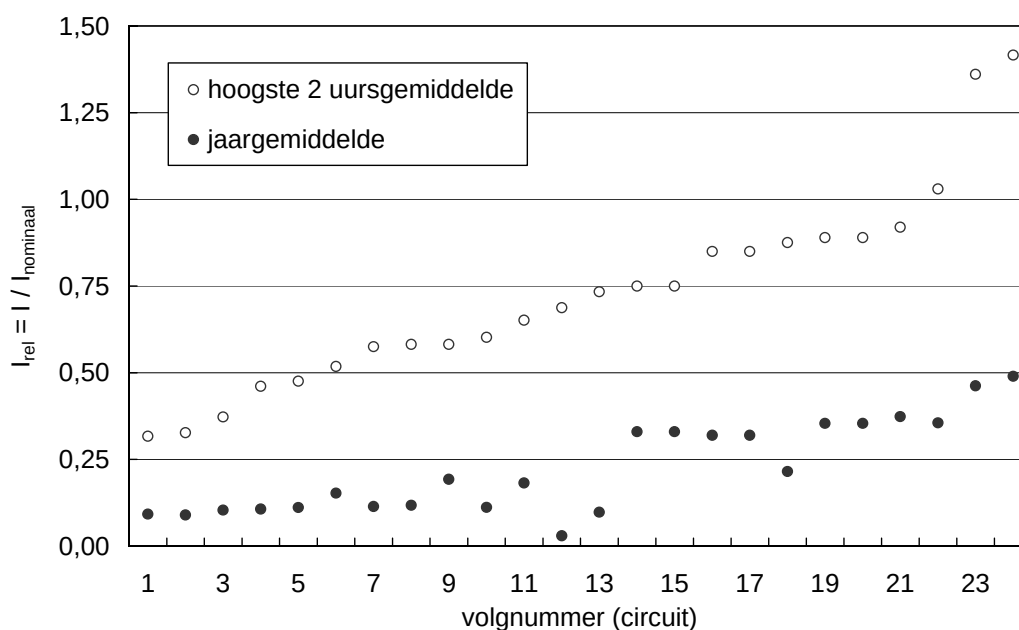
De hogere waarden voor de geoptimaliseerde belasting en ontwerpbelasting, in vergelijking met de nominale belasting, leiden ertoe dat de benutting van het hoogspanningsnet in 2003 relatief gezien lager lijkt uit te vallen. Voor de belasting op basis van de geoptimaliseerde belasting is voor alle circuits de jaargemiddelde belasting lager dan 31% van de geoptimaliseerde belasting. Voor 90% van de circuits ligt het jaargemiddelde beneden 24% van de geoptimaliseerde belasting. Voor de door TenneT geschatte ontwerpbelastingen geldt dit nog sterker. De beschrijvende parameters voor de verdeling van de belastingfracties op basis van nominale belasting, geoptimaliseerde belasting en ontwerpbelasting zijn samengevat in Tabel 2.

Tabel 2 Beschrijvende parameters voor de verdeling van belastingfracties gebaseerd op de nominale belasting, de geoptimaliseerde belasting en de ontwerpbelasting voor alle 220 kV- en 380 kV-circuits.

parameter	referentiebelasting		
	nominaal	geoptimaliseerd	ontwerp
gemiddelde	0,17	0,14	0,12
standaarddeviatie	0,09	0,07	0,06
50-percentiel	0,16	0,15	0,13
90-percentiel	0,29	0,24	0,21
95-percentiel	0,35	0,26	0,22

Regionale netten

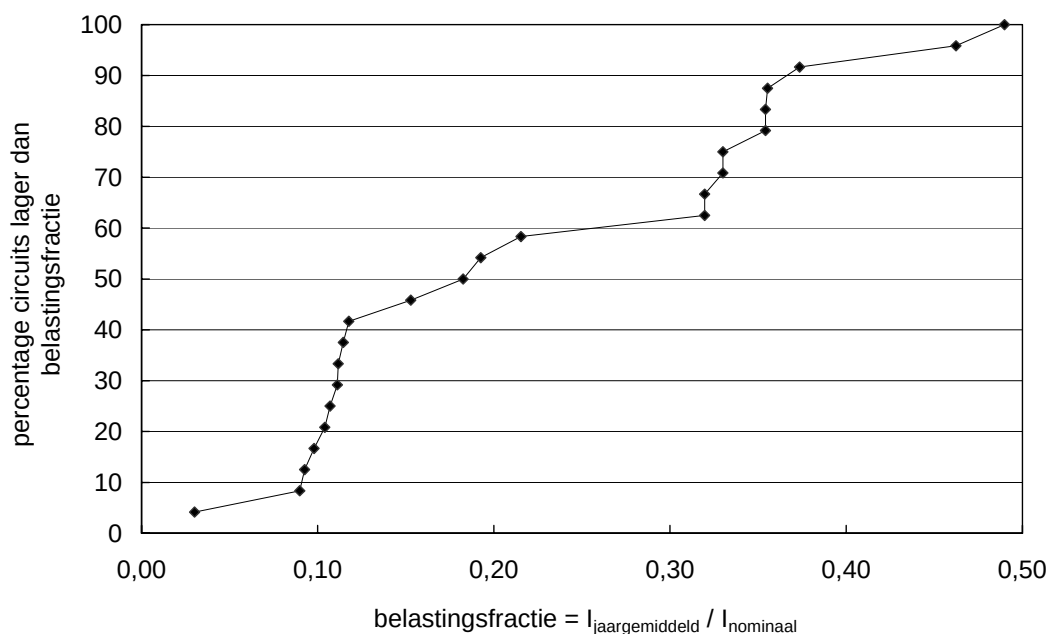
Voor de regionale netten zijn geen gegevens van vergelijkbare kwaliteit en omvang beschikbaar als voor de 220 kV- en 380 kV-lijnen. Op basis van de 28 150 kV-circuits is een voorlopige analyse gemaakt. Figuur 10 geeft voor die circuits de maximale 2 uursbelasting en de jaargemiddelde belasting ten opzichte van de nominale waarde. Van een hoogspanningslijn hebben beide circuits gedurende het gehele jaar 2003 uitgestaan. Van een andere lijn stond er gedurende heel 2003 een circuit uit, waardoor het andere circuit relatief zwaar belast werd. Deze twee lijnen (in totaal vier circuits) zijn niet in de analyse meegenomen.



Figuur 10 Jaargemiddelde stroom en maximale stroom gerelateerd aan de nominale waarde voor 24 150 kV-circuits.

In de figuur valt op dat de maximale 2 uursbelastingen van de regionale netten relatief gezien hoger zijn dan voor de TenneT-lijnen. Van de 150 kV-circuits ligt de maximale 2 uurswaarde in meer dan 75% van de gevallen boven 50% van de nominale belasting. Voor de 380 kV- en 220 kV-circuits was

dat 42%. Tot slot blijken drie circuits (12,5%) een maximale 2 uurswaarde boven de nominale waarde te hebben. De verdeling van de belastingfractie voor deze 150 kV-lijnen is gegeven in Figuur 11. De beschrijvende parameters voor deze verdeling zijn in Tabel 3 gegeven.



Figuur 11 Cumulatieve verdeling van de belastingfracties voor 24 150 kV-circuits, gebaseerd op de nominale belasting.

Tabel 3 Beschrijvende parameters voor de verdeling van belastingfracties gebaseerd op de nominale belasting voor de beschikbare 150 kV-circuits.

parameter	waarde
gemiddelde	0,23
standaarddeviatie	0,13
50-percentiel	0,19
90-percentiel	0,37
95-percentiel	0,45

Deze verdeling wijst ook op een enigszins zwaardere belasting voor de 150 kV-circuits. Voor de TenneT-lijnen is de gemiddelde waarde en de 90-percentiel respectievelijk 0,17 en 0,29 van de nominale belasting. Voor deze beperkte selectie van 150 kV-lijnen is dit 0,23 en 0,37 van de nominale belasting.

4.5 Discussie en conclusies

4.5.1 220 en 380 kV

Zowel de belastingfractie als de reductiefactor (zie Bijlage 3) werden geïntroduceerd om een betrouwbare schatting te kunnen maken van de jaargemiddelde stroom door een circuit voor de komende decennia. Het is mogelijk de rekenstroom te schatten op basis van de jaargemiddelde belasting van de lijnen in 2003, met een correctie voor de groei in belasting die gedurende de komende decennia zal plaatsvinden, bijvoorbeeld door bij het berekenen van de zone voor de 220 kV- en 380 kV-lijnen uit te gaan van een jaargemiddelde belasting ter grootte van 30% van de nominale belasting. In 2003 ligt voor 90% van de lijnen de werkelijke jaargemiddelde belasting onder 30% van de nominale belasting. Een keuze voor bijvoorbeeld 30% van de nominale belasting anticipeert op groei van het elektriciteitsgebruik in de komende decennia. Gevolg van zo'n keuze is wel dat voor naar schatting een tiende deel van de lijnen de stroom en dus ook de zonebreedte wordt onderschat. In 2003 is dat vooral voor de grensoverschrijdende lijnen het geval. Het aantal 'onderschatte' zones kan de komende decennia toenemen. Als de rekenstroom gebaseerd wordt op een hoger percentage van de nominale belasting, bijvoorbeeld 40% of 50%, neemt het aantal 'onderschatte' zones af. Het ruimtebeslag van de zones rond de bovengrondse hoogspanningslijnen neemt door zo'n keuze uiteraard toe.

Uit de in Bijlage 3 gepresenteerde analyse blijkt dat de reductiefactor minder geschikt is om de rekenstroom te bepalen voor de berekening van een stabiele, toekomstgerichte 0,4 microteslazone.

4.5.2 Regionale lijnen

Voor de regionale hoogspanningsnetten (150 kV en lager) zijn onvoldoende gegevens over de belasting van de lijnen bekend. Een goed onderbouwde schatting van het percentage van de nominale belasting dat hier als rekenstroom gebruikt zou kunnen worden, is daarom niet te maken. Voorlopig lijkt een jaargemiddelde belasting ter grootte van 50% van de nominale belasting een geschikte *worst case* keuze.

5 Indicatieve en specifieke zone

5.1 Inleiding

Bij de uitwerking van het hoogspanningslijnenbeleid wordt uitgegaan van twee typen zones: de indicatieve zone en de specifieke zone. De indicatieve zone is bedoeld als schatting voor de breedte van de 0,4 microteslazone. Op basis van de indicatieve zone kan een gemeente of een andere betrokken partij controleren of een voorgenomen ruimtelijk plan geheel of gedeeltelijk binnen de indicatieve zone valt. Als dat niet het geval is dan kan het plan wat betreft de bovengrondse hoogspanningslijnen zonder bezwaar worden gerealiseerd. Overlapt het plan wel met de indicatieve zone dan is het nodig op die plek de (locatie)specifieke zone voor de bovengrondse hoogspanningslijn te bepalen. Als het ruimtelijke plan eveneens de specifieke zone overlapt, beveelt het beleidsadvies aan om binnen het overlappende gebied geen gevoelige bestemmingen te realiseren. Met gevoelige bestemmingen worden woningen, scholen, crèches en kinderdagverblijven bedoeld.

5.2 Indicatieve zone

De indicatieve zone is bedoeld als praktisch hulpmiddel voor gemeenten. Op basis van deze zone kan een gemeente controleren of een ruimtelijk plan mogelijk binnen de 0,4 microteslazone van een bovengrondse hoogspanningslijn valt. Als zo'n plan niet met de indicatieve zone overlapt, mag de gemeente ervan uitgaan dat dat plan, met betrekking tot de bovengrondse hoogspanningslijnen, zonder verdere aanpassing of controle kan worden gerealiseerd.

In 2002 zijn door KEMA/RIVM [40] zones voor het magnetisch veld berekend. In dit KEMA/RIVM-onderzoek zijn de bovengrondse hoogspanningslijnen geïnventariseerd. In principe zijn alle ruim driehonderd hoogspanningslijnen verschillend met betrekking tot masthoogte, masttype, faseconfiguratie, aantal en positie circuits, aantal en positie bliksemdraden, type geleiders, etc. Voor elk van deze parameters is in een gevoeligheidsanalyse beoordeeld hoe de breedte van de zone voor het magnetische veld van de betreffende parameter afhangt [40]. Door voor de meeste parameters een typische waarde te kiezen, kon het aantal door te rekenen configuraties tot ongeveer 45 worden teruggebracht. Op basis van deze configuraties is toen voor elke bovengrondse hoogspanningslijn de breedte van de zone voor magnetische veldsterkten van 0,2; 0,3; 0,4 en 0,5 microtesla berekend. Een selectie van de resultaten is gegeven in Tabel 4.

Tabel 4 50-percentiel en 90-percentiel voor de verdeling van de zonebreedtes van de 0,4 microteslazone per spanningsniveau, volgens KEMA/RIVM [40]. De tabel geeft de volledige breedte van de 0,4 microteslazone.

spanning (kV)	zonebreedte (m) op basis van 50-percentiel	zonebreedte (m) op basis van 90-percentiel
50	54	80
110	67	104
150	111	161
220	198	302
380	237	254
combi	368	395

Voor de typische waarden van de parameters van de hoogspanningslijnen zijn in de KEMA/RIVM-analyse meestal conservatieve keuzes gemaakt. Daarom ligt de breedte van de specifieke zone meestal onder de waarde uit het KEMA/RIVM-onderzoek. Als er gekozen wordt voor de 90-percentielwaarde van de 0,4 microteslazone uit het KEMA/RIVM-onderzoek zal het niet vaak voorkomen dat de ‘KEMA-zonebreedte’ smaller is dan de specifieke zone voor een bovengrondse hoogspanningslijn. Overigens blijft het in uitzonderingsgevallen mogelijk dat de specifieke zone toch breder zal blijken dan de indicatieve zone. Dit kan gebeuren bij hoogspanningslijnen die relatief zwaar worden belast en die ongunstige klokgetallen (de volgorde waarin de geleiders met verschillende fasen van een circuit aan de hoogspanningsmast worden opgehangen) hebben. Een complicatie in dit verband vormt de keuze voor de ontwerpbelasting. De zones in het KEMA/RIVM-onderzoek zijn bepaald op basis van de nominale belasting op de TenneT-kaart van 2000. Als de ontwerpbelasting die bij de berekeningen gebruikt wordt structureel hoger is dan die nominale waarden, wat op basis van paragraaf 4.3 zeker te verwachten valt, kan het frequenter voorkomen dat de specifieke zone breder uitvalt dan de indicatieve zone.

De 90-percentielwaarden voor de breedte van de 0,4 microteslazone uit het KEMA/RIVM-onderzoek worden gebruikt voor de indicatieve zone. Uit praktische overweging wordt de halve zonebreedte vermeld; een zone met een totale breedte van 180 meter wordt weergegeven als 2 x 90 meter. De halve zonebreedte wordt afgerond op het dichtstbijgelegen vijftal. Dit leidt tot de in Tabel 5 vermelde waarden.

Tabel 5 Schatting voor de indicatieve zone per spanningsniveau voor bovengrondse hoogspanningslijnen zoals afgeleid uit het KEMA/RIVM-onderzoek [40].

spanning (kV)	indicatieve 0,4 microteslazone (m)
50	2 x 40
110	2 x 50
150	2 x 80
220	2 x 150
380	2 x 125
combi	2 x 200

Door de indicatieve zone generiek per spanningsniveau vast te leggen, kan op een bepaalde locatie de specifieke zone sterk van de indicatieve zone afwijken. Naar verwachting zal de specifieke zone op de meeste plaatsen smaller zijn dan de in Tabel 5 vermelde waarden voor de indicatieve zone.

5.2.1 TenneT-lijnen

Herberekening TenneT

Om de verschillen tussen de indicatieve en de specifieke zone voor de 220 kV- en 380 kV-lijnen te reduceren, heeft TenneT voor de lijnen onder hun beheer de indicatieve zones door een herberekening lijnspecifiek vastgelegd. Deze zone wordt aangeduid als ‘verbeterde indicatieve zone’.

Bij deze herberekening zijn de parameters waarvoor in de KEMA/RIVM-analyse typische waarden per spanningsniveau waren gekozen (masthoogte, masttype, faseconfiguratie, aantal en positie circuits, aantal en positie bliksemdraden, type geleiders) voor elke aparte TenneT-lijn vastgelegd. Als binnen een lijn verschillende typen masten staan, is de berekening voor de gehele lijn gebaseerd op het meest ‘ongunstige’ masttype. Dat is het masttype dat tot de breedste 0,4 microteslazone leidt. Tevens is TenneT bij deze berekening uitgegaan van een hogere waarde voor de ontwerpbelasting van de lijnen, gebaseerd op stalen of aluminium geleiders (zie paragraaf 4.3). De rekenstroom van 30% van de ontwerpbelasting is op deze hogere belastingen gebaseerd. De herberekening is uitgevoerd door Petersburg Consultants [45]. Op 5 januari 2006 vond op de verbinding Hessenweg-Meeden nog een correctie plaats.

De herberekening leidt uiteindelijk voor elke 220 kV-, 380 kV- en combi-lijn tot een verbeterde indicatieve zone die in de Netkaart (zie Hoofdstuk 7) wordt weergegeven. Deze ‘verbeterde indicatieve zone’ zal dicht bij de specifieke zone liggen. Eigenlijk kan alleen een ander masttype of een afwijkende masthoogte op een bepaalde locatie nog tot een smallere specifieke zone leiden.

Verschillen TenneT-herberekening en KEMA/RIVM-schattingen

De ‘verbeterde indicatieve zones’ worden in Tabel 6 vergeleken met die uit het KEMA/RIVM-onderzoek, bijvoorbeeld op basis van de 90-percentielwaarden voor de halve zonebreedte.

Tabel 6 Vergelijking van de schatting voor de indicatieve zone afgeleid uit het KEMA/RIVM-onderzoek [40] en uit de door TenneT uitgevoerde herberekening [43] op basis van de 90-percentielwaarde voor de verdeling van de zonebreedtes per spanningsniveau.

spanning (kV)	KEMA/RIVM-onderzoek 90-percentiel	TenneT-herberekening 90-percentiel
220	2 x 150	2 x 125
380	2 x 125	2 x 200
combi	2 x 200	2 x 165

Voor de 220 kV-lijnen en de combilijnen blijkt de schatting voor de indicatieve zonebreedte uit de KEMA/RIVM-analyse inderdaad conservatief te zijn. Voor die spanningsniveaus is de breedte van de ‘verbeterde indicatieve zone’ in alle gevallen kleiner dan de schatting voor de indicatieve zone gebaseerd op het 90-percentiel uit het KEMA/RIVM-onderzoek. Voor de 380 kV ligt de situatie anders. Daar is voor 22 van de 27 lijnen de ‘verbeterde indicatieve zone’ breder dan op grond van de 90-percentielwaarde uit de KEMA/RIVM-analyse kon worden verwacht. Gemiddeld over alle 380 kV-

lijnen is de (halve) zone van de ‘verbeterde indicatieve zone’ ongeveer 23 meter breder. Blijkbaar levert de overstap van de typische KEMA/RIVM-waarden naar de werkelijke waarden op lijnniveau in combinatie met de zwaardere ontwerpbelasting bij de 380 kV-lijnen een bredere zone op. Waarom dit effect niet bij de 220 kV- en combinatielijnen optreedt, is op dit moment niet duidelijk.

5.2.2 Spanningsniveau 150 kV en lager

Voor de hoogspanningslijnen met een spanningsniveau van 150 kV, 110 kV en 50 kV heeft geen herberekening op basis van de gegevens voor de individuele lijnen plaatsgevonden. Voor deze lijnen ligt dat moeilijker omdat het aantal lijnen groter is, omdat de invoergegevens niet op één plek zijn vastgelegd en omdat het beheer van de lijnen over een viertal regionale netbeheerders is verdeeld. Voor deze lijnen wordt de breedte van de indicatieve zone noodzakelijkerwijs gebaseerd op de globale gegevens uit het KEMA/RIVM-onderzoek. Op grond van het waargenomen verschil tussen de zone die volgt uit het KEMA/RIVM-onderzoek en de ‘verbeterde indicatieve zone’ voor de 380 kV-lijnen is een dergelijke herberekening, vooral voor de 150 kV-lijnen wenselijk, zeker omdat het juist dit type lijnen is die in de buurt van woningen voorkomen.

5.2.3 Indicatieve zones in de Netkaart

In de Netkaart die via de RIVM-website als webapplicatie voor gemeenten en andere betrokkenen beschikbaar is, zijn de in Tabel 7 weergegeven waarden voor de indicatieve zones opgenomen.

Tabel 7 Waarden voor de indicatieve zones die per 3 oktober 2005 in de Netkaart zijn opgenomen.

spanning (kV)	indicatieve 0,4 microteslazon (m)
50	2 x 40
110	2 x 50
150	2 x 80
220	lijnspecifiek; range van 2 x 45 tot 2 x 125
380	lijnspecifiek; range van 2 x 110 tot 2 x 215
combi	lijnspecifiek; range van 2 x 45 tot 2 x 165

5.3 Specifieke zone

Voor de situaties waar de grenzen van een ruimtelijk plan overlappen met de indicatieve zone rond een bovengrondse hoogspanningslijnplan adviseert de staatssecretaris de specifieke zone te bepalen. Het is belangrijk de berekening van de specifieke zone te standaardiseren en transparant en verifieerbaar te maken. Daarvoor heeft RIVM, in opdracht van het ministerie van VROM, de ‘handreiking voor het berekenen van de specifieke 0,4 microteslazon in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen’ opgesteld. De eerste versie van deze handreiking (1.0) is in Bijlage 4 opgenomen. In Hoofdstuk 6 wordt deze handreiking verder besproken.

Voor de 220 en 380 kV-lijnen zal de specifieke zone naar verwachting goed aansluiten bij de waarden in de Netkaart. In hoeverre dit ook geldt voor de specifieke zones voor 150, 110 en 50 kV is op dit moment niet te voorspellen.

6 Handreiking berekening specifieke zone

6.1 Inleiding

In het kader van het beleid voor bovengrondse hoogspanningslijnen is het noodzakelijk een zone voor het magnetische veld vast te stellen. Begin 2005 was er voor zo'n zone geen internationaal of nationaal vastgelegde berekeningsprocedure. Daarom is besloten een berekeningsvoorschrift voor de Nederlandse situatie op te stellen. Dit is gebeurd in nauw overleg tussen TenneT (beheerder van het landelijke koppelnet), EnergieNed (vertegenwoordiger van de regionale netbeheerders), VROM en RIVM. In dat overleg speelden de volgende vragen een centrale rol:

- welke parameters zijn (minimaal) nodig voor een zinvolle berekening?
- wat zijn de onnauwkeurigheden in de parameters en wat betekent dat voor de berekende zonebreedte?
- welke modellen kunnen worden gebruikt voor het berekenen van de magnetische velden?
- hoe kunnen invoergegevens, berekeningsmethode en resultaten verifieerbaar worden gerapporteerd?

In september 2005 werd versie 1.0 van de handreiking door de betrokken partijen vastgesteld. Deze versie van de handreiking is in Bijlage 4 opgenomen. De handreiking is zeker geen IEC-procedure of CENELEC- of NEN-norm voor het berekenen van magnetische velden bij hoogspanningslijnen of voor het berekenen van de breedte van de magneetveldzone. Het doel van de handreiking is een eenvoudige en adequate berekeningsmethode vast te leggen die aansluit bij het Nederlandse beleid voor hoogspanningslijnen. Mogelijk zal in de toekomst in IEC of ander verband een 'harde' berekeningsprocedure of geharmoniseerde norm worden vastgesteld. Er is door IEC wel een *meet*procedure voor magnetische velden in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen voorgesteld [46].

In dit hoofdstuk passeren de belangrijkste discussiepunten de revue en de keuzes die daarvoor in de handreiking zijn gemaakt.

6.2 Stroom

6.2.1 Rekenstroom

De stroom die als invoer voor de berekening wordt gebruikt, is van doorslaggevend belang. Op grond van de analyse van de belastinggegevens over 2003 (Hoofdstuk 4) is er in het overleg tussen de netbeheerders en het ministerie voor gekozen om voor de 220 en 380 kV-circuits uit te gaan van 30% van de ontwerpbelasting waarvoor een circuit is ontworpen. Voor de regionale netten (50 kV, 110 kV en 150 kV) wordt bij de berekening uitgegaan van 50% van deze ontwerpbelasting. Uit de rekenstroom wordt vervolgens met een geschikt softwarepakket de magnetische veldsterkte als functie van de afstand tot de hoogspanningslijn berekend. Ten slotte wordt uit deze curve de breedte van de 0,4 microteslazonen bepaald.

6.2.2 Jaargemiddelde stroom versus jaargemiddelde zone

In het hoogspanningslijnenbeleid vindt zonering plaats op basis van de jaargemiddelde waarde van de breedte van de 0,4 microteslazone. Feitelijk zou voor elke 2 uurswaarde van de stroom voor het gehele jaar de breedte van de 0,4 microteslazone berekend moeten worden. Het gemiddelde van deze 2 uurswaarden over het gehele jaar is dan de jaargemiddelde zonebreedte voor de 0,4 microteslazone. In de handreiking is er op praktische gronden voor gekozen om eerst het jaargemiddelde van de stroom te bepalen en daarmee de breedte van de jaargemiddelde 0,4 microteslazone uit te rekenen. Omdat het verband tussen stroom en zonebreedte niet lineair is zijn beide methodes niet equivalent. Uit Bijlage 5 volgt dat de zonebreedte in goede benadering evenredig is met de wortel uit de stroom door de circuits.

Om te bepalen welke invloed het eerst middelen van de stroom en dan berekenen van de zonebreedte op de jaargemiddelde zonebreedte heeft, is voor de 380 kV-lijn uit Figuur 3 de volgende aanpak gevolgd. Allereerst is voor het circuit de jaargemiddelde stroom bepaald (417,5 A). Bij deze stroom hoort een zonebreedte van 120 meter (afstand tot hart van de lijn). Vervolgens is voor elke 2 uurswaarde van de stroomsterkte de bijbehorende zonebreedte bepaald. Al deze 2 uurszonebreedtes zijn gemiddeld tot de jaargemiddelde zonebreedte. Op deze manier werd een jaargemiddelde 0,4 microteslazonebreedte berekend van 117 meter, 2,5% minder dan op basis van de jaargemiddelde stroom.

Het eerst bepalen van de jaargemiddelde stroom en daaruit de jaargemiddelde zonebreedte levert een overschatting van de breedte van de 0,4 microteslazone met enkele procenten.

6.3 Ontwerpbelasting

De rekenstroom wordt direct afgeleid uit de maximale belasting waarop een circuit is ontworpen. Deze ontwerpbelasting is uitgebreid bediscussieerd. Op het moment van het lanceren van het nieuwe beleid was die discussie nog niet volledig uitgekristalliseerd. In de handreiking is ervoor gekozen van de ontwerpbelastingen uit te gaan zoals die door TenneT en de regionale netbeheerders eind 2005 in de capaciteitsplannen zouden worden vastgelegd. Vanwege organisatorische problemen zijn de netbeheerders er niet in geslaagd deze ontwerpwaarden in de capaciteitsplannen op te nemen. Het bereiken van consensus over deze ontwerpbelastingen en het eenduidig vastleggen daarvan is cruciaal voor een transparant en controleerbaar hoogspanningslijnenbeleid.

6.4 Rekenmodellen

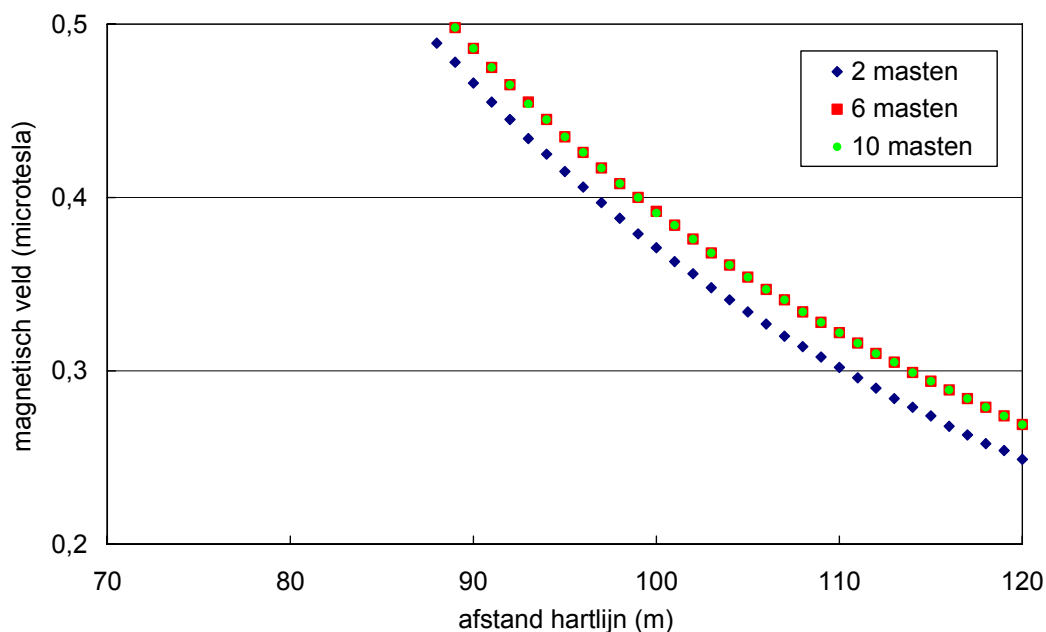
Het uitvoeren van een modelvergelijking voor de verschillende softwarepakketten voor de berekening van magnetische velden in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen viel buiten het kader van dit onderzoek. In de handreiking wordt ervan uitgegaan dat de in Nederland gebruikte softwarepakketten geschikt zijn voor het berekenen van magnetische velden in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen. Deze softwarepakketten berekenen het magnetische veld als functie van de afstand tot het hart van de lijn. Uit deze curven kan de gebruiker de breedte van de 0,4 microteslazone eenvoudig bepalen.

6.5 Aardgeleidingsweerstand

De weerstand van de hoogspanningsmasten ten opzichte van aarde, de zogenaamde aardgeleidingsweerstand, kan de magnetische velden in de buurt van een hoogspanningslijn beïnvloeden. Deze invloed is beperkt tot een gebied in de onmiddellijke nabijheid van de masten [47]. De breedte van de 0,4 microteslazone wordt midden tussen twee masten bepaald (de plek van de grootste doorhang), typisch op zo'n 150 meter van een mast. Daarom zal de invloed van de aardgeleidingsweerstand verwaarloosbaar zijn. Niet alle gebruikte softwarepakketten kunnen rekening houden met de aardgeleidingsweerstand. EFC-400 bijvoorbeeld, dat binnen RIVM wordt gebruikt, kent de aardgeleidingsweerstand niet als invoerparameter. In feite gaan die softwarepakketten ervan uit dat de aardgeleidingsweerstand 0 is. De hoogspanningsmast is geleidend met de aarde verbonden. Dat geldt natuurlijk niet voor de stroomvoerende circuits die isolerend ten opzichte van de mast zijn opgehangen.

6.6 Lengte lijngedeelte

De berekening van de zonebreedte is gebaseerd op een lijngedeelte van twee masten. Als een groter gedeelte van de lijn in de berekening wordt meegenomen, verandert het magnetisch veld enigszins. Om de grootte van dit effect in te schatten is eerste een zoneberekening gedaan midden tussen twee masten die op een afstand van 400 meter van elkaar staan. Vervolgens zijn aan weerszijden van deze twee masten nieuwe masten toegevoegd. Er zijn drie situaties doorgerekend: twee masten in totaal, zes masten in totaal (lijngedeelte van 2 km) en tien masten in totaal (lijngedeelte van 3,6 km). Voor al deze situaties is steeds het magnetisch veldprofiel midden tussen de twee oorspronkelijk masten berekend. Het gedeelte van dit profiel rond een magnetische veldsterkte van 0,4 microtesla is in Figuur 12 weergegeven. Uit Figuur 12 blijkt dat het aantal masten van invloed is op de berekende breedte van de 0,4 microteslazone.



Figuur 12 Invloed van de lengte van het lijngedeelte in de berekening op de breedte van de 0,4 microteslazone; de berekening is gedaan voor een 380 kV-lijn, stroom 1000 A met Donaumasten, het meest gebruikte masttype in Nederland waar de geleiders in een driehoeksvorm worden opgehangen.

Berekeningen voor een lijngedeelte met twee masten levert een smallere zone dan voor een lijngedeelte met zes masten. De extra gedeelten leveren ook een (kleine) bijdrage. De overgang van zes masten naar tien masten levert hoegenaamd geen verschil meer op (zie Tabel 8).

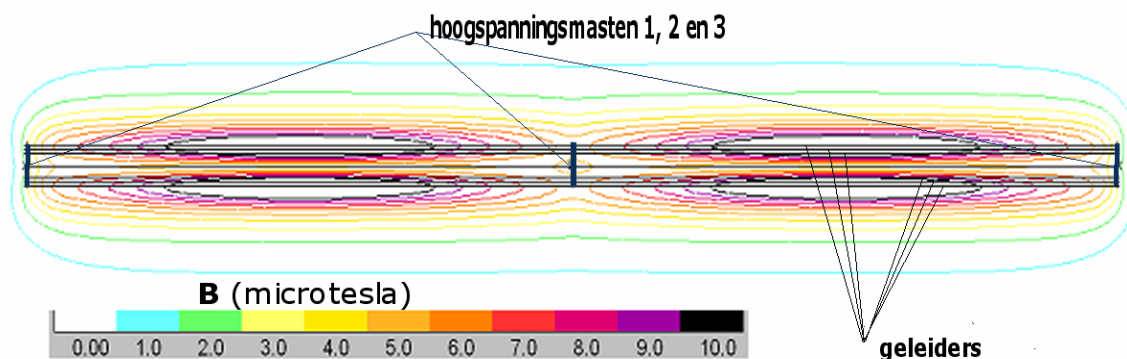
Tabel 8 Invloed van het aantal masten op de berekende zonebreedte.

	aantal masten		
	2	6	10
breedte 0,4 microteslazone (meter)	96,7	99,0	99,0

De invloed van het aantal masten bedraagt hooguit enkele procenten. Voor de hoogspanningslijn uit Figuur 12 is de 0,4 microteslazone berekend op basis van twee masten ruim 2% smaller dan die berekend voor zes of tien masten.

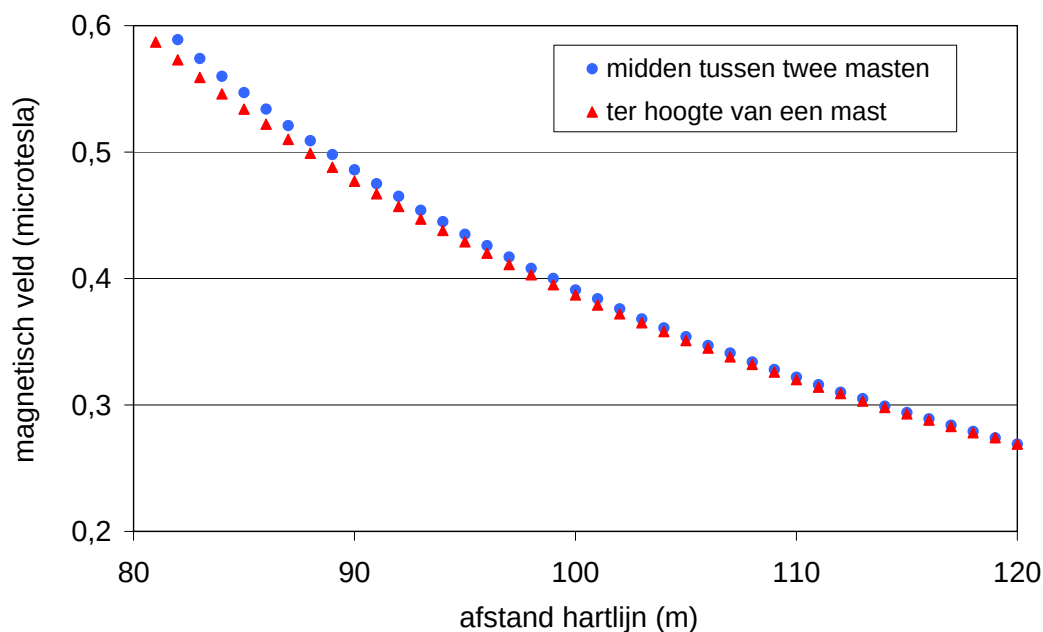
6.7 Kromming 0,4 microteslacontour

De contouren van gelijke magnetische veldsterkten vormen in de buurt van een bovengrondse hoogspanningslijn geen rechte lijnen. Bij de masten zal de zonebreedte kleiner zijn dan op de plaats van de grootste doorhang (midden tussen twee masten): zie Figuur 13.



Figuur 13 Bovenaanzicht op een segment van drie masten van een typische 380 kV-bovengrondse hoogspanningslijn. De contouren voor het magnetische veld zijn in de verschillende kleuren weergegeven.

Hoe dichterbij de hoogspanningslijn, des te groter de invloed van de kromming op de zonebreedte. Voor sterktes in de buurt van 0,4 microtesla ligt de contour inmiddels zover van het hart van de hoogspanningslijn dat het effect van de doorhangende geleiders minder dan een procent is (Figuur 14).



Figuur 14 Het magnetische veld als functie van de afstand, in het gebied waar de veldsterkte ongeveer 0,4 microtesla bedraagt; de berekening is gedaan voor een 380 kV-lijn, stroom 1000 A, met tien Donaumasten, het meest gebruikte masttype in Nederland waar de geleiders in een driehoeksvorm worden opgehangen.

Voor de lijnconfiguratie in Figuur 14 bedraagt de breedte van de 0,4 microteslazone ter hoogte van de masten $2 \times 98,4$ meter en midden tussen de masten $2 \times 99,0$ meter, een verschil van ongeveer 0,6%. De 0,4 microteslacontour wordt daarom in goede benadering als een rechte lijn op een vaste afstand van het hart van de hoogspanningslijn beschouwd.

6.8 Symmetrie

Door verschil in geleiderconfiguratie en klokgetallen zal de 0,4 microteslacontour aan de ene zijde van de lijn meestal niet op dezelfde afstand liggen als aan de andere zijde. Van de 22 berekende zones voor de 380 kV-lijnen is er slechts één precies symmetrisch. Als steeds ter linker- en ter rechterzijde de afstand van de 0,4 microteslacontour tot het hart van de hoogspanningslijn wordt bepaald en de grootste afstand gedeeld door de kleinste, dan bedraagt de grootste afwijking die gevonden is 30%. Gemiddeld is het zo berekende quotiënt 1,09. Omdat deze verschillen aanzienlijk zijn, is er in de handreiking voor gekozen de zones aan beide zijden van de hoogspanningslijnen te berekenen en, als deze van elkaar afwijken, apart te vermelden.

6.9 Nauwkeurigheid zonebreedte

Softwarepakketten kunnen het magnetische veld als functie van de afstand tot het hart van een hoogspanningslijn nauwkeurig berekenen. Echter, bij het samenstellen van de invoergegevens en de randvoorwaarden voor de berekening is een aantal keuzes gemaakt die van invloed zijn op de berekende breedte van de 0,4 microteslazone. Daarnaast is het mogelijk dat de keuze van het softwarepakket van invloed is op de zonebreedte. De gemaakte keuzes voor de randvoorwaarden van de berekening leiden tot onnauwkeurigheid in de breedte van de berekende 0,4 microteslazone. Daarom is ervoor gekozen om de volgens de handreiking berekende zonebreedte af te ronden op het dichtstbijzijnde vijftal. Dit voorkomt een onterechte suggestie van grote nauwkeurigheid in de berekende zonebreedte.

Invoergegevens

In de eerste plaats is de keuze voor de rekenstroom als een fractie van de ontwerpbelasting cruciaal voor de uiteindelijk berekende zonebreedte. Voor 220 kV en 380 kV is gekozen om met 30% van de ontwerpbelasting te werken en voor de overige spanningsniveaus met 50% van de ontwerpbelasting. NB Op dit moment is de ontwerpbelasting geen eenduidig vastgelegde parameter. Veranderingen in de ontwerpbelastingen leiden direct tot andere zonebreedtes.

Randvoorwaarden berekening

Naast de invoergegevens is een aantal keuzes gemaakt voor de randvoorwaarden waaronder berekening plaatsvindt (aardgeleidingsweerstand, aantal masten, kromming contouren, symmetrie contouren). De gemaakte keuzes zijn vooral bedoeld om de berekeningen zo eenvoudig mogelijk te houden en de resultaten eenvoudig toepasbaar te maken. Naar schatting leiden de gemaakte keuzes voor de randvoorwaarden tot een onnauwkeurigheid van maximaal 5% in de berekende breedte van de 0,4 microteslazone.

Softwarepakketten

Tot slot is het goed mogelijk dat de verschillende softwarepakketten voor de berekening van magnetische velden tot verschillende zonebreedtes leiden. Omdat er geen vergelijking van de gebruikte softwarepakketten is gemaakt, kan de invloed hiervan op de zonebreedte niet worden ingeschat.

7 Website en Netkaart

7.1 Website

Om het nieuwe beleid voor bovengrondse hoogspanningslijnen op een duidelijke manier aan gemeenten en provincies te presenteren, heeft RIVM in opdracht van het ministerie van VROM een website ontwikkeld (www.rivm.nl/hoogspanningslijnen). Naast uitleg over het beleid zelf bevat de website een kaart van Nederland met daarop de bovengrondse hoogspanningslijnen, de Netkaart.

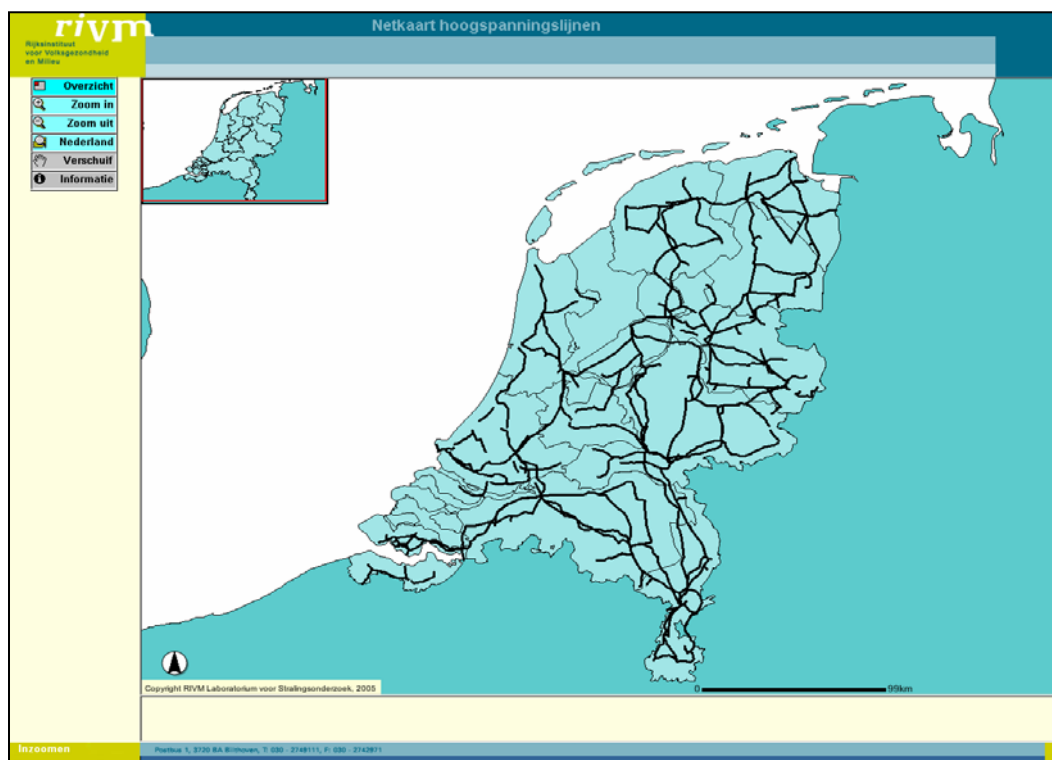


Figuur 15 Introductiepagina van de RIVM-website 'Hoogspanningslijnen', www.rivm.nl/hoogspanningslijnen.

7.2 Netkaart

Via een pagina met informatie over het gebruik van de Netkaart kunnen de bezoekers van de website de Netkaart bereiken. Gebruikers kunnen op deze Netkaart inzoomen op het door hen gewenste gebied en via een informatiebutton de gegevens over de hoogspanningslijnen in het zoekgebied opvragen. De Netkaart bevat gegevens over het spanningsniveau, de indicatieve zone en (indien berekend) de specifieke zone. Daarnaast is een telefoonnummer van de netbeheerder opgenomen (zie Figuur 16). De gegevens voor de Netkaart zijn een uittreksel uit het door RIVM beheerde Geografische Informatiesysteem (GINIS). Het digitale bestand met de locaties en eigenschappen van de bovengrondse hoogspanningslijnen is door KEMA in samenwerking met RIVM geproduceerd in het kader van een vooronderzoek naar kosten en baten van technische maatregelen voor de reductie van magnetische velden bij bovengrondse hoogspanningslijnen [48]. Het digitaliseren van locaties van de hoogspanningslijnen en het verzamelen van de gegevens is in dat vooronderzoek gedetailleerd beschreven [48]. Globaal komt de procedure op het volgende neer. De locaties van de bovengrondse hoogspanningslijnen zijn door KEMA gescand vanaf de topografische kaarten 1:25.000 zoals die begin 2002 beschikbaar waren. De Topografische Dienst actualiseert deze kaarten in een vierjaarlijkse cyclus. De door KEMA gebruikte kaarten variëren in uitgiftejaar van 1995 tot 2001. Aanvullend is door KEMA op sommige plaatsen gecontroleerd of de gegevens van de topografische kaarten overeenstemden met de werkelijkheid. Dit heeft tot enkele wijzigingen in het gedigitaliseerde bestand geleid. Elke bovengrondse hoogspanningslijn wordt vastgelegd door het spanningsniveau en een geografische aanduiding van het begin- en het eindpunt, zoals die op de door TenneT uitgegeven kaart van het Nederlands Hoogspanningsnet (uitgave 1 januari 2000, schaal 1:350.000) is vermeld. Het zo verkregen bestand is door RIVM als GINIS versie 1.0, 2002 in een ESRI GIS-systeem opgenomen. De afgelopen jaren heeft RIVM dit bestand op ad hoc basis geactualiseerd. Wijzigingen die RIVM via incidentele contacten met netbeheerders of gemeenten of uit de pers verneemt, worden – mits voldoende gedocumenteerd – in het GINIS opgenomen. In de praktijk heeft dit geleid tot wijzigingen in het GINIS voor onder meer de gemeente Bunnik (Odijk) en de gemeente Utrecht (Leidsche Rijn).

De hoogspanningslijnen worden in de Netkaart geprojecteerd op een door RIVM in 1995 bewerkte ‘wegenkaart’. Deze achtergrondkaart is bedoeld als globale oriëntatie voor de gebruiker. De achtergrondkaart is bruikbaar tot een schaal van 1:30.000, een gebied van circa 10 km x 6,5 km (afhankelijk van de schermgrootte). Als nog verder wordt ingezoomd gaat de Netkaart over op een egale blauwgrijze achtergrond.



hoogspanningslijnen_informatie						
Rec	HOOGSPANNINGSLIJNEN_INFORMATIE.OBJECTID_12	Lijn	Spanning kV	Indicatieve zone	Specifieke zone	Netbeheerder
1	2340	driebergen-nieuwegein	150	2x 80 meter	niet berekend	ENECO Netbeheer BV 0900-1426

Figuur 16 Startpagina voor de Netkaart (boven) en een ingezoomde pagina (onder) met de tabel die informatie verstrekt over de zones rond de aangegeven hoogspanningslijn en over de netbeheerder.

8 Afsluitende opmerkingen

Achtergrond beleid

De totaliteit van epidemiologisch onderzoek wijst op een redelijk consistente associatie tussen het vóórkomen van leukemie bij kinderen en het wonen in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen, maar een oorzakelijk verband is niet aangetoond. De mogelijkheid van een gezondheidseffect, de wetenschappelijke onzekerheid en de bezorgdheid bij burgers waren voor de Nederlandse overheid aanleiding voor verder onderzoek en voor passende maatregelen. Doel van het beleid bij deze maatregelen is 'nieuwe situaties waarbij kinderen worden blootgesteld aan magneetvelden, zo veel als mogelijk is, te vermijden'. Magnetische velden staan centraal in het beleid omdat die velden, als er een oorzakelijk verband tussen kinderleukemie en wonen bij bovengrondse hoogspanningslijn zou zijn, op dit moment de meest voor de hand liggende veroorzakende factor lijken [2].

Uitwerking beleid

Na consultatie van alle betrokkenen heeft de overheid besloten voor de bovengrondse hoogspanningslijnen een zone te definiëren waarbinnen het jaargemiddelde magnetische veld sterker is dan 0,4 microtesla of in de toekomst kan worden. De toenmalige staatssecretaris adviseerde om binnen deze zone geen nieuwe woningen, scholen, crèches en kinderdagverblijven te realiseren. De manier waarop deze zone kan worden uitgerekend, is in overleg tussen het ministerie van VROM en de beheerders van de bovengrondse hoogspanningslijnen uitgewerkt en door RIVM in een handreiking vastgelegd.

Zoneberekening

De breedte van de 0,4 microteslazone wordt vooral bepaald door de jaargemiddelde (reken)stroom door de hoogspanningslijn die in de berekening wordt gebruikt. Als rekenstroom is gekozen voor een vast percentage ⁹ van de maximale belasting waarop de hoogspanningslijn is ontworpen. Voor de regionale netten is een betere schatting van de jaargemiddelde belasting wenselijk. Als er betere gegevens beschikbaar komen, kan analyse van die belastinggegevens leiden tot een betere schatting van de rekenstroom als fractie van de ontwerpbelasting voor de regionale netten. Echter, de ontwerpbelastingen voor de verschillende hoogspanningslijnen zijn op dit moment niet eenduidig en transparant vastgelegd. Afhankelijk van het inzicht van degene die de zoneberekening uitvoert, kan de berekende breedte hierdoor variëren.

Om de 0,4 microteslazone een solide en inzichtelijke basis te geven, verdient het daarom aanbeveling de ontwerpbelasting voor alle bovengrondse hoogspanningslijnen in Nederland in overleg met de netbeheerders op een toegankelijk en eenduidige manier vast te leggen. Dit kan bijvoorbeeld als een lijst op de RIVM-website Hoogspanningslijnen of als extra gegeven in de Netkaart.

Daarnaast is het aan te bevelen de softwarepakketten waarmee de specifieke zone kan worden berekend onderling te vergelijken.

Actualiteit Netkaart

Ter ondersteuning van gemeenten en provincies heeft RIVM een website gemaakt met daarin een overzichtskaart van het Nederlandse bovengrondse hoogspanningsnet. Deze kaart dient als basis voor de beleidsafweging van de gemeente. De kaart is in 2002 gedigitaliseerd op basis van topografische kaarten waarvan sommige uit 1995 stamden. De nu opgenomen Netkaart kan daarom lokaal verouderd en onjuist zijn. Tevens is bij het gebruik van de Netkaart gebleken dat er op een aantal plaatsen bovengrondse

⁹ 30% voor de 380 kV- en 220 kV-lijnen, 50% voor de regionale hoogspanningslijnen.

hoogspanningslijnen bij het scannen zijn overgeslagen. Omdat er op dit moment geen structurele aanpak voor de actualisatie van de Netkaart bestaat, kan het enige tijd duren voor dergelijke tekortkomingen worden gesignaleerd en verholpen. Het verdient daarom aanbeveling om het actualiseren van de Netkaart op een planmatige en structurele manier te laten plaatsvinden. De kennis van de netbeheerders over locatie en eigenschappen van de bovengrondse hoogspanningslijnen is daarbij voor een betrouwbaar resultaat onontbeerlijk. Daarnaast is het – in verband met de gebruiksvriendelijkheid van de Netkaart – aan te bevelen om de achtergrond van de Netkaart te vervangen door een meer gedetailleerde, actuele topografische kaart.

Afkortingen

B	magnetische fluxdichtheid (eenheid: microtesla, μT)
BAHLOO	Beleidsalternatieven Hoogspanningslijnen Onderling Overlegd
CENELEC	Comité Européen de Normalisation Electrotechnique/European Committee on Electrotechnical Standardisation
EFC-400	computerprogramma van Forschungsgesellschaft für Energie und Umwelttechnology GmbH
ELF	extreem-laagfrequent
EMS	Energy Management System
GINIS	Geografisch Informatiesysteem Niet-Ioniserende Straling (van het RIVM)
Hz	hertz, eenheid van frequentie (1/s)
IARC	International Agency for Research on Cancer
IEC	International Electrotechnical Committee
KEMA	Keuring van Elektrotechnische Materialen
kV	kilovolt = 100 volt (eenheid van elektrische spanning)
Mvar	blindvermogen
MW	vermogen in megawatt
NEN	Nederlands Normalisatie Instituut
NMP4	Vierde Nationaal Milieubeleidsplan
NOR	Nuchter omgaan met risico's
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
RMS	Root Mean Square
TenneT	Beheerder van het landelijke koppelnet
VROM	ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer
WHO	World Health Organisation

Verklarende woordenlijst

Belastingfractie	de over een jaar gemiddelde 2 uurswaarde van de belasting van een circuit gedeeld door de ontwerpbelasting.
Circuit	een samenstel van drie aan een bovengrondse hoogspanningslijn hangende geleiders met verschillende fase. Door een slimme keuze van de volgorde waarin de geleiders met verschillende fasen binnen één circuit aan de hoogspanningsmast worden opgehangen, reduceren de verschillende fasen het resulterende magnetische veld.
Nominale belasting	belasting zoals die op de TenneT-kaart is vermeld, een soort ‘gebruikswaarde’ van de belasting van de circuits in de praktijk.
Ontwerpbelasting	de belasting die een circuit maximaal gedurende langere tijd kan voeren, vooral bepaald door de geleiders (materiaal, oppervlaktebehandeling en doorsnede) en door omgevingsfactoren (temperatuur en windsnelheid).
Reductiefactor	de over een jaar gemiddelde 2 uurswaarde van de belasting van een circuit gedeeld door de maximaal in dat jaar gemeten 2 uurswaarde van de belasting.
Rekenstroom	de stroom door een circuit die bij de berekening van de 0,4 microteslazone in de softwarepakketten wordt ingevoerd.

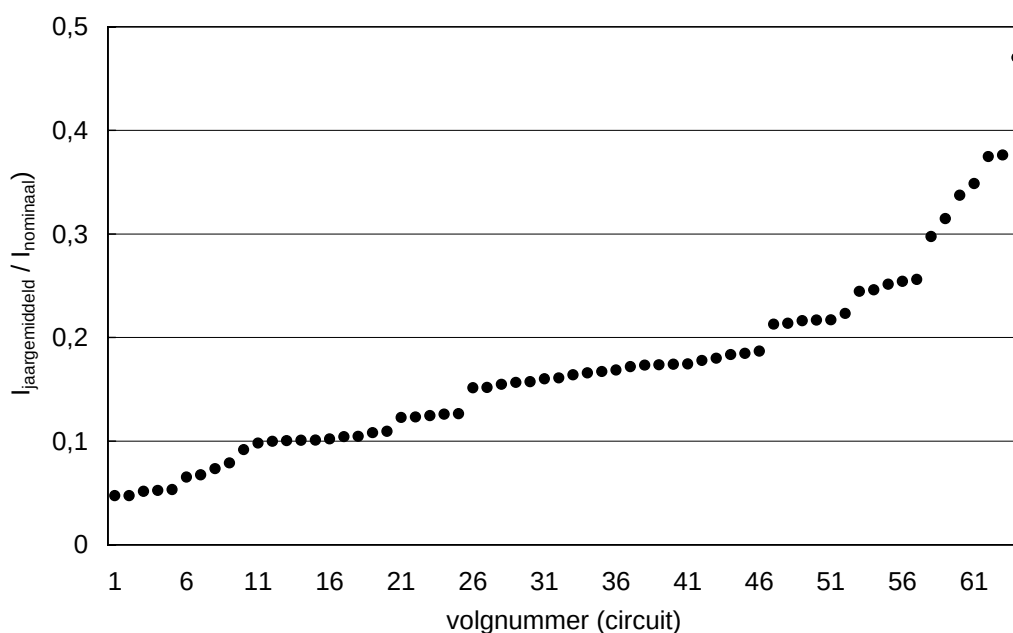
Bijlage 1 Uniformiteit belastinggegevens

E-mailbijlage, gebruikt om de gegevens van de regionale netbeheerders te uniformeren
RIVM, 14 juli 2005.

Inleiding

Bij het lanceren van het nieuwe beleid voor bovengrondse hoogspanningslijnen brengt het ministerie van VROM een handreiking uit voor het berekenen van de magneetveldzone. De berekening voor deze zone is gebaseerd op de jaargemiddelde stroom door de circuits van een bovengrondse hoogspanningslijn. Om in de toekomst groei van de belasting mogelijk te maken, wordt deze jaargemiddelde stroom gerelateerd aan de ontwerpbelastingen¹⁰ voor de hoogspanningslijn, met betrekking tot stroom en spanning.

Besloten is om op basis van de gegevens voor het gehele jaar 2003 voor jaargemiddelde stroom, maximale stroom en ontwerpstroom te analyseren welk percentage van de ontwerpstroom als een redelijke, toekomstgerichte schatting voor de inputwaarde in de handreiking gebruikt kan worden. Voor de 380 kV en de 220 kV is deze aanpak reeds voltooid. Vooral op basis van het onderstaande plaatje is daar gekozen om uit te gaan van een rekenstroom ter grootte van 30% van de nominale stroom (ontwerpbelasting). Uit het plaatje zie je dat de belasting voor zo'n 95% van de lijnen onder deze 30% van nominaal ligt wat naar de inschatting van het ministerie voldoende mogelijkheden voor groei biedt.



Ook voor de lagere spanningsniveaus (150 kV, 110 kV en 50 kV) is een dergelijke schatting nodig. Dat betekent dat het RIVM voor een representatief gedeelte van het hoogspanningsnet over vergelijkbare

¹⁰ Deze ontwerpbelastingen zullen in het Capaciteitsplan van 1 december 2005 voor alle lijnen worden vastgelegd. Als er voor een lijn geen ontwerpbelasting beschikbaar is, wordt voorlopig gebruikgemaakt van de nominale waarde, zoals vermeld op de TenneT-kaart van 1 januari 2004.

gegevens zou moeten beschikken voor de andere spanningsniveaus. Via EnergieNed hebben jullie inmiddels dat verzoek ontvangen. De eerste zending gegevens was uitermate divers en gaf bovendien geen inzicht in welk gedeelte van de bovengrondse lijnen nu door deze gegevens wordt beslagen. Daarom hierbij enkele aanwijzingen voor het aanleveren van de belastinggegevens van de hoogspanningslijnen.

Aan te leveren gegevens

Representativiteit

Als alle (of de meeste) netbeheerders gegevens hebben aangeleverd is het belangrijk te kunnen inschatten welk gedeelte van het net in beeld is gebracht. Dit kan gebeuren door bij elke lijn de lijnlengte (niet de circuitlengte) te vermelden. Het is ook voldoende om een verantwoorde schatting te geven voor de totale lengte van de lijnen (niet de circuitlengte) in de aanlevering, in vergelijking met de totale lengte die een netbeheerder onder beheer heeft. Bijvoorbeeld: de bestanden in deze mail bevatten gegevens voor 900 km hoogspanningslijn van de 1600 km die beheert.

Naam

In principe wordt elk circuit apart ingestuurd door de naam van de lijn en de 'kleur' van het circuit te vermelden. Daarbij is het belangrijk om het circuit ook geografisch te kunnen plaatsen door er een voor het RIVM begrijpelijke naam en kleurcombinatie aan te geven. De naam Hengelo-Gronau-Zwart zegt ons meer dan HGL-GNA-Z, en een naam als DDR_ST.VELD.V12_50 kunnen we helemaal niet plaatsen (dit is overigens Dordrecht (Sterrenburg) – Klaaswaal – Zwart).

Ontwerpcircuits

Per lijn het aantal circuits waarop de lijn is ontworpen.

Ontwerpwaarde spanning

De spanning waarvoor de lijn/het circuit is ontworpen.

Jaargemiddelde stroom

Het jaargemiddelde van de stroom door alle 2 uurswaarden over het gehele jaar te middelen. Eventueel kunnen ook alle 5 minutenwaarden worden gemiddeld. Het jaargemiddelde moet voor 2003 worden berekend.

Maximale stroom

Dit is het maximum van de over twee uur gemiddelde stroomwaarden zoals dat in het jaar 2003 is waargenomen. Het is belangrijk dat eerst over twee uur wordt gemiddeld voordat het maximum wordt bepaald. Als het maximum op basis van 5 minutenwaarden wordt berekend zal er iets anders uitkomen.

Ontwerpwaarde stroom

De stroom waarop het circuit is ontworpen.

Deze gegevens tezamen worden als Excel-sheets aangeleverd aan het RIVM (gert.kelfkens@rivm.nl) met een cc naar EnergieNed (jkonigstein@energiened.nl). Een voorbeeld voor een (denkbeeldige) 150 kV-lijn is de volgende tabel (Excel-sheet).

U (kV)	naam lijn	ncircuit	circuit aanduiding	I jaargemiddeld (A)	I maximaal 2 uurs- gemiddelde (A)	I ontwerp of nominaal (A)
150	Zeist - Vianen	2	Ze-Vi-Zw	560	1035	1075
			Ze-Vi-Wi	580	995	1075
150	Vianen - Arkel	etc.	...	...	...	...
			...	...	...	...

Als het lukt deze gegevens voor een representatief gedeelte van het bovengrondse hoogspanningsnet aan te leveren, dan kan RIVM het ministerie van VROM een onderbouwd advies geven met welke stroom de breedte van de magneetveldzone uitgerekend kan worden.

De aangeleverde gegevens zullen – gezien het vertrouwelijke karakter – uitsluitend intern door het RIVM en door VROM gebruikt worden. Voordat de gegevens eventueel in een later stadium in een rapport worden opgenomen zullen ze volledig worden geanonimiseerd. Externe publicatie vindt pas plaats na overleg met EnergieNed.

Bijlage 2 Nominale en ontwerpbelasting

Overzicht van de nominale belasting zoals vermeld in de Tennet-kaart, de geoptimaliseerde belasting zoals vastgelegd door TenneT en de uiteindelijke keuze van de ontwerpbelasting die TenneT heeft gemaakt. De tabel geeft steeds de bij de belasting behorende stroom door de circuits in ampères. De gegevens werden door P. Ligtoet op 26 juli 2005 voor alle 380 kV- en 220 kV-circuits per e-mail geleverd. Om de circuits te anonimiseren zijn de circuitnamen vervangen door nummers.

circuit nummer	nominale belasting stroom (A)	geoptimaliseerde belasting stroom (A)	ontwerpbelasting stroom (A)
1	2500	2500	3000
2	2500	2500	3000
3	2500	2500	3000
4	2500	2500	3000
5	2360	2500	2500
6	2360	2500	2500
7	2360	2500	2500
8	2500	2500	3000
9	2500	2500	3000
10	2500	2500	3000
11	2500	2500	3000
12	1200	1200	1400
13	2500	2500	3000
14	2500	2500	3000
15	2500	2500	4800
16	2500	2500	4800
17	2360	2500	2500
18	2360	2500	2500
19	2500	2500	2500
20	2500	2500	2500
21	1200	1200	1400
22	1200	1200	1400
23	4000	4000	4680
24	4000	4000	4680
25	1850	4000	4680
26	1850	4000	4680
27	2500	2500	3000
28	2500	2500	3000
29	2500	2500	3000
30	2500	2500	3000
31	2500	2500	3000
32	2500	2500	3000
33	2500	2500	3000
34	2500	2500	3000
35	2500	2500	3000
36	2500	2500	3000
37	4250	4000	4800

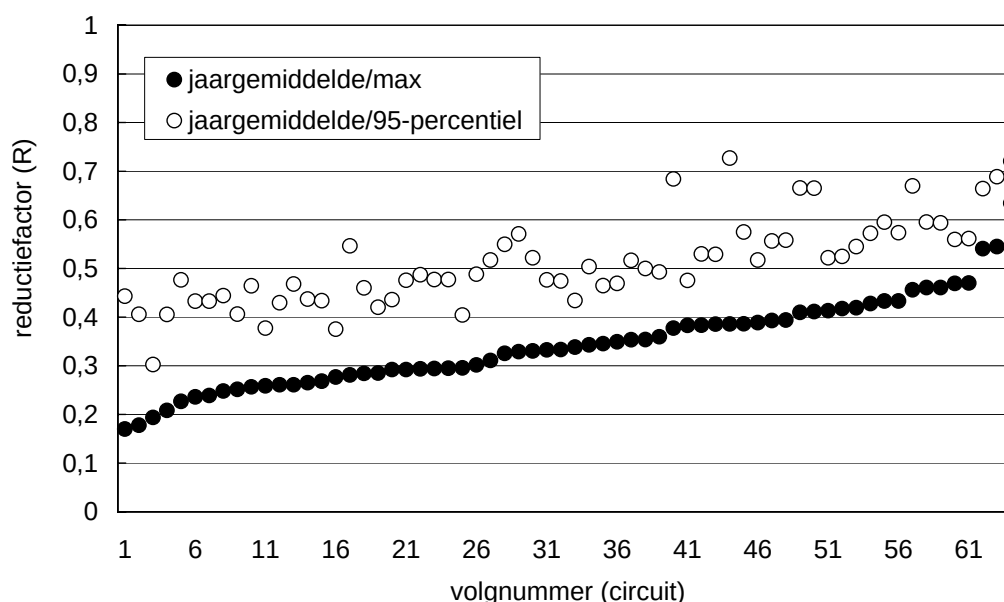
circuit nummer	nominale belasting stroom (A)	geoptimaliseerde belasting stroom (A)	ontwerpbelasting stroom (A)
38	4250	4000	4800
39	2500	2500	3000
40	2500	2500	3000
41	2500	2500	3000
42	2500	2500	3000
43	2500	2500	3000
44	2500	2500	3000
45	2500	2500	3000
46	700	2500	3000
47	2500	2500	3000
48	2500	2500	3000
49	2500	2500	3000
50	1000	2500	2800
51	1000	2500	2800
52	2500	2500	3000
53	2500	2500	3000
54	700	4000	4680
55	2200	2500	3000
56	2000	2500	3000
57	2600	2600	3000
58	2600	2600	3000
59	2100	2500	3000
60	2100	2500	3000
61	4250	4000	4800
62	4250	4000	4800
63	700	2500	3000
64	2500	2500	3000

Bijlage 3 Reductiefactor

Deze bijlage bevat de analyse van de belastinggegevens over 2003 op basis van de reductiefactor. De reductiefactor voor een circuit is gedefinieerd als de over een geheel jaar gemiddelde 2 uurswaarde voor de stroom door het circuit gedeeld door de maximale 2 uurswaarde in dat jaar. Het aanvankelijke idee was dat deze reductiefactor voor alle lijnen ongeveer dezelfde waarde zou hebben en dat die in de loop van de tijd ook nauwelijks zou veranderen.

220 en 380 kV-lijnen

De reductiefactor is voor alle 380 kV- en 220 kV-circuits berekend op basis van de 2 uurs-EMS-waarden voor geheel 2003. De maximale 2 uurswaarde voor een circuit kan uitschieters vertonen, bijvoorbeeld door storing of onderhoud in het andere circuit of door extreme weersomstandigheden. Om deze fluctuaties te dempen is als alternatief ook de reductiefactor berekend op basis van de 95-percentielwaarde van de 2 uursgemiddelden. Deze 95-percentielwaarde is naar verwachting minder gevoelig voor enkele uitschieters in de stroom. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 17.

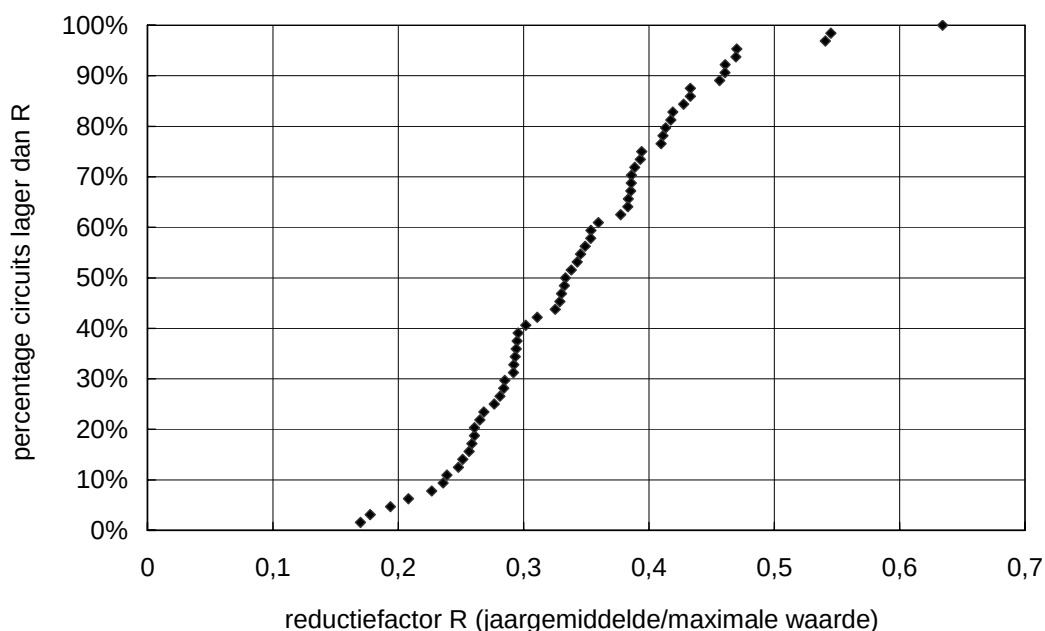


Figuur 17 Reductiefactoren berekend voor het jaar 2003 op basis van de maximum 2 uurswaarde en op basis van het 95-percentiel voor de 2 uurswaarden.

Uit de figuur blijkt een variabele toename van de reductiefactor als voor de berekening het 95-percentiel als referentie wordt gebruikt in plaats van het maximum. Voor het eerste circuit bijvoorbeeld is de reductiefactor op basis van het 95-percentiel 2,6 keer zo hoog. Voor dit circuit wordt de reductiefactor gebaseerd op het maximum vooral bepaald door enkele uitschieters in de stroom. Voor de andere circuits is het verschil minder, een toename met een factor tussen 1,1 en 2,3. Gemiddeld over alle circuits is de reductiefactor op basis van het maximum 1,5 keer zo laag als die op basis van het 95-percentiel.

De twee methoden om de reductiefactor te berekenen, geven inzicht in het gedrag van deze factor. De maximale 2 uurswaarde fluctueert, deels door reguliere factoren (meer vraag naar stroom), maar ook door toevallige factoren (onderhoud, storing, extreme weersomstandigheden). Hierdoor zal de op deze manier gedefinieerde reductiefactor voor een circuit naar verwachting niet stabiel zijn voor de verschillende jaren. De keuze voor het 95-percentiel van de 2 uurswaarden vermindert de fluctuaties in de reductiefactor, maar leidt ook tot een verhoging van die factor. Bovendien heeft zo'n gekozen percentiel geen direct verband met het ontwerp van de hoogspanningslijn, een relatie die er voor de maximaal toelaatbare stroom wel is. Daarom is ervoor gekozen de verdere analyse op het maximum van de 2 uurswaarden te baseren.

De verdeling van de reductiefactor, op basis van de maximale 2 uurswaarde is in Figuur 18 weergegeven.



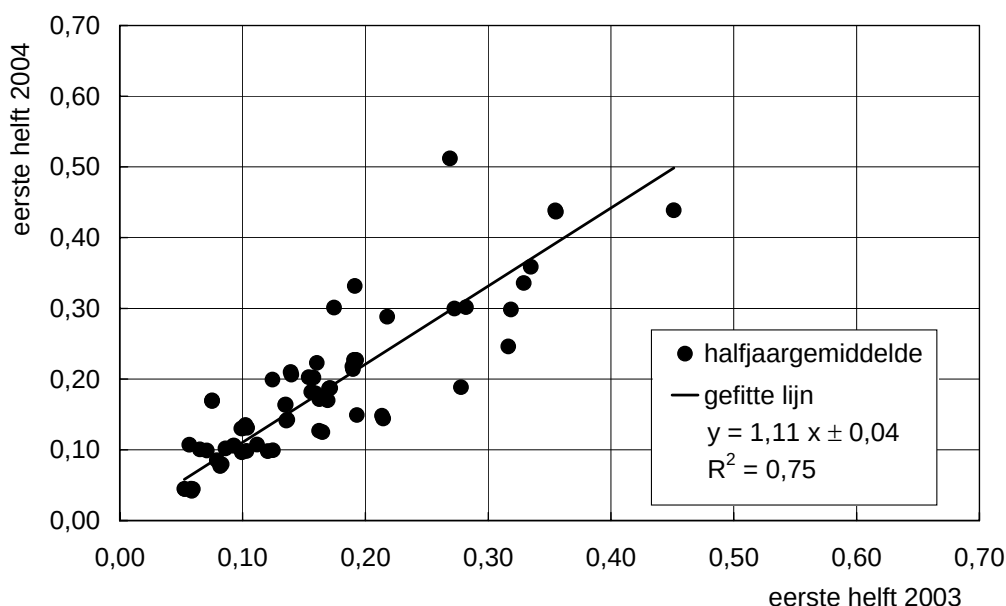
Figuur 18 De cumulatieve verdeling van reductiefactor gebaseerd op de maximale 2 uurswaarden, voor alle 220 en 380 kV-lijnen

De beschrijvende parameters voor de verdeling van de reductiefactoren zijn in Tabel 9 weergegeven.

Tabel 9 Beschrijvende parameters voor de verdeling van de reductiefactor, berekend op basis van het 2 uursmaximum, voor alle 220 en 380 kV-lijnen

parameter	waarde
gemiddelde	0,34
standaarddeviatie	0,09
50-percentiel	0,34
90-percentiel	0,46
95-percentiel	0,47

De reductiefactor zou kunnen worden gebruikt om de rekenstroom vast te leggen voor het berekenen van de zone voor het magnetische veld. Daarom is het belangrijk een inschatting te maken over de stabiliteit van de reductiefactor over een langere periode, bijvoorbeeld vijf tot tien jaar. Voor zo'n analyse zijn momenteel geen belastinggegevens beschikbaar. Een voorlopige analyse kan worden gemaakt door het eerste halfjaar van 2003 met het eerste halfjaar van 2004 te vergelijken. Voor deze twee periodes zijn de reductiefactoren berekend (op basis van het halfjaargemiddelde en het maximum voor de 2 uren-EMS-waarde in dat halfjaar). Vervolgens is bekeken wat de correlatie tussen de reductiefactoren in deze twee halfjaarlijkse periodes is. Figuur 19 geeft de resultaten van deze berekening.

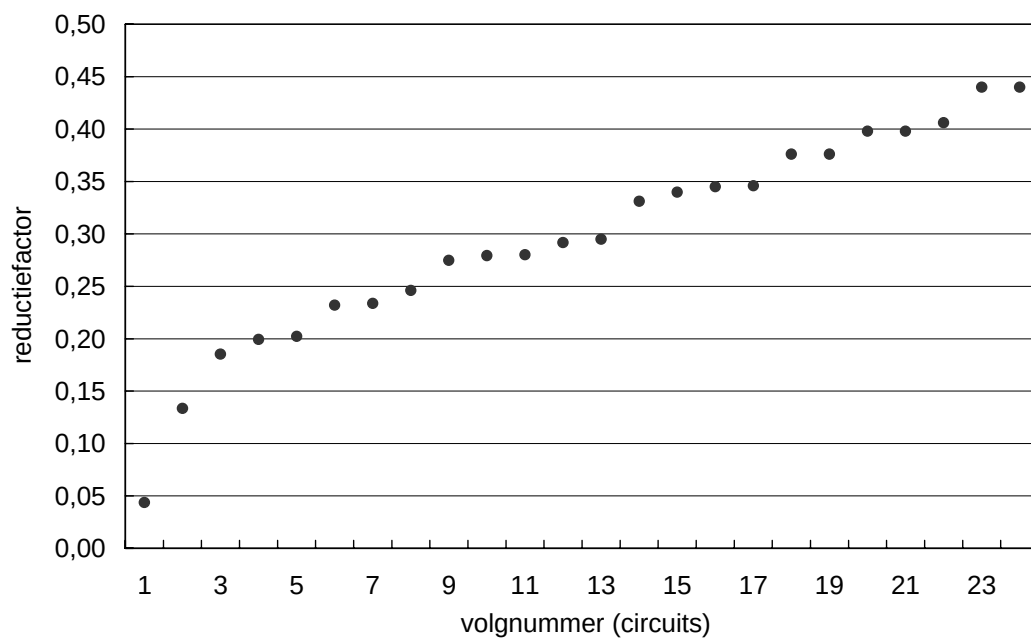


Figuur 19 Relatie tussen de reductiefactoren, gebaseerd op de maximale 2 uurswaarden, voor het eerste halfjaar van 2003 en het eerste halfjaar van 2004.

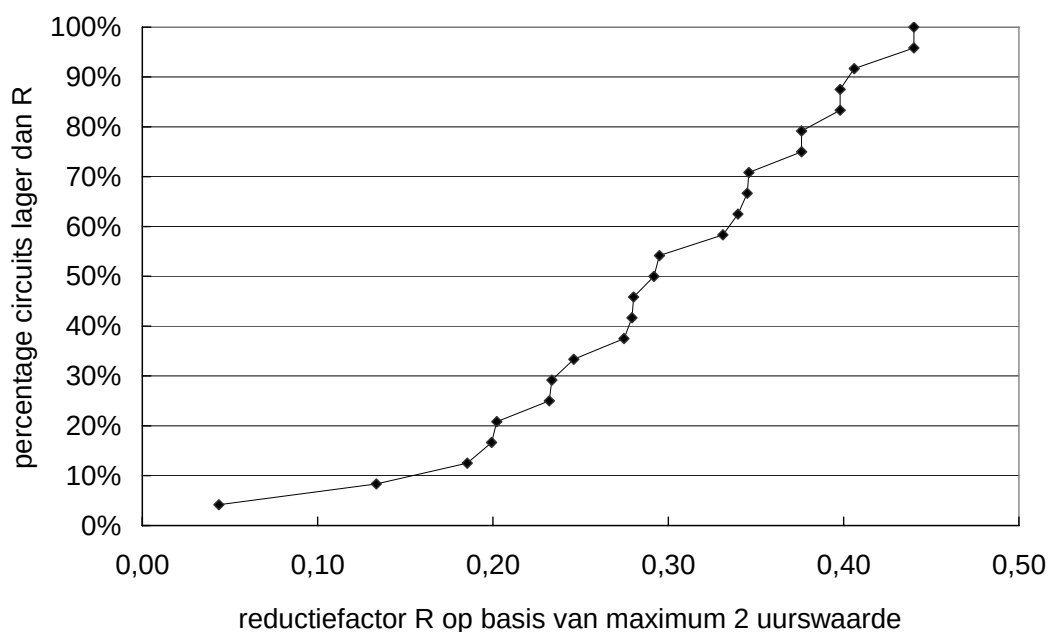
Uit de figuur blijkt dat de correlatie tussen de reductiefactoren in 2003 en 2004 matig is. De waarde van de reductiefactor is in de eerste helft van 2003 ruim 10% lager dan in het eerste halfjaar van 2004.

Regionale netten

Voor de regionale netten zijn geen gegevens van vergelijkbaar detail en omvang beschikbaar als voor de 220 kV- en 380 kV-lijnen. Op basis van de 28 150 kV-circuits is een voorlopige analyse gemaakt. Van een hoogspanningslijn hebben beide circuits gedurende het gehele jaar 2003 uitgestaan. Van een andere lijn stond er gedurende heel 2003 een circuit uit, waardoor het andere circuit relatief zwaar belast werd. Deze twee lijnen (in totaal vier circuits) zijn niet in de analyse meegenomen. Uit de weergave van de resultaten in Figuur 20 blijkt de reductiefactor te variëren tussen 0 en 0,45. Ook voor de reductiefactoren van de 150 kV-circuits is de verdeling bepaald. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 21 en Tabel 10.



Figuur 20 Reductiefactor voor 24 150 kV-circuits op basis van het maximale 2 uursgemiddelde.



Figuur 21 Reductiefactoren berekend voor het jaar 2003 op basis van de maximum 2 uurswaarde voor de 24 circuits van 150 kV.

Tabel 10 Verdelingsparameters voor de verdeling van de 150 kV-reductiefactoren

parameter	waarde
gemiddelde	0,30
standaarddeviatie	0,10
50-percentiel	0,29
90-percentiel	0,40
95-percentiel	0,43

Voor 54% van de 150 kV-circuits is de reductiefactor 0,29 of lager en voor 12,5% ligt de reductiefactor boven de 0,40.

Conclusies

Uit Figuur 18 blijkt dat de reductiefactor zo sterk varieert dat van één reductiefactor voor alle lijnen geen sprake is. Daarnaast blijkt uit Figuur 17 dat de reductiefactor afhankelijk is van toevallige omstandigheden in het jaar van analyse (onderhoud, uitzonderlijk weer, storing). Tot slot lijkt ook de veronderstelling dat de reductiefactor de komende decennia constant blijft op basis van een vergelijking van het eerste halfjaar van 2003 met het eerste halfjaar van 2004, niet houdbaar (Figuur 19). Uiteraard is een ‘harde’ conclusie hierover pas mogelijk na analyse van gegevens over een periode van bijvoorbeeld vijf tot tien jaar.

Deze drie factoren maken de reductiefactor minder geschikt om de rekenstroom te bepalen voor de berekening van een stabiele, toekomstgerichte 0,4 microteslazone.

Voor de regionale hoogspanningsnetten (spanningsniveau 150 kV en lager) zijn onvoldoende gegevens over de belasting van de lijnen bekend, ook voor het betrouwbaar berekenen van de reductiefactor.

Bijlage 4 Handreiking

Deze bijlage bevat de ‘bevroren’ versie 1.0 van de ‘Handreiking voor het berekenen van de specifieke 0,4 microteslazone in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen’.

Deze ‘papieren’ versie werd op 3 oktober 2005 met het beleidsadvies van Staatssecretaris Van Geel van VROM aan gemeenten, provincies en netbeheerders meegestuurd.

De meest recente versie van de handreiking is op internet te vinden op de RIVM website: www.rivm.nl/hoogspanningslijnen. Van de updates worden geen papieren versies verspreid. De gebruiker van de handreiking dient er zorg voor te dragen dat meest recente versie die op de website staat als uitgangspunt voor de zoneberekening wordt gebruikt.



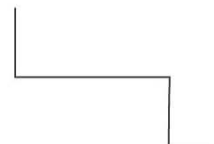
Handreiking voor het berekenen van de specifieke 0,4 microtesla zone in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen

G Kelfkens, MJM Pruppers

RIVM, september 2005, versie 1.0

Deze handreiking is opgesteld in opdracht en ten laste van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Directoraat Generaal Milieubeheer, Directie Stoffen, Afvalstoffen en Straling, in het kader van project M/861020/05/EL 'Beleidsondersteuning Straling (BEST)'.

1	Inleiding	3
2	Gegevens	4
2.1	Inleiding	4
2.2	Locatie	4
2.2.1	Ruimtelijk plan	4
2.2.2	Hoogspanningslijn	4
2.3	Hoogspanningslijn	4
2.3.1	Algemene gegevens	5
2.3.2	Circuitgegevens	6
2.3.3	Bliksemdraden	8
3	Berekening	9
3.1	Inleiding	9
3.2	Berekening magnetische veld	9
3.2.1	Inputgegevens	9
3.2.2	Berekening magnetische veldsterkte	9
3.2.3	Bepaling zonebreedte	10
4	Rapportage resultaten	11



1 Inleiding

Doel

Deze handreiking legt een methode vast voor het berekenen van de specifieke 0,4 microtesla zone in de buurt van een bovengrondse hoogspanningslijn. De geschetste aanpak is een nadere uitwerking van het beleidsadvies voor bovengrondse hoogspanningslijnen zoals dat in oktober 2005 door de staatssecretaris van VROM is geformuleerd.

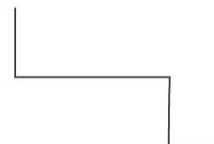
Doelgroep

De handreiking is allereerst bedoeld voor de netbeheerders die voor nieuwe situaties, of bij technische ingrepen aan bestaande lijnen, de specifieke 0,4 microtesla zone rond de door hen beheerde bovengrondse hoogspanningslijnen willen aangeven. Daarnaast geeft de handreiking ook andere partijen (gemeenten, provincies, rijk, adviesbureaus) de mogelijkheid de specifieke 0,4 microtesla zone te (laten) berekenen op een manier die in overeenstemming is met het geformuleerde beleid.

Het bovengrondse hoogspanningsnet is een ingewikkeld geheel. Daarom is voor de berekening van de specifieke 0,4 microtesla zone deskundigheid op het gebied van elektriciteitstransport en van de gebruikte programmatuur onontbeerlijk.

Opzet

De handreiking bestaat uit drie stukken. Allereerst worden de gegevens die nodig zijn voor de berekening van de specifieke zone opgesomd. Daarna wordt de programmatuur aangegeven die op dit moment wordt gebruikt voor de berekening van de 0,4 microtesla zone. Tenslotte wordt vermeld hoe de invoergegevens en de resultaten van de berekening op een transparante en verifieerbare manier gerapporteerd kunnen worden.



2 Gegevens

2.1 Inleiding

Om een zinvolle berekening van de specifieke zone in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen te kunnen uitvoeren zijn allereerst gegevens nodig over de locatie waar de berekening moet plaatsvinden. Daarnaast vereisen de softwarepakketten die voor de berekening worden gebruikt gegevens over de hoogspanningslijn. Deze gegevens worden in dit hoofdstuk opgesomd.

2.2 Locatie

2.2.1 Ruimtelijk plan

De initiatiefnemer van een nieuw, of te wijzigen bestaand, ruimtelijk plan geeft aan op welke locatie de berekening van de breedte van de 0,4 microtesla zone gewenst is. Dit doet hij door de naam van de hoogspanningslijn(en) te vermelden en de nummers van de masten die bij de berekening zijn betrokken.

2.2.2 Hoogspanningslijn

Nieuw tracé

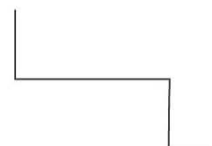
De initiatiefnemer voor een nieuw te plannen tracé van een bovengrondse hoogspanningslijn geeft de relevante ontwerpgegevens voor de berekening van de breedte van de 0,4 microtesla zone aan. Als op het voorgenomen tracé verschillende masttypes, geleiderconfiguraties, klokgetallen, etc. worden toegepast worden deze gegevens voor elk deeltracé separaat vermeld. Deze handreiking beschrijft uitsluitend hoe de breedte van de 0,4 microtesla zone wordt berekend. De optimale ruimtelijke inpassing van het tracé vindt in een breder kader plaats.

Bestaand tracé

In geval van wijzigingen aan een bestaande bovengrondse hoogspanningslijn die in principe de breedte van de specifieke 0,4 microtesla zone kunnen beïnvloeden, verstrekt de netbeheerder alle onder 2.3 vermelde gegevens in de uitgangssituatie en in de beoogde nieuwe situatie. Door een berekening voor de oorspronkelijke en de nieuwe situatie kan worden aangetoond of en in welke mate, de breedte van de specifieke 0,4 microtesla zone door de voorgenomen wijzigingen verandert.

2.3 Hoogspanningslijn

De berekening vindt plaats op het niveau van een lijnvak, tussen twee opeenvolgende masten. De invoergegevens worden op het niveau van een lijnvak vastgelegd en de berekening is geldig voor dat lijnvak. Vaak zijn de relevante gegevens voor een aantal opeenvolgende lijnvakken identiek. In die situatie volstaat berekening voor één lijnvak. Per lijnvak zijn de volgende gegevens relevant.



2.3.1 Algemene gegevens

2.3.1.1 Lijnnaam

De lijnnaam is de geografische aanduiding van de bovengrondse hoogspanningslijn of van het te realiseren nieuwe tracé.

2.3.1.2 Mastnummer en locatie

Elk lijnvak wordt begrensd door twee masten. De nummers van deze masten en de locatie (in Rijksdriehoekcoördinaten) worden vastgelegd. Als voor een nieuw tracé de mastlocaties nog niet bekend zijn, moet voor een meer globale locatiebepaling worden gekozen.

2.3.1.3 Masttype

Aan de hand van de opgegeven lijnnaam en mastnummers bepaalt de netbeheerder om wat voor type masten het gaat. Voor elk type mast wordt een tekening met maatvoering aangeleverd. Voor een nieuw te realiseren tracé zal het hierbij gaan om een ontwerptekening. Uit de tekening wordt duidelijk:

- de configuratie van het circuit (driehoek, horizontaal, verticaal, etc.)
- voor elke circuit: op welke hoogte (boven maaiveld) de bundelgeleiders zich bevinden en op welke laterale afstand van de (denkbeeldige) middellijn van de mast
- voor elke bliksemdraad op welke hoogte (boven maaiveld) deze zich bevindt en op welke laterale afstand van de (denkbeeldige) middellijn van de mast

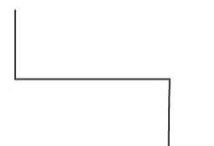
2.3.1.4 Veldlengte

De netbeheerder legt de veldlengte (afstand tussen de masten van het betreffende lijnvak) vast. Voor een nieuw tracé gaat het hier om een zo nauwkeurig mogelijke schatting.

2.3.1.5 Zeeg bij 10 °C

Bij de constructie van de lijn worden de geleiders afgespannen op een zekere doorhang. De netbeheerder legt deze doorhang vast door voor het lijnvak de zeeg bij 10 °C aan te geven¹. Deze 10 °C wordt bij de constructie van de lijn als referentie gebruikt. De werkelijke zeeg bij het trekken van de geleiders wordt dan gecorrigeerd voor de temperatuur die op dat moment heerst.

¹In de berekening (EFC-400) wordt deze zeeg omgerekend naar de zeeg die hoort bij de standaard condities zoals vastgelegd in NEN 1060: buitentemperatuur 30 °C, windsnelheid 0.6 meter/sec, zoninstraling 1000 W/m² en ontwerpstroomsterkte



2.3.1.6 Aantal circuits

Hier wordt het aantal circuits aangegeven waarvoor de lijn is ontworpen. Dit aantal kan groter zijn dan het aantal circuits dat op het moment van berekenen is gerealiseerd.

2.3.2 Circuitgegevens

Voor elk circuit legt de netbeheerder de volgende gegevens vast.

2.3.2.1 Spanning

De spanning waarvoor het circuit is/wordt ontworpen. Als de actuele bedrijfsspanning 150 kV is, maar de ontwerpspanning 380 kV wordt hier 380 kV aangegeven.

2.3.2.2 Ontwerpbelasting

De ontwerpbelasting van het circuit in MVA. De ontwerpbelasting is het product van ontwerpspanning en ontwerpstroom maal $\sqrt{3}$.

$$S_{ontw} = I_{ontw} * U_{ontw} * \sqrt{3}$$

S_{ontw} : ontwerpbelasting (volt.ampère)

I_{ontw} : ontwerpstroom (ampère)

U_{ontw} : ontwerpspanning (volt)

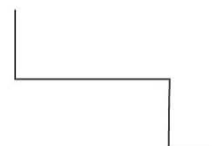
De ontwerpspanning wordt voor bestaande bovengrondse hoogspanningslijnen ontleend aan het Capaciteitsplan 2005-2012, zoals dat op 1 december 2005 bij de Directie Toezicht Energie (DTe) van de Nederlandse Mededingingsautoriteit wordt resp. is ingediend. In de loop van 2006 zullen deze bij Dte opvraagbaar zijn (www.dte.nl) Voor een nieuw aan te leggen tracé wordt de ontwerpbelasting uit de ontwerpgegevens afgeleid.

2.3.2.3 Circuïtaanduiding

De naam en kleurcodering voor het circuit zoals deze door de netbeheerder wordt gebruikt, of die de netbeheerder voor een nieuw tracé wil gaan gebruiken.

2.3.2.4 Stroom

De stroom door een hoogspanningslijn wisselt van sterkte gedurende uur, dag, week en seizoen. Omdat de epidemiologische onderzoeken verband leggen tussen langdurige blootstelling en mogelijke effecten op de gezondheid is ervoor gekozen de berekeningen te baseren op de over een jaar gemiddelde waarde van de stroomsterkte. Omdat de berekende zonebreedte ook voor de toekomst relevant moet zijn, is er tevens voor gekozen



een bovengrens te schatten voor de in de toekomst te verwachten, jaargemiddelde stroomsterkte. Deze schatting wordt gebaseerd op de stroomsterkte waarvoor het circuit is ontworpen en het over 2003 waargenomen jaargemiddelde. Uit een analyse van de stroomsterkten gedurende het jaar 2003 voor alle 380 kV en 220 kV circuits blijkt dat een jaargemiddelde stroomsterkte corresponderend met circa 30% van de capaciteit, een goede toekomstgerichte schatting is van de jaargemiddelde stroomsterkte door een circuit. Voor deze spanningsniveaus wordt daarom uitgegaan van

$$I_{ber} = 0,3 * I_{cap_2005} \quad (\text{voor 380 kV en 220 kV circuits})$$

I_{ber} : stroomsterkte die als invoer voor de zoneberekening wordt gebruikt

I_{cap_2005} : stroomsterkte behorend bij de capaciteit van de verbinding zoals die in het Capaciteitsplan 2005-2012 is vastgelegd

De stroomsterkte die hoort bij de in het Capaciteitsplan 2005-2012 vastgelegde capaciteit wordt berekend volgens:

$$I_{cap_2005} = S_{cap_2005} / (U_{cap_2005} * \sqrt{3})$$

S_{cap_2005} : capaciteit in Capaciteitsplan 2005-2012 (Volt.Ampère;)

U_{cap_2005} : bedrijfsspanning in Capaciteitsplan 2005-2012 (Volt)

Voor de regionale netten (spanningsniveaus 150 kV, 110 kV en 50 kV) zijn momenteel onvoldoende gegevens beschikbaar voor een gedetailleerde analyse van de belasting. Daarom wordt voor deze circuits uitgegaan van een jaargemiddelde stroom die overeenkomt met 50% van de in het Capaciteitsplan 2005-2012 vastgelegde capaciteit. Voor deze netten is de rekenstroom daarom gegeven door:

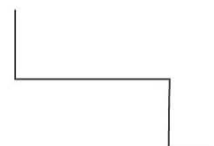
$$I_{ber} = 0,5 * I_{cap_2005} \quad (\text{voor 150 kV, 110 kV en 50 kV circuits})$$

2.3.2.5 Aardgeleidingsweerstand

De aardgeleidingsweerstand hoeft niet bij de berekening te worden betrokken.

2.3.2.6 Fase

Voor elke fasedraad wordt de fasehoek vastgelegd, bijvoorbeeld: 0°, 120° of 240°.



2.3.2.7 Karakteristieken geleiders

Gegevens over de constructie van de geleider. Standaard is een aluminium geleider met stalen binnenmantel. De afmetingen worden vastgelegd als een doorsnede. Bijvoorbeeld

Aluminium : 240 mm²
Staal : 40 mm²

2.3.2.8 Bundelgeleiders

Het aantal subgeleiders waaruit een geleiderbundel bestaat en de onderlinge afstand en positie.

2.3.3 Bliksemdraden

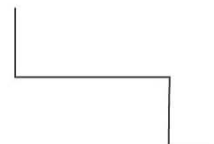
2.3.3.1 Aantal en positie

Het aantal bliksemdraden en de positie waar de bliksemdraden aan de mast zijn verbonden (hoogte en laterale afstand van het ophangpunt van elke bliksemdraad).

2.3.3.2 Karakteristieken bliksemdraden

Hier worden de gegevens over de constructie van de bliksemdraden vastgelegd. Standaard wordt uitgegaan van een aluminium geleider met stalen binnenmantel. De afmetingen worden vastgelegd als een doorsnede. Bijvoorbeeld

Aluminium : 44 mm²
Staal : 32 mm²



3 Berekening

3.1 Inleiding

Voor het berekenen van de magnetische veldsterkte in de buurt van een bovengrondse hoogspanningslijn is een aantal commercieel verkrijgbare softwarepakketten beschikbaar. Op dit moment zijn deze pakketten niet expliciet beoordeeld op geschiktheid voor het berekenen van de 0,4 microtesla zone en is er geen vergelijkend onderzoek naar deze softwarepakketten gedaan. In Nederland worden op dit moment de drie in 3.2 beschreven softwarepakketten het meest gebruikt voor magnetische veldsterkteberekeningen. Deze pakketten kunnen niet direct de breedte van de 0,4 microtesla zone berekenen. Daarvoor is het nodig een profiel van het magnetische veld te exporteren en verder te bewerken.

3.2 Berekening magnetische veld

Programmatuur

Voor de berekening van sterkte van het magnetische veld zijn de onderstaande softwarepakketten geschikt. Momenteel worden deze drie pakketten als gelijkwaardig beschouwd.

EFC-400

Programmatuur van *Forschungsgesellschaft für Energie und Umwelttechnologie* (FGEU, mbH, Berlin, Duitsland).

CDEGS

Current Distribution, Electromagnetic Fields, Grounding and Soil Structure Analysis
Programmatuur van Safe Engineering Services & technologies Ltd., Quebec, Canada.

ATP

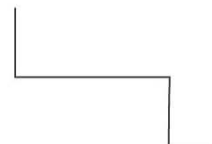
Alternative Transient Program
European EMTP-ATP Users Group (EEUG), Osnabrück, Duitsland.

3.2.1 Inputgegevens

Als een programma meer inputparameters nodig heeft dan die onder 2.3 zijn vermeld, worden voor de overige parameters gemiddelde gegevens voor Nederland ingevoerd.

3.2.2 Berekening magnetische veldsterkte

Met de set inputparameters berekent het programma de magnetische veldsterkte in de buurt van de hoogspanningslijn op 1 meter boven het maaiveld. In de meeste situaties is er slechts één bovengrondse hoogspanningslijn van belang. In deze gevallen kan worden volstaan met een 'ééndimensionale' berekening. Als er in het gebied waar de berekening



plaatsvindt zich meer dan één hoogspanningslijn bevindt, is een tweedimensionale berekening onvermijdelijk.

Eendimensionale berekening

Om uiteindelijk de breedte van de 0,4 microtesla zone van één bovengrondse hoogspanningslijn te kunnen bepalen is een berekening nodig van de magnetische veldsterkte als functie van de afstand (stapgrootte minimaal 1 meter), loodrecht op de hoogspanningslijn, ter plekke van het middelpunt van de zeeg (midden tussen twee masten), op een hoogte van 1 meter boven het maaiveld². De berekening wordt uitgevoerd totdat de afstand tot de hoogspanningslijn zo groot is dat de sterkte van het magnetische veld tot onder de 0,1 microtesla is afgenomen. Het zo verkregen profiel van de sterkte van het magnetische veld wordt opgeslagen voor verdere verwerking. Hierbij wordt, naast de algemene gegevens van de berekeningssituatie, steeds de afstand en de op die afstand heersende sterkte van het magnetische veld opgeslagen.

Tweedimensionale berekening

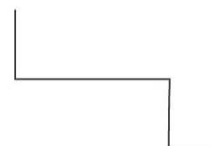
Er kunnen situaties voorkomen waar het berekenen van één profiel van de sterkte van het magnetische veld niet volstaat. Dit is bijvoorbeeld het geval bij kruisende bovengrondse hoogspanningslijnen, twee parallelle lijnen of een hoogspanningslijn die zich vertakt. Het gebied waar het magnetische veld sterker is dan 0,4 microtesla kan dan niet met een simpele afstand worden aangegeven. In deze situatie is een tweedimensionale berekening nodig waarin de magnetische veldsterkten afkomstig van beide tracés op elke plek vectorieel worden opgeteld. De 0,4 microtesla zone wordt dan gedetailleerd op een kaart van de omgeving weergegeven. Aan de hand daarvan kan dan worden gecheckt of er zich gevoelige bestemming binnen de 0,4 microtesla zone bevinden. Deze kaart is tevens het eindproduct van de berekeningswijze. Het opslaan en verder bewerken van een afstandsprofiel is hier niet zinvol.

3.2.3 Bepaling zonebreedte

Het profiel met de magnetische veldsterkte als functie van de afstand vormt de basis voor de uiteindelijke berekening van de zonebreedte. Uit dit profiel wordt – door interpolatie – bepaald op welke afstand(en) uit het hart van de hoogspanningslijn de waarde van 0,4 microtesla voor de magnetische veldsterkte wordt bereikt. Omdat het meestal niet om een symmetrisch profiel gaat, gebeurt dit aan beide zijden van de hoogspanningslijn. De zo berekende afstanden tot het hart van de hoogspanningslijn worden afgerond op het dichtst bijgelegen veelvoud van 5 m³. Zijn deze (afgeronde) waarden voor de afstand tot de hartlijn aan weerszijden gelijk dan geeft deze waarde direct de halve breedte van de specifieke 0,4 microtesla zone aan. Een zonebreedte van 2 x 80 meter betekent dat de zone – gerekend over de grond vanuit het hart van de hoogspanningslijn – zich aan weerszijden tot 80 meter uitstrekt. Zijn deze (afgeronde) waarden voor de afstand tot de hartlijn aan beide zijden verschillend dan dienen beide waarden separaat te worden aangegeven. Welke waarde bij welke zijde van de lijn hoort wordt aangegeven door de naam ('kleur') van het bijbehorende circuit te vermelden.

² Uit het oogpunt van eenvoud wordt er geen rekening mee gehouden dat de contour van de 0,4 microtesla zone eigenlijk gekromd is en midden tussen de masten een grotere breedte heeft dan in de buurt van de masten

³ Dat wil zeggen 97,5 en 102,4 m wordt afgerond op 100 m en 102,6 m op 105 m



4 Rapportage resultaten

De resultaten van de berekening, de gebruikte software en de invoergegevens worden op een gestandaardiseerde manier vastgelegd. Deze rapportage bevat allereerst de naam van de bovengrondse hoogspanningslijn, de nummers van de betrokken masten en voor elk lijnvak de (afgeronde) afstand van de 0,4 microtesla contour ter weerszijden van de hoogspanningslijn tot het hart van de lijn. Bijvoorbeeld:

Resultaten berekening 0,4 microtesla zone

naam bovengrondse hoogspanningslijn: locatie AAA naar locatie BBB		
lijnvak	afstand 0,4 microtesla contour tot hart van de lijn (meter)	
mastnummers	zijde zwarte circuit	zijde witte circuit
50-51	65	80
51-52	70	90
52-53	70	90
53-54	65	80

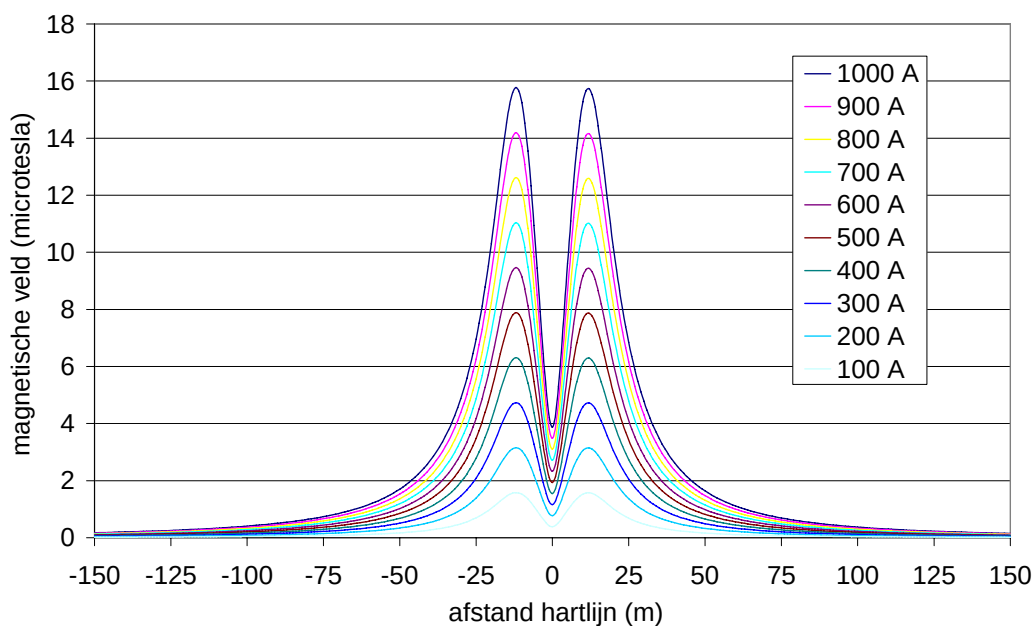
Softwarepakket: EFC-400, versie 5.1

Invoergegevens:

Hier worden alle onder 2.3 gebruikte gegevens (inclusief constructietekeningen van de masten) vermeld.

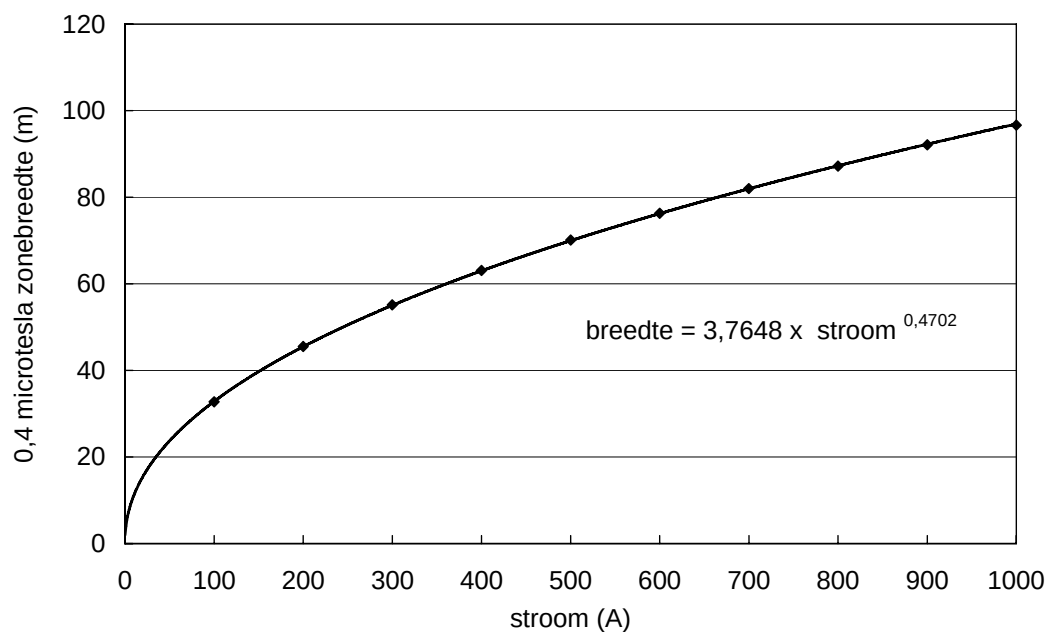
Bijlage 5 Verband zonebreedte en stroomsterkte

Om een handige vuistregel voor de invloed van de stroomsterkte op de zonebreedte af te leiden, is door het RIVM het verband tussen stroomsterkte en zonebreedte geëvalueerd. In Figuur 22 is voor een typische 150 kV-lijn het magnetische veld als functie van de afstand tot de hartlijn berekend met het softwarepakket EFC-400. De stroomsterkte door de circuits varieert van 100 tot 1000 ampère.



Figuur 22 Magnetisch veld berekend met EFC-400 voor een typische 150 kV-lijn met symmetrische ophanging van de geleiders.

Figuur 23 geeft de 0,4 microteslazonebreedtes voor de verschillende stroomsterktes die zijn berekend op basis van de bovenstaande curves. Uit de figuur is duidelijk dat het verband tussen zonebreedte en stroomsterkte niet lineair is.



Figuur 23 Breedte van de 0,4 microteslazone (afstand hartlijn) als functie van de stroomsterkte door een typische 150 kV-hoogspanningslijn.

Als de berekende waarden met een power-functie wordt gefit (zie Figuur 23), blijkt de exponent 0,47 te bedragen. Dit is in overeenstemming met de waarde 0,5 die men op theoretische gronden zou verwachten. Een viermaal zo grote stroom leidt tot ongeveer een tweemaal zo grote zonebreedte.

Literatuur

- 1 Wertheimer N and Leeper E. Electrical wiring configurations and childhood cancer. *Am. J. Epidemiol.* 1979; 109(3):273-84.
- 2 IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Static and Extremely Low-Frequency Electric and Magnetic Fields Vol. 80, June 2001.
- 3 Commissie ELF elektromagnetische velden. Blootstelling aan elektromagnetische velden (0 Hz 10 MHz). Gezondheidsraad, Den Haag, 2000; 2000/6.
- 4 Van der Plas M, Houthuijs DJM, Dusseldorp A, Pennders RMJ en Pruppers MJM. Magnetische velden van hoogspanningslijnen en leukemie bij kinderen. RIVM rapport 610050007. RIVM, Bilthoven, 2001.
- 5 Pruppers, MJM. Blootstelling aan extreem laag frequente elektromagnetische velden van hoogspanningslijnen - Herberekening naar aanleiding van het KEMA/RIVM-onderzoek naar de kosten en baten van maatregelen ter beperking van magnetische velden bij hoogspanningslijnen. RIVM-briefrapport 032/2003, RIVM, Bilthoven, 2003.
- 6 NMP4. Nationaal Milieubeleidsplan 4. Een wereld en een wil: werken aan duurzaamheid. Ministerie van VROM, hoofdstuk 10.1, Den Haag, september 2001.
- 7 Kelfkens G, Van Wolven J, Pennders R, Stuurman C, Van Aernsbergen L, Delfini G and Pruppers M. Costs and benefits of the reduction of magnetic fields due to overhead power lines. Modeling door Gert Kelfkens gepresenteerd tijdens 2nd Workshop on Biological Effects of EMF's, 7 - 11 oktober 2002, Rhodos, Griekenland.
- 8 Ministerie VROM, Vierde Nota Ruimtelijke Ordening (Vino, 1988), Vierde Nota Ruimtelijke Ordening Extra (Vinex, 1992) en de Actualisering Vierde Nota Ruimtelijke Ordening Extra (Vinac, 1997).
- 9 Kelfkens G, Pennders RMJ, Pruppers MJM. Plannen voor nieuwbouwwoningen bij bovengrondse hoogspanningslijnen. RIVM rapport 610150004, RIVM, Bilthoven, 2003.
- 10 Nuchter omgaan met risico's; Beslissen met gevoel voor onzekerheden. Ministerie VROM, Den Haag, maart 2004.
- 11 Advies (en bijlage) met betrekking tot hoogspanningslijnen van staatssecretaris PLBA van Geel van VROM aan Colleges van Burgemeester en Wethouders, Colleges van Gedeputeerde Staten, IPO, VNG, EnergieNed, Netbeheerders Elektriciteit. Gedateerd 3 oktober 2005, kenmerk SAS/2005183118, VROM website: www.vrom.nl/pagina.html?id=9490#advies.
- 12 Ahlbom A, Day N, Feychting M et al. A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. *Br. J. Cancer* 2000; 83(5):692-8.
- 13 Greenland S, Sheppard AR, Kaune WT, Poole C, Kelsh MA. A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia. *Epidemiology* 2000; 11(6):624-34.
- 14 Feychting M, Ahlbom A. Magnetic fields and cancer in children residing near Swedish high-voltage power lines. *Am. J. Epidemiol.* 1993; 138(7):467-81.
- 15 Savitz DA, Wachtel H, Barnes FA, John EM, Tvrdik JG. Case-control study of childhood cancer and exposure to 60 Hz magnetic fields. *Am. J. Epidemiol.* 1988; 128(1):21-38.
- 16 London SJ, Thomas DC, Bowman JD, Sobel E, Cheng T-C, Peters JM. Exposure to residential electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia. *Am. J. Epidemiol.* 1991; 134(9):923-37.
- 17 Tynes T, Haldorsen T. Electromagnetic fields and cancer in children residing near Norwegian high-voltage power lines. *Am. J. Epidemiol.* 1997; 145(3):219-26.
- 18 Coghill RW, Steward J, Philips A. Extra low frequency electric and magnetic fields in the bedplace of children diagnosed with leukaemia: a case-control study. *Eur. J. Cancer Prev.* 1996; 5(3):153-8.

- 19 Dockerty JD, Elwood JM, Skegg DCG, Herbison GP. Electromagnetic field exposures and childhood leukaemia in New Zealand [letter]. *The Lancet* 1999; 354(9194):1967-8.
- 20 Linet MS, Hatch EE, Kleinerman RA, Robison LL, Kaune WT, Friedman DR. Residential exposure to magnetic fields and acute lymphoblastic leukemia in children. *The New England Journal of Medicine* 1997; 337(1):1-7.
- 21 McBride ML, Gallagher RP, Theriault G. Power-frequency electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia in Canada. *Am. J. Epidemiol.* 1999; 149(9):831-42.
- 22 Michaelis J, Schüz J, Meinert R et al. Combined risk estimates for two German population-based case-control studies on residential magnetic fields and childhood acute leukemia. *Epidemiology* 1998; 9(1):92-4.
- 23 Olsen JH, Nielsen A, Schulgen G. Residence near high voltage facilities and risk of cancer in children. *Br. Med. J.* 1993; 307(6909):891-5.
- 24 Tomenius L. 50-Hz electromagnetic environment and the incidence of childhood tumors in Stockholm County. *Bioelectromagnetics* 1986; 7(2):191-207.
- 25 Verkasalo PK, Pukkala E, Hongisto MY et al. Risk of cancer in Finnish children living close to power lines. *Br. Med. J.* 1993; 307(6909):895-9.
- 26 UK Childhood Cancer Study Investigators. Exposure to power-frequency magnetic fields and the risk of childhood cancer. *The Lancet* 1999; 354(9194):1925-31.
- 27 Draper G, Vincent T, Kroll ME and Swanson J Childhood cancer in relation to distance from high voltage power lines in England and Wales: a case-control study. *British Medical Journal*, June 2005, vol. 330: 1290-1295.
- 28 Li D, Odouli R, Wi S, Janevic T, Golditch I, Bracken TD, Senior R, Rankin R and Iriye R. A population based prospective cohort study of personal exposure to magnetic fields during pregnancy and the risk of miscarriage. *Epidemiology*, 2002 Jan;13(1):9-20.
- 29 Brief minister JP Pronk aan het College van burgemeester en wethouders van de gemeente Utrecht. Gedateerd 13 november 2001, kenmerk SAS/2001140036.
- 30 Beleidsalternatieven Hoogspanningslijnen Onderling Overlegd Eindrapportage Ministerie VROM/Schuttelaar & Partners, Den Haag, oktober 2004.
- 31 Aanbiedingsbrief staatssecretaris PLBA van Geel van VROM aan de voorzitter van de Tweede Kamer. Gedateerd 24 december 2004, kenmerk SAS/2004129237.
- 32 Kees Koreman, TenneT e-mail aan Gert Kelfkens, RIVM met als bijlage een Excel-spreadsheet (line_Loads_TENNET_2UUR.xls) met daarin de meetgegevens voor de periode 1 januari 2003 t/m 31 december 2003.
- 33 Kees Koreman, TenneT e-mails aan Mathieu Pruppers, RIVM, met als bijlagen de Excel-spreadsheets (EMS_2uur_gemiddelde_jbz_1.xls t/m EMS_2uur_gemiddelde_jbz_7.xls) met daarin de meetgegevens voor de periode 15 oktober 2002 t/m 21 juli 2004.
- 34 Jan Koningstein, EnergieNed e-mail aan Mathieu Pruppers, RIVM met als bijlagen drie bestanden met belastinggegevens: Belastingduurkrommen Rotterdam overzicht; Belastingduurkrommen Utrecht overzicht Belasting lijnen Delta (MJV).
- 35 Jan Koningstein, EnergieNed e-mail van Herman Rijken, Nuon doorgestuurd aan Gert Kelfkens, RIVM met als bijlage een Excel-bestand met belastinggegevens: circuits.
- 36 Jan Koningstein, EnergieNed e-mail van Frans Schulpen, Essent doorgestuurd aan Gert Kelfkens, RIVM met als bijlage een gezip Excel-bestand met belastinggegevens: stromen 03-05.
- 37 Jan Koningstein, EnergieNed e-mail van Frans Schulpen, Essent doorgestuurd aan Gert Kelfkens, RIVM met als bijlagen een grafiek verbindingen februari 2005 C en een gezip Excel-bestand met belastinggegevens: lijnen_0502 schoon.

- 38 Jan Koningstein, EnergieNed e-mail van Vincent Brongers, Eneco doorgestuurd aan Gert Kelfkens, RIVM met als bijlagen: een overzichtsbestand met belastinggegevens: Belastingduurkrommen Rotterdam overzicht en voor elk van de twaalf circuits de individuele data.
- 39 E-mail van Vincent Brongers, Eneco aan Gert Kelfkens, RIVM met als bijlagen overzichtsfiles voor het gehele netwerk van ENBU: Belastingduurkrommen Utrecht overzicht en ENECO Netbeheer: Belastingduurkrommen Rotterdam overzicht.
- 40 Stuurman CS en Van Wolven JF. Kostenanalyse van de technische maatregelen ter beperking magnetische velden nabij bovengrondse hoogspanningslijnen (vooronderzoek), Deel 1: samenvatting. KEMA T&D consulting rapport nr. 40130074-TDC 02-25766A, oktober 2002.
- 41 Peter Ligtvoet TenneT, e-mail dd 26 juli 2005 aan ministerie VROM (Lodewijk van Aernsbergen, Ginecra Delfini) met Excel-bijlagen: buitenl.xls, 380kVverbindingen.xls en 220kVverbindingen.xls.
- 42 Magneetvelden bij hoogspanningslijnen. Inventarisatie 0,4 μ T zonebreedten voor 380kV en 220kV. Ross AAHJ, Petersburg Consultants B.V. in opdracht van TenneT bv. Referentie: TE050800-R01, augustus 2005.
- 43 Zonebreedte berekening 220 kV en 380 kV-hoogspanningslijnen van TenneT Ross AAHJ, Petersburg Consultants B.V. in opdracht van TenneT bv. Referentie: TE050800-AR0, 27 juni 2005, per mail gestuurd aan RIVM en ministerie VROM op 17 augustus 2005.
- 44 Bovengrondse elektrische lijnen boven 45 kV wisselspanning – Deel 3: Verzameling van nationale normatieve aspecten. NEN-EN 50341-3 (en). Nederlands Normalisatie-instituut, Delft, november 2001.
- 45 Magneetvelden bij hoogspanningslijnen. Inventarisatie 0,4 μ T zonebreedten voor 380 kV en 220 kV. Ross AAHJ, Petersburg Consultants B.V. in opdracht van TenneT bv, 30 september 2005, TE050800-R01 Aro.
- 46 Measurement procedures for electric and magntic fields generated by AC power lines with regard to human exposure. Draft proposal 106/75/NP International Electrotechnical Commission, IEC, 2004.
- 47 Dr. Olaf Plotzke (FGEU) e-mail getiteld 'Re: tower-to-earth resistance in EFC-400' gestuurd aan Gert Kelfkens, RIVM op 8 april 2005.
- 48 Kostenanalyse van de technische maatregelen ter beperking magnetische velden nabij bovengrondse hoogspanningslijnen (vooronderzoek). Deel 1 Samenvatting (40130074-TDC 02-25766A), Deel 2 Uitgangspunten voor magnetische veldberekeningen en inventarisatie beperkende maatregelen (40130074-TDC 02-25715A) en Deel 4 Kosten en baten analyse (40130074-TDC 02-25806A). KEMA, Arnhem, 2002.