



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu

*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Verkenning jaargemiddelde belasting van bovengrondse hoogspanningslijnen in 2011 en 2013

RIVM Rapport 2015-0187

G. Kelfkens | M.J.M. Pruppers



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

Verkenning jaargemiddelde belasting van bovengrondse hoogspanningslijnen in 2011 en 2013

RIVM Rapport 2015-0187

Colofon

© RIVM 2015

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

G. Kelfkens (auteur), RIVM
M.J.M. Pruppers (auteur), RIVM

Contact:
Gert Kelfkens
Centrum Duurzaamheid, Milieu en Gezondheid
gert.kelfkens@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Milieu, Directoraat-Generaal Milieu en Internationaal, directie Veiligheid en Risico's, in het kader van het project 'M/260032/15/HB Beleidsondersteuning elektromagnetische velden'.

Dit is een uitgave van:
**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
Nederland
www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Verkenning jaargemiddelde belasting van bovengrondse hoogspanningslijnen in 2011 en 2013

Het RIVM heeft verkennend onderzocht of de belasting van de hoogspanningslijnen in de praktijk overeenkomt met de getallen waarmee in de Handreiking de magneetveldzone wordt berekend. De Handreiking gaat uit van twee vaste percentages (30 en 50 procent) van de maximale stroom die door de bovengrondse hoogspanningslijn kan worden vervoerd. Bij de meeste hoogspanningslijnen ligt de belasting onder deze percentages en bij drie procent worden de percentages overschreden.

Dit verkennende onderzoek is uitgevoerd op basis van gegevens over 2011 en 2013 van netbeheerder TenneT, die alle lijnen van het landelijke hoogspanningsnet beheert. De netbeheerder is verantwoordelijk voor de kwaliteit van de geleverde gegevens. Omdat de stroom door een hoogspanningslijn steeds verandert, is in de verkenning van het RIVM – in overeenstemming met de Handreiking – gerekend met de gemiddelde stroom die gedurende een jaar door de hoogspanningslijnen loopt.

Vanwege de geconstateerde overschrijdingen van de vaste percentages is aan de Handreiking een attendering toegevoegd dat deze mogelijkheid zich kan voordoen. Een overschrijding van de percentages leidt tot een bredere magneetveldzone. Het is daarom van belang dat het bevoegd gezag op de hoogte is en daar bij het nemen van beslissingen over de ruimtelijke ordening rekening mee kan houden.

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

Kernwoorden: hoogspanningslijn, magneetveldzone, jaargemiddelde belastingsgraad

Synopsis

Exploring the yearly averaged load of overhead power lines in 2011 and 2013

RIVM has investigated how the actual load of overhead high-voltage power lines in the Netherlands relates to the assumptions made in the Dutch Guideline that has been used to calculate the magnetic field zone. The Guideline uses two fixed percentages (30 and 50 percent) of the maximum current that can be transported by the overhead power line. For most of the overhead power lines the load is lower than these percentages; in three percent of the lines these percentages are exceeded.

This exploring investigation is based on data for 2011 and 2013 from transmission system operator TenneT which operates all lines of the national grid in the Netherlands. TenneT is responsible for the quality of the provided data. Because the current running through the overhead power line always fluctuates, RIVM has used - in line with the Guideline - the yearly averaged current.

Due to the established exceedances of the fixed percentages a message has been added to the Guideline to draw attention to this possibility. Exceedance of the percentages leads to a broader magnetic field zone. Therefore, it is important that the competent authorities are informed and take this into consideration in decisions on spatial planning.

The Guideline emerged from the precautionary policy of the Ministry of Infrastructure and the Environment on overhead power lines issued in 2005. This policy defines a magnetic field zone within which, in new situations, as few as possible dwellings, schools, crèches, and day care facilities are to be situated. The policy was initiated because scientific research indicates that children living in the vicinity of overhead power lines are more likely to develop leukaemia.

Keywords: power line, magnetic field zone, yearly averaged load fraction

Inhoudsopgave

Samenvatting – 9

1 Inleiding – 11

- 1.1 Aanleiding – 11
- 1.2 Doel en vraagstelling – 12
- 1.3 Leeswijzer – 13

2 Levering door TenneT – 15

- 2.1 Gemeten stroom per circuit – 15
- 2.2 Pilot – 15
- 2.3 Levering meetfiles – 15

3 Analyse – 19

- 3.1 Beschikbaarheid in de tijd – 19
- 3.2 Bepaling jaargemiddelde belastingsgraad – 20
- 3.3 Verwerking uitschieters – 21

4 Resultaten – 29

- 4.1 Jaargemiddelde belastingsgraad 2011 en 2013 – 29
- 4.2 Vergelijking met 2003 – 32

5 Reactie TenneT, her-analyse en kwaliteitscontrole – 35

6 Discussie – 37

- 6.1 Jaargemiddelde belastingsgraad, algemeen – 37
- 6.2 Jaargemiddelde belastingsgraad, vergelijking met Handreiking 4.0 – 37
- 6.3 Beschikbaarheid belastingsgegevens – 38
- 6.4 Kwaliteit belastingsgegevens – 38
- 6.5 Meetfiles en afkap – 39
- 6.6 Van meetfiles naar circuit – 39
- 6.7 Circuits met drie meetstations – 40
- 6.8 Gevolgen voor Handreiking – 40

7 Conclusies – 43

Referenties – 45

Bijlage 1 Stroom- en spanningsmeting – 47

Bijlage 2 Jaargemiddelde belastingsgraad en afkap 2013 – 50

Bijlage 3 Jaarbelasting circuits met overschrijding – 52

Samenvatting

Achtergrond

Uit epidemiologisch onderzoek komen aanwijzingen dat kinderen die dicht bij bovengrondse hoogspanningslijnen wonen een hogere kans hebben om leukemie te krijgen. Dit onderzoek en de bezorgdheid bij burgers, vormden voor de Nederlandse overheid aanleiding in 2005 beleid te ontwikkelen op basis van het verzorgsbeginsel. De Rijksoverheid adviseert gemeenten en netbeheerders om zo veel als redelijkerwijs mogelijk is te vermijden dat er nieuwe situaties ontstaan waarbij kinderen langdurig verblijven in het gebied rond bovengrondse lijnen waarbinnen de jaargemiddelde magneetveldzone hoger is dan 0,4 microtesla. Het RIVM heeft in 2005 op verzoek van het ministerie van VROM een Handreiking voor de berekening van de magneetveldzone opgesteld.

Bij deze berekening is de stroom door de geleiders van de bovengrondse hoogspanningslijn een van de parameters. In de berekening wordt de rekenstroom gerelateerd aan de ontwerpbelasting van een circuit. Een hoogspanningslijn bestaat meestal uit twee circuits, één links en één rechts van de mast, waarbij elk circuit bestaat uit drie geleiders. De ontwerpbelasting is de maximale belasting die de geleiders op grond van hun thermische eigenschappen gedurende langere tijd kunnen doorstaan. Voor de 380 kV en 220 kV circuits gaat Handreiking 4.0 uit van een rekenstroom van 30% van de ontwerpbelasting. Deze 30% is gekozen door het ministerie van IenM in overleg met netbeheerder TenneT, op basis van de RIVM-analyse van de belasting van de 380 kV en 220 kV circuits in 2003. Omdat er toen onvoldoende belastingsgegevens voor de 150 kV, 110 kV en 50 kV circuits beschikbaar waren, gaat Handreiking 4.0 voor die circuits uit van een rekenstroom van 50% van de ontwerpbelasting. Deze 50% is als maximum aangenomen op basis van de eisen aan het hoogspanningsnet met betrekking tot de leveringszekerheid. In overleg met de opdrachtgever is besloten dat de belasting van de 50 kV circuits buiten de huidige analyse blijft.

Aanleiding

Omdat de rekenstroom een van de bepalende factoren is voor de breedte van de magneetveldzone, vindt de Rijksoverheid het belangrijk te onderzoeken of een rekenstroom van 30% of 50% van de ontwerpbelasting inderdaad groter is dan de werkelijke jaargemiddelde belasting van het Nederlandse hoogspanningsnet. Het RIVM heeft daarom de belasting van het hoogspanningsnet in 2011 en 2013 geanalyseerd.

Meetgegevens TenneT

TenneT heeft in augustus 2014 aan het RIVM gegevens voor vrijwel alle 380 kV, 220 kV, 150 kV en 110 kV circuits beschikbaar gesteld. Voor elk circuit is de ontwerpbelasting en indien mogelijk een stroommeting op elke vijf minuten in 2011 en 2013 geleverd. Netbeheerder TenneT is verantwoordelijk voor de kwaliteit en volledigheid van de aangeleverde gegevens. Het RIVM heeft een methode ontwikkeld om voor elk circuit de jaargemiddelde belastingsgraad te bepalen. De belastingsgraad is de verhouding tussen de stroom die gemiddeld over een jaar door het circuit loopt en de stroom behorende bij de ontwerpbelasting van dat circuit.

Kwaliteit gegevens

Na een eerste analyse door het RIVM zijn de resultaten aan TenneT voorgelegd die extra controles heeft uitgevoerd op de circuits die een overschrijding te zien gaven. Uit die controle bleken er onjuistheden in de aan het RIVM geleverde gegevens voor te komen. Op grond daarvan zijn extra controles nodig, ook op de circuits die geen overschrijding te zien gaven. TenneT heeft aangegeven deze controles niet binnen afzienbare tijd uit te kunnen voeren. Hoewel de gegevens in het voorliggende rapport als gevolg daarvan onjuistheden kunnen bevatten of onvolledig kunnen zijn, heeft het RIVM – na overleg met betrokken partijen – besloten het rapport af te ronden en als ‘verkenning’ van de belasting van het hoogspanningsnet te publiceren. Het algemene beeld is dat overschrijding van de 30% resp. 50% van de ontwerpbelasting bij enkele hoogspanningslijnen in de betreffende jaren is opgetreden.

Gemiddelde belasting hoogspanningsnet

Uit de verkenning van de belasting van het hoogspanningsnet in 2011 en 2013 blijkt dat de gemiddelde belasting een factor drie lager is dan de belasting waarmee in Handreiking 4.0 wordt gerekend. Gemiddeld is de (jaargemiddelde) belastingsgraad 10% voor de 380 kV en 220 kV circuits en ongeveer 15% voor de 150 kV en 110 kV circuits.

Vergelijking met de percentages in Handreiking 4.0 en met 2003

Uit de verkenning blijkt dat in 2013 97,3% van de 380 kV en 220 kV circuits een jaargemiddelde belastingsgraad heeft die lager is dan de 30% in Handreiking 4.0. In 2011 treedt voor geen van deze circuits overschrijding op. In 2013 vindt voor twee 380 kV circuits overschrijding plaats. Vergeleken met 2003 is het percentage circuits met overschrijding afgenomen; toen had 90% van de 380 kV en 220 kV circuits een jaargemiddelde belastingsgraad onder de 30%.

Van de 150 kV en 110 kV circuits heeft in 2011 98,5% en in 2013 97,7% een jaargemiddelde belastingsgraad die lager is dan de 50% in Handreiking 4.0. Van de 150 kV en 110 kV hebben er in 2013 acht circuits een jaargemiddelde belastingsgraad boven de 50% en in 2011 vijf. Vier van de vijf circuits waarvoor in 2011 overschrijding plaatsvond, hebben ook in 2013 een jaargemiddelde belastingsgraad boven de 50%. Vanwege het ontbreken van voldoende gegevens over 2003 voor de 150 kV en 110 kV circuits, is een vergelijking met 2003 niet mogelijk.

Actualisatie Handreiking

Door een hogere jaargemiddelde belasting dan 30% of 50% kan de magneetveldzone breder worden dan uit een berekening met de Handreiking 4.0 volgt. Het is belangrijk dat het bevoegd gezag bij ruimtelijke afwegingen van een mogelijke overschrijding op de hoogte is. Daarom attendeert de geactualiseerde Handreiking 4.1 het bevoegd gezag op deze mogelijkheid. In overleg met de netbeheerder en de initiatiefnemer kan worden besloten om voor lijnen die mogelijk zwaarder worden belast dan 30% of 50%, met een hoger percentage te rekenen.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Opwekking, transport en gebruik van elektriciteit veroorzaken magneetvelden met extreem lage frequentie (ELF). Al meer dan 35 jaar wordt er onderzoek gedaan naar gezondheidseffecten van deze ELF-velden. Vooral op basis van epidemiologisch onderzoek kwalificeerde de International Agency for Research on Cancer (IARC) de ELF magneetvelden als 'mogelijk carcinogeen voor mensen' [1]. De commissie 'ELF elektromagnetische velden' van de Gezondheidsraad ziet in het epidemiologisch onderzoek een redelijk consistente associatie tussen het vóórkomen van leukemie bij kinderen en het wonen in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen [2]. Overigens oordeelt de commissie dat er geen oorzakelijk verband is aangetoond. In een analyse van epidemiologisch onderzoek concludeerde het RIVM dat van een mogelijk verhoogd risico op kinderleukemie sprake is bij wonen op een locatie waar de sterkte van het magneetveld hoger is dan een waarde ergens tussen 0,2 en 0,5 microtesla [3].

De mogelijkheid van gezondheidseffecten, de wetenschappelijke onzekerheid en bezorgdheid bij burgers, vormden voor de Nederlandse overheid aanleiding beleid te ontwikkelen op basis van het voorzorgsbeginsel. Dat beleid is vastgelegd in een advies van voormalig staatssecretaris Van Geel aan gemeenten, provincies en netbeheerders van 3 oktober 2005 [4]. In 2008 is het beleidsadvies door voormalig minister Cramer verduidelijkt [5]. Doel van het beleidsadvies is om zo veel als redelijkerwijs mogelijk is te voorkomen dat er nieuwe situaties ontstaan waarbij kinderen langdurig verblijven in het gebied rond bovengrondse hoogspanningslijnen waarbinnen het jaargemiddelde magneetveld hoger is dan 0,4 microtesla (de magneetveldzone). Het RIVM heeft in 2005 op verzoek van het ministerie van VROM een handreiking voor de berekening van de breedte van de magneetveldzone opgesteld. Deze Handreiking is onder andere in 2009 en 2014 geactualiseerd en het meest recent in oktober 2015 [6].

De stroom door de geleiders van de bovengrondse hoogspanningslijn is een van de parameters bij het berekenen van de magneetveldzone. Op basis van een analyse van de belastingsgegevens over 2003 voor de 380 kV en 220 kV circuits gaat Handreiking 4.0 uit van een rekenstroom van 30% van de ontwerpbelasting van deze circuits [7]. Een circuit is een groep van drie geleiders (ook wel drie fasen genoemd) die aan één zijde van de hoogspanningsmast is opgehangen; meestal hangen drie geleiders links en drie geleiders rechts van de mast, dus een circuit links en een circuit rechts.

Voor de 150 kV, 110 kV en 50 kV circuits waren over 2003 onvoldoende belastingsgegevens voor zo'n analyse beschikbaar [7]. Voor die circuits is, op basis van de enkelvoudige storingsreserve in het hoogspanningsnet (het N-1 principe), in de Handreiking gekozen voor een rekenstroom van 50% van de ontwerpbelasting. De ontwerpbelasting is de maximale belasting die de geleiders van een

hoogspanningslijn op grond van hun thermische eigenschappen gedurende langere tijd kunnen doorstaan. Netbeheerder TenneT gaf aan dat een structurele overschrijding van de 30% en 50% van de ontwerpbelasting niet voor de hand ligt. Binnen de systematiek van de tweejaarlijkse kwaliteits- en capaciteitsdocumenten identificeert de netbeheerder zwaar belaste verbindingen. Als een verbinding volgens de criteria in de Netcode te zwaar belast wordt of in de toekomst te zwaar belast zal worden, geeft de netbeheerder in het kwaliteits- en capaciteitsdocument aan hoe hij dit knelpunt zal oplossen. Dat kan door aanpassingen aan het hoogspanningsnet, door planning van onderhoudswerkzaamheden of door uitbreiding van het net. Daarnaast geeft de netbeheerder in het kwaliteits- en capaciteitsdocument aan op welke termijn het knelpunt zal zijn opgelost. Deze maatregelen kunnen er dan toe leiden dat de jaargemiddelde belasting van de verbinding weer onder 30% of 50% van de ontwerpbelasting komt te liggen.

De rekenstroom is één van de bepalende factoren voor de breedte van de berekende magneetveldzone. Alleen als de werkelijke jaargemiddelde stroom beneden 30% of 50% van de ontwerpbelasting blijft, biedt een magneetveldzoneberekening volgens Handreiking 4.0 de partijen die bij de uitvoering betrokken zijn, een adequate methode om invulling te geven aan het beleidsadvies. Daarom vindt de Rijksoverheid het van belang te onderzoeken of de gekozen 30% en 50% inderdaad groter is dan de werkelijke jaargemiddelde belasting van het hoogspanningsnet. Ook door de Raad van State is in 2010 in het kader van de bodemprocedure over de Zuidring in de Randstad 380 kV verbinding op dit belang gewezen. In de antwoorden op inspraakreacties van omwonenden van nieuwe hoogspanningsverbindingen is aangekondigd dat de belastingsgegevens zullen worden gevolgd. De Raad van State oordeelde: *'... dat de belastinggraad van de voorziene hoogspanningsverbinding intensief zal worden geëvalueerd en dat indien nodig de ministers tot een herberekening van de magneetveldzone zullen overgaan en dat zij de daaruit voortvloeiende consequenties in acht zullen nemen ...'* [8]. Strikt genomen geldt deze uitspraak alleen voor de Zuidring van de nieuwe Randstad 380 kV verbinding.

Gezien het geschetste belang heeft het ministerie van IenM aan het RIVM de opdracht gegeven om – in nauwe samenwerking met de beheerder van het hoogspanningsnet TenneT – de jaarbelasting over 2011 en 2013 te analyseren. Dit rapport beschrijft deze analyse.

Omdat TenneT niet verantwoordelijk is voor het beheer van de 50 kV verbindingen en er geen centraal overzicht is van de belasting van deze verbindingen, is in overleg met de opdrachtgever besloten die niet in de huidige analyse mee te nemen. Deze gegevens kunnen alleen met hulp van de regionale netbeheerders worden verzameld.

1.2 Doel en vraagstelling

Doel van de analyse is te beoordelen of de werkelijke jaargemiddelde belasting van de circuits in de bovengrondse hoogspanningslijnen in 2011 en 2013 lager is dan de in Handreiking 4.0 aangegeven rekenstromen van 30% (380 kV, 220 kV) en 50% (150 kV, 110 kV) van de ontwerpbelasting.

De vraagstelling voor het onderzoek is als volgt:

1. Hoe verhoudt de werkelijke jaargemiddelde belasting van het Nederlandse hoogspanningsnet in 2011 en 2013 zich met de ontwerpbelasting?
2. Geldt voor de circuits dat de jaargemiddelde belasting lager is dan het percentage van de ontwerpbelasting dat daarvoor bij de berekening van de breedte van de specifieke magneetveldzone in Handreiking 4.0 is vastgelegd, namelijk 30% voor 380 kV en 220 kV en 50% voor 150 kV en 110 kV verbindingen?
3. In hoeverre wijkt de situatie over 2011 en 2013 af van de situatie over 2003 (voor zover de gegevens over 2003 beschikbaar zijn)?

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de door TenneT geleverde stroomgegevens en de pilot voor de belastingsanalyse. In Hoofdstuk 3 wordt de door het RIVM gebruikte analysemethode uitgelegd. Hoofdstuk 4 bevat de resultaten van de analyse voor de jaren 2011 en 2013 en een vergelijking met 2003. Hoofdstuk 5 bevat de reactie van TenneT op een conceptversie van het rapport. Hoofdstuk 6 tot slot bevat de discussie.

2 Levering door TenneT

2.1 Gemeten stroom per circuit

TenneT bewaakt het evenwicht tussen levering en afname van elektrisch vermogen op het hoogspanningsnetwerk in Nederland. Hiervoor is een Energy Management System (EMS) operationeel dat elke vier seconden de meetgegevens van de afzonderlijke hoogspanningsvelden op de stations registreert. Een beknopte uitleg van de meetmethode en dataverwerking is opgenomen in Bijlage 1. De onnauwkeurigheid in een individuele stroommeting is typisch 30 A [9]. Voor de belastingsanalyse is alleen de jaargemiddelde stroom van belang. Omdat deze stroom het gemiddelde is van een groot aantal (circa 100.000) individuele stroommetingen, bedraagt de onnauwkeurigheid in die jaargemiddelde stroom minder dan 1 A.

TenneT heeft het RIVM gegevens geleverd voor 436 van de 441 circuits (98,9%) die in het Dataregister EM-velden (versie 22 augustus 2014) voorkomen. Voor deze circuits zijn meetfiles geleverd met daarin, voor zover beschikbaar, de teruggerekende stroom (zie Bijlage 1) voor elke vijf minuten gedurende het gehele jaar 2011 en 2013.

2.2 Pilot

Voorafgaand aan de analyse van het gehele hoogspanningsnet is in 2012 een pilot uitgevoerd voor 42 circuits met meetgegevens over 2011. De belangrijkste doelen waren:

- vaststellen in hoeverre TenneT de benodigde gegevens kon ontsluiten;
- testen van een analysemethode die inzicht geeft in de belasting van elk circuit en die geschikt is voor een analyse van het gehele hoogspanningsnet;
- uitvoeren van een eerste controle op overschrijding van 30% resp. 50% van de ontwerpbelasting.

De belangrijkste conclusies van de pilot waren:

- voor 40 van de 42 circuits zijn er gegevens voor meer dan 92% van het jaar;
- gegevens over de periode 2 t/m 24 februari 2011 ontbreken voor alle circuits;
- sommige meetfiles vertonen pieken ('spikes') die geen realistische stromen kunnen vertegenwoordigen; de manier waarop met de pieken wordt omgegaan, vraagt nader onderzoek;
- de jaargemiddelde belastingsgraad, die is gedefinieerd als de verhouding (in %) tussen de jaargemiddelde stroom en de stroom horende bij de ontwerpbelasting, ligt voor de 380 kV en 220 kV circuits onder de 30% en voor de 150 kV en 110 kV circuits onder de 50%.

2.3 Levering meetfiles

Veranderingen ten opzichte van de pilot

In de pilot werd voor elk tijdstip (vijf minuten) de spanning U , het vermogen P en het blindvermogen Q aangeleverd. Uit deze drie

grootheden berekende het RIVM de stroom I (in A). Op verzoek van TenneT omvatte de definitieve levering aan het RIVM uitsluitend de teruggerekende actuele stroom I, voor elk tijdstip. De berekening van de actuele stroom is door TenneT uitgevoerd en U, P en Q werden niet meegeleverd. Voor elk meetstation wordt een meetfile aangeleverd volgens het format in Tabel 1.

Tabel 1. Format van door TenneT per circuit aan te leveren meetfile

Volledige naam	Crayestein - Krimpen a/d IJssel 380 zwart
TAMS circuit-code	CST-KIJ380 Z
Jaar van meting	2011
Station van meting	CST380
Nominale spanning (kV)	380
Ontwerpstroom (A)	4679
Datum Tijd	Actuele stroom
1-1-2011 0:00	510,176
1-1-2011 0:05	482,553
1-1-2011 0:10	448,484
1-1-2011 0:15	430,191
1-1-2011 0:20	434,863
1-1-2011 0:25	419,999
1-1-2011 0:30	390,014
...	...
...	...
...	...
31-12-2011 23:30	678,364
31-12-2011 23:35	679,01
31-12-2011 23:40	684,869
31-12-2011 23:45	680,406
31-12-2011 23:50	682,204
31-12-2011 23:55	678,785

Optimalisatie meetfiles en register

Na de pilot is door TenneT in december 2012 een eerste verzameling meetfiles ter analyse aan het RIVM aangeboden. Deze verzameling meetfiles bleek niet alleen bovengrondse hoogspanningslijnen maar ook ondergrondse verbindingen te bevatten. Daarnaast bestond er geen overeenstemming tussen de getalswaarde van de ontwerpbelasting van de circuits in de meetfiles en die in het Dataregister EM-velden van TenneT. De ontwerpbelasting van een circuit is van invloed op de waarde van de belastingsgraad en het resultaat van de berekening van de magneetveldzone. De Rijksoverheid acht het van belang dat de ontwerpbelasting eenduidig vastligt. Daarom heeft TenneT in de periode van begin 2013 tot medio 2014 een aantal verbeterlagen uitgevoerd met betrekking tot de meetfiles en met betrekking tot het Dataregister EM-velden. Uiteindelijk hebben deze verbeterlagen geleid tot meetfiles over 2011 en 2013 (levering 29 augustus 2014) waarin alleen bovengrondse circuits zijn opgenomen en waarvan de ontwerpbelastingen in de meetfiles overeenkomen met die in het Dataregister EM-velden (versie 22 augustus 2014).

Definitieve levering

De levering van 29 augustus 2014 bevat 826 meetfiles voor 2011 en 826 meetfiles voor 2013. De 'meetfiles' bevatten de uit de gemeten U, P en Q berekende stroom voor het gehele jaar, met tussenstappen van vijf minuten. In het Dataregister kunnen verschillende gedeeltes van een circuit verschillende ontwerpbelastingen hebben. Voor die circuits is in de meetfile de laagste waarde van de ontwerpbelasting opgenomen. Rekenen met deze waarde betekent namelijk dat de jaargemiddelde belastinggraad in ieder geval niet wordt onderschat.

De meeste hoogspanningscircuits hebben meetstations aan beide zijden (tweezijdige meting). Voor deze circuits zijn per circuit twee meetfiles aangeleverd. Bijvoorbeeld het circuit BKL-DIM150 W (Breukelen - Diemen 150 kV wit) met een meetfile voor meetstation Diemen (DIM150) en meetstation Breukelen (BKL150). Een aantal andere circuits heeft één meetstation aan een zijde (enkelzijdige meting). Bijvoorbeeld het circuit AB-AK150 W (Alblasserdam - Arkel 150 kV wit) dat alleen een meetstation in Alblasserdam (AB150) heeft.

Tot slot zijn er 41 circuits met drie of meer meetstations. Voor deze circuits zijn twee mogelijkheden: de naam van het circuit bevat drie of meer meetstations of er zijn voor dat circuit drie meetfiles aangeleverd. Een voorbeeld is MZ-EHVO-EHVZ150 met meetfiles op de stations MZ150, EHVO150 en EHVZ150. Deze situatie ontstaat, volgens uitleg van TenneT, meestal door een aftakking of een andere wijziging aan het originele circuit.

Tabel 2 geeft een overzicht van de geleverde meetfiles per spanningsniveau en het aantal maal dat de enkelzijdige, tweezijdige en drievoudige metingen voorkomen. Het maakt daarbij geen verschil of 2011 of 2013 geanalyseerd wordt.

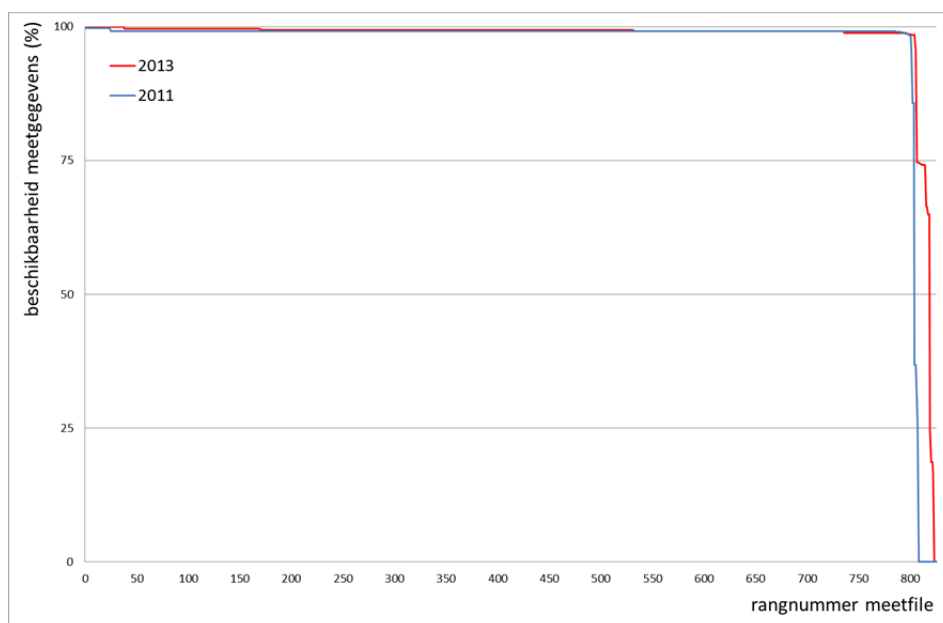
Tabel 2. Aangeleverde meetfiles, circuits en meetstations

spanning (kV)	aantal meetfiles	aantal circuits	enkelzijdig	tweezijdig	drievoudig
380	88	56	24	32	0
220	35	21	7	14	0
150	451	234	28	195	11
110	252	125	3	117	5
totaal	826	436	62	358	16

3 Analyse

3.1 Beschikbaarheid in de tijd

Tijdstippen waarop geen valide meetwaarde voor de stroom is aangeleverd, aangegeven als 'NaN' (not a number), zijn niet in de analyse meegenomen. Allereerst is onderzocht voor welk deel van de tijd er in 2011 en 2013 meetwaarden beschikbaar zijn. Dit percentage kan per meetfile verschillen. In Figuur 1 is voor alle 826 meetfiles aangegeven voor welk percentage van het jaar er meetwaarden beschikbaar zijn.



Figuur 1. Beschikbaarheid meetwaarden in 2013 en 2011 als percentage van het totaal aantal meetwaarden; de meetfiles zijn gesorteerd naar afnemende beschikbaarheid

In 2013 hebben 805 van de 826 meetfiles voor meer dan 95% van het jaar meetwaarden. In 2011 geldt dit voor 801 van de 826 meetfiles. Naarmate de meetfiles voor een kleiner deel van het jaar gegevens bevatten, wordt de schatting van de jaargemiddelde belasting minder betrouwbaar.

Als een meetfile voor minder dan 5% van het jaar meetgegevens bevat, wordt de schatting van het jaargemiddelde als te onbetrouwbaar beoordeeld. Voor de keuze van dit percentage is geen objectief criterium te bedenken (zie ook paragraaf 6.3). Deze meetfiles met meetgegevens voor minder dan 5% van het jaar worden niet in de belastingsanalyse meegenomen. Oorzaak van een gering aantal meetgegevens is meestal uitval van een van de meters op het station.

3.2 Bepaling jaargemiddelde belastingsgraad

Het bepalen van de jaargemiddelde belastingsgraad vindt plaats op het niveau van een circuit. De jaargemiddelde stroom is gedefinieerd als de som van alle valide meetwaarden voor de stroom gedeeld door het aantal valide meetwaarden. De jaargemiddelde belastingsgraad (in %) is gedefinieerd als de jaargemiddelde stroom gedeeld door de stroom die hoort bij de ontwerpbelasting (de ontwerpstroom). Als een circuit enkelzijdig wordt bemeten, volgt de jaargemiddelde belasting direct uit de gegevens in één meetfile. Als een circuit tweezijdig bemeten is, kan de jaargemiddelde belastingsgraad bepaald uit de gegevens van de verschillende meetstations van elkaar verschillen. Als dat zo is, zijn er verschillende manieren om de jaargemiddelde belastingsgraad voor dat circuit vast te leggen. Een eerste mogelijkheid is het gewogen gemiddelde van de belastingsgraad van de twee meetfiles te nemen. De weegfactor daarbij is het aantal valide meetwaarden in de meetfiles. Een tweede mogelijkheid is om (conservatief) de hoogste belastingsgraad van de verschillende meetfiles als jaargemiddelde belastingsgraad voor het circuit te hanteren.

In de analyse van de jaargemiddelde belastingsgraad is, vanwege het conservatieve karakter, voor de tweede methode gekozen. Als de meetfiles voor een circuit tot verschillende belastingsgraden leiden, wordt de hoogste van de twee waarden als jaargemiddelde belastingsgraad voor het circuit gehanteerd. Op deze manier wordt de jaargemiddelde belastingsgraad voor een circuit in ieder geval niet onderschat.

Voor de circuits met drie (of meer) meetstations is een aparte analyse uitgevoerd. Voor elk circuit is bij TenneT een zogenaamde 'verbindingstekening' opgevraagd die het circuit in beeld brengt en laat zien waar bovengrondse aftakkingen en overgangen op (ondergrondse) kabels plaatsvinden. Deze verbindingstekening is gecombineerd met de mastposities in het Dataregister. Op grond van die gegevens kan worden bepaald welk meetstation, welke jaargemiddelde stroom en welke ontwerpbelasting bij een bepaald gedeelte van het circuit horen. Daarbij zijn voor het hoogspanningslijnenbeleid en voor deze verkenning alleen de bovengrondse gedeelten van belang. Voor elk bovengronds gedeelte van het circuit is de belastingsgraad bepaald. De maximale belastingsgraad wordt aan het circuit toegekend. Voor de circuits met drie (of meer) meetstations is het belangrijk dat elk bovengronds circuitdeel op beide afsluitende stations bemeten wordt. Als er slechts enkelzijdig gemeten is, valt er over de stroom aan de andere zijde van het circuit niets te zeggen omdat er in het tussenstation stroom aan- of afgevoerd kan worden. Daarom kan de belastingsgraad voor een circuit met drie of meer stations alleen worden bepaald als er aan weerszijden metingen beschikbaar zijn. In andere gevallen kan aan zo'n circuit geen belastingsgraad toegekend worden. Op deze regel is in de analyse één uitzondering gemaakt. Als voor een circuit niet voor alle delen een belastingsgraad kan worden bepaald, maar er is voor de delen waar die wel bekend is sprake van overschrijding, dan wordt aan dit circuit de maximaal voorkomende belastingsgraad toegekend.

Als alle meetfiles voor een circuit voor minder dan 5% van het jaar gegevens hebben, is geen belasting voor dat circuit bepaald. Ook kon voor een aantal circuits met drie meetstations geen belastingsgraad worden bepaald. Daarom is niet voor alle aangeleverde 436 circuits de jaargemiddelde belastingsgraad berekend. Tabel 3 geeft per jaar en per spanningsniveau aan hoeveel circuits er overblijven.

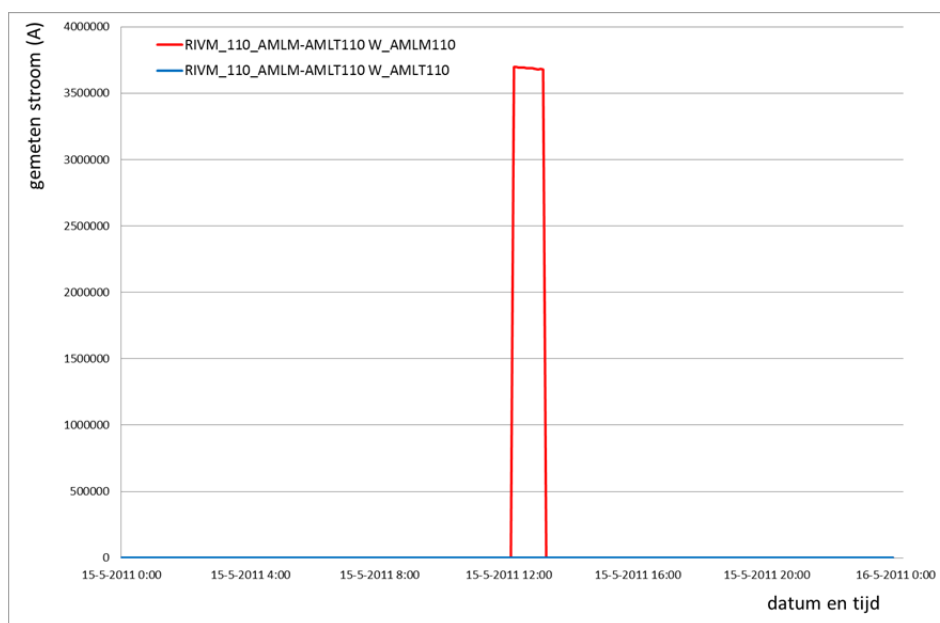
Tabel 3. Aantal circuits waarvoor de jaargemiddelde belastingsgraad kan worden bepaald omdat er voldoende meetgegevens beschikbaar zijn

jaar/spanning	110 kV	150 kV	220 kV	380 kV	totaal
2013	121	225	21	54	421
2011	121	223	21	48	413
totaal	242	448	42	102	834

3.3 Verwerking uitschieters

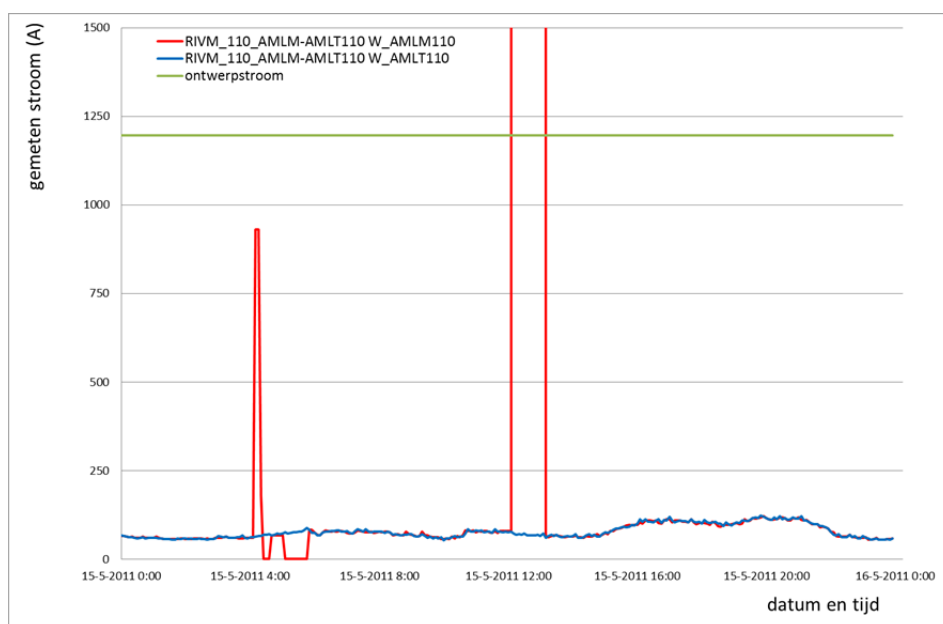
Inleiding

Sommige meetfiles laten (korte) periodes met zeer hoge meetwaarden (spikes) zien, waarbij de stroom tot boven een miljoen ampère kan oplopen. Dergelijke teruggerekende stromen vormen volgens TenneT geen reële stromen. Het zonder meer meetellen van deze stroomwaarden bij het bepalen van de gemiddelde jaarbelasting leidt tot een overschatting van de jaargemiddelde belasting en van de jaargemiddelde belastingsgraad. Een voorbeeld hiervan geven de meetfiles voor de 110 kV verbinding Almelo Mosterdpot - Almelo Tusveld (zie Figuur 2).



Figuur 2. Metingen op 15 mei 2011 van beide meetstations (AMLM110 en AMLT110) in circuit wit van de 110 kV verbinding Almelo Mosterdpot - Almelo Tusveld

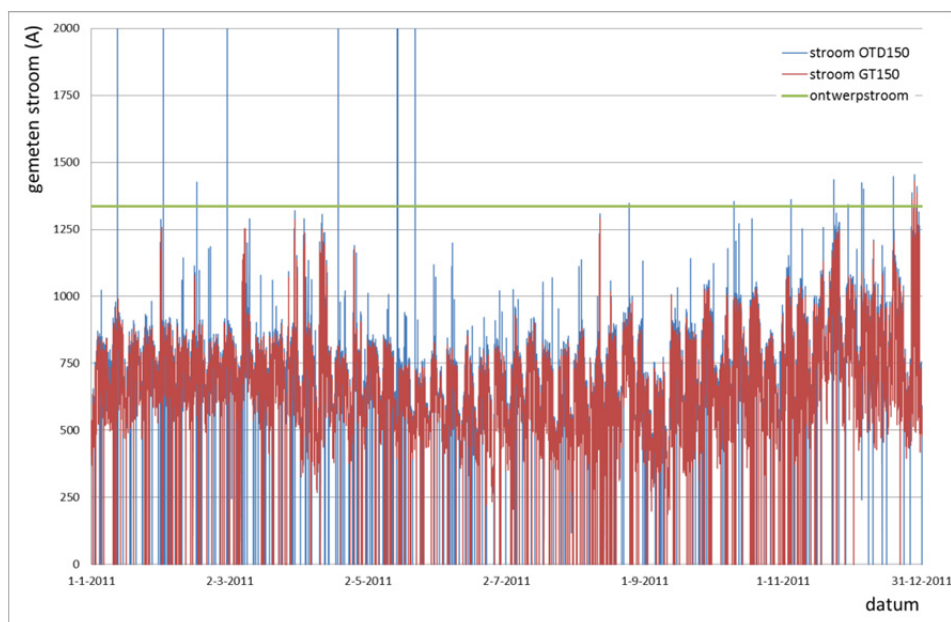
Figuur 3 geeft dezelfde stroommeting ingezoomd op een stroombereik van 1500 A.



Figuur 3. Metingen op 15 mei 2011 van beide meetstations (AMLM110 en AMLT110) in circuit wit van de 110 kV verbinding Almelo Mosterdpot - Almelo Tusveld

Naast de uitschieters met stroomwaarden rond $3,5 \times 10^6$ A worden nu ook kleinere onregelmatigheden zichtbaar.

Uitschieters kunnen ook minder extreem zijn. Een voorbeeld daarvan is het circuit GT-OTD150 Z. Het jaarverloop voor beide meetstations is weergegeven in Figuur 4.



Figuur 4. Jaarverloop van de vijfminuten metingen in 2011 voor circuit zwart van de 150 kV verbinding Geertruidenberg - Oosteind voor de meetstations GT150 en OTD150

In dit geval hebben de uitschieters een minder uitgesproken karakter en gaat het om stroomwaarden van rond de 800 A in plaats van in de orde van enkele miljoenen ampères.

Afkapmogelijkheden

Bij het bepalen van de jaargemiddelde belastingsgraad zullen uitschieters die geen reële stroommeting vertegenwoordigen, zoals in Figuur 3, op een verantwoorde manier uitgesloten moeten worden. In de belastingsanalyse is dat gebeurd door een afkapniveau te kiezen waarboven meetwaarden als niet-realistisch worden beschouwd en niet in de belastingsanalyse worden meegenomen. Er is geen criterium voor het objectief vaststellen van een waarde voor het afkapniveau. Er zou gekozen kunnen worden voor een absoluut niveau van de stroom, bijvoorbeeld 10.000 A, als maximale realistische waarde en alles wat daarboven ligt af te kappen. Als er meer rekening wordt gehouden met de specifieke circuiteigenschappen (ontwerpbelasting) kan ervoor gekozen worden af te kappen op de waarde van 1 x de ontwerpbelasting, 1,5 x ontwerpbelasting, 2 x ontwerpbelasting enz. Om te kunnen beoordelen wat de invloed van de afkap is, is de belastingsanalyse uitgevoerd voor een aantal afkapmogelijkheden:

- geen afkap;
- afkap boven 10 x ontwerpbelasting;
- afkap boven 2 x ontwerpbelasting;
- afkap boven 1,5 x ontwerpbelasting; en
- afkap boven 1 x ontwerpbelasting.

380 kV en 220 kV

Voor de 380 kV en 220 kV komen meetwaarden boven de ontwerpbelasting niet voor. Dat geldt voor zowel het jaar 2011 als het jaar 2013. De jaargemiddelde belastingsgraad voor die spanningsniveaus is daarmee ongevoelig voor de keuze van een afkapniveau.

110 kV in 2011

Voor de 110 kV circuits vindt voor een aantal meetfiles overschrijding van de ontwerpbelasting plaats. In 2011 hebben 183 meetfiles meetpunten die boven de ontwerpbelasting liggen en in 2013 zijn dat 93 meetfiles. De keuze van het afkapniveau heeft voor die meetfiles invloed op de jaargemiddelde belasting en kan de jaargemiddelde belastingsgraad beïnvloeden. In Tabel 4 is weergegeven op welke manier het aantal meetfiles met punten boven de afkapgrens afneemt als die afkapgrens hoger wordt. Voor de meetfiles over het jaar 2013 zijn de gegevens weergegeven in Tabel 5.

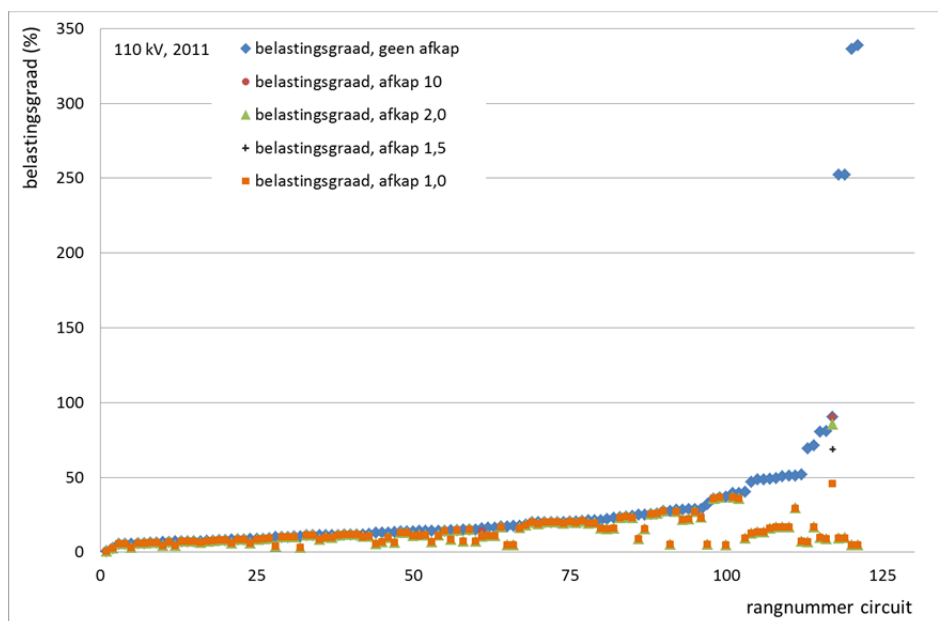
Tabel 4. Aantal meetfiles per spanningsniveau dat in 2011 meetpunten heeft boven de aangegeven afkapgrenzen

afkapgrens spanning	totaal aantal meetfiles	1 x ontwerpbelasting	1,5 x ontwerpbelasting	2 x ontwerpbelasting	10 x ontwerpbelasting	geen afkap
110 kV	252	183	180	172	118	0
150 kV	451	218	197	191	144	0
220 kV	35	0	0	0	0	0
380 kV	88	0	0	0	0	0

Tabel 5. Aantal meetfiles per spanningsniveau dat in 2013 meetpunten heeft boven de aangegeven afkapgrenzen

afkapgrens spanning	totaal aantal meetfiles	1 x ontwerp-belasting	1,5 x ontwerp-belasting	2 x ontwerp-belasting	10 x ontwerp-belasting	geen afkap
110 kV	252	93	60	43	4	0
150 kV	451	94	53	40	12	0
220 kV	35	0	0	0	0	0
380 kV	88	0	0	0	0	0

Bij hogere afkapniveaus worden steeds meer, relatief hoge meetwaarden voor de stroom bij het bepalen van de jaargemiddelde belasting meegenomen. Hierdoor neemt de jaargemiddelde belastingsgraad toe, soms tot boven de 300% als geen enkele stroomwaarde buiten beschouwing wordt gelaten (Figuur 5).



Figuur 5. Invloed van het afkapniveau op de berekende jaargemiddelde belastingsgraad voor de 110 kV circuits in 2011; de circuits zijn gesorteerd op de jaargemiddelde belastingsgraad zonder afkap

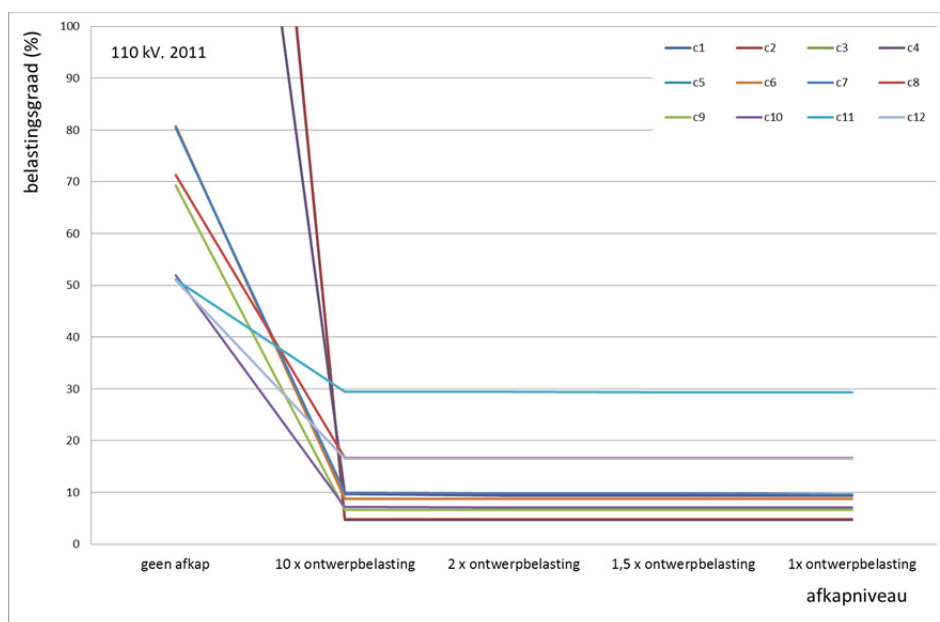
Tabel 6 geeft in getallen de gevolgen van de keuze van het afkapniveau voor de dertien 110 kV circuits die in 2011 de 50% jaargemiddelde belastingsgraad (zonder afkap) overschrijden.

Tabel 6. Invloed van het afkapniveau op de jaargemiddelde belastingsgraad (%) voor de 110 kV circuits die in 2011 bij geen afkap een jaargemiddelde belastingsgraad van 50% overschrijden

circuit	geen afkap	afkap 10 x	afkap 2 x	afkap 1,5 x	afkap 1 x
RT-NVD110 W	51,5	16,5	16,5	16,5	16,5
RT-NVD110 Z	51,0	16,5	16,5	16,5	16,5
SKN-MEE110 GL	51,1	29,4	29,4	29,3	29,3
VDM-GLTK110 Z	51,9	7,2	7,1	7,1	7,1
MEE-WS110 W	69,3	6,6	6,6	6,6	6,6
AMLM-TBG110 Z	71,3	16,7	16,7	16,7	16,7
VDM-MEE110 G	80,4	9,9	9,8	9,8	9,6
VDM-MEE110 W	80,7	8,8	8,8	8,8	8,7
HGV-HDB110 B	90,2	90,2	85,4	69,0	45,7
ZYV-BL110 W	252,0	9,7	9,4	9,4	9,4
ZYV-BL110 Z	252,0	9,7	9,5	9,4	9,4
ZYV-MAK110 W	336,4	4,7	4,7	4,7	4,7
ZYV-MAK110 Z	338,7	4,8	4,8	4,8	4,8

Van de dertien 110 kV circuits met overschrijding (2011, zonder afkap) blijft er bij een keuze voor een afkapniveau van tweemaal de ontwerpbelasting één over.

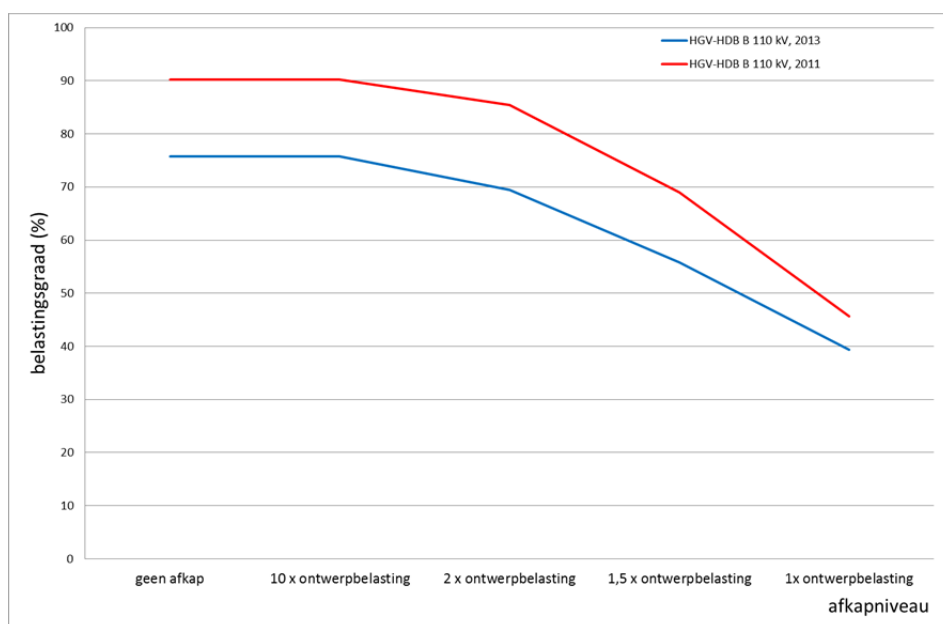
De invloed van het afkapniveau op de jaargemiddelde belastingsgraad kan ook op een andere manier worden weergegeven. In Figuur 6 is de berekende jaargemiddelde belastingsgraad als functie van het afkapniveau weergegeven voor de 110 kV circuits in Tabel 6, met uitzondering van HGV-HDB110 B.



Figuur 6. Invloed van het afkapniveau op de berekende jaargemiddelde belastingsgraad voor twaalf 110 kV circuits

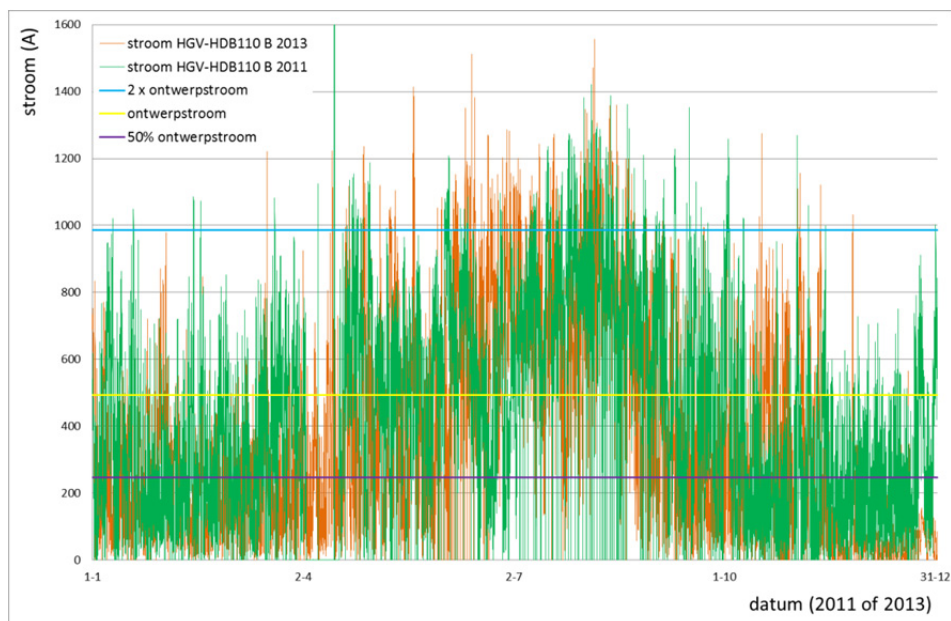
Voor de circuits in Figuur 6 wordt zonder afkap een relatief hoge jaargemiddelde belastingsgraad bepaald. Als het afkapniveau op 10 x de

ontwerpbelasting wordt gelegd, neemt voor de meeste circuits de jaargemiddelde belastingsgraad sterk af omdat de hoge spikes (als die aanwezig zijn) niet meer meedoen bij het bepalen van de jaargemiddelde belastingsgraad. Verder verlagen van het afkapniveau naar 2 x, 1,5 x of 1 x de ontwerpbelasting beïnvloedt de jaargemiddelde belastingsgraad nauwelijks. Voor de 110 kV circuits is er één uitzondering, namelijk circuit: HGV-HDB110 B. Dit circuit toont in 2011 en in 2013 afwijkend gedrag. De jaargemiddelde belastingsgraad als functie van het afkapniveau voor dit circuit in 2011 en 2013 is weergegeven in Figuur 7.



Figuur 7. Invloed van het afkapniveau op de berekende jaargemiddelde belastingsgraad voor het 110 kV circuit HGV-HDB B

Voor dit circuit heeft de stap van geen afkap naar een afkap boven 10 x de ontwerpwaarde geen invloed, blijkbaar zijn er geen spikes boven 10 x de ontwerpbelasting aanwezig. De stap van 10 x de ontwerpbelasting naar 2 x heeft invloed op het afkapniveau, maar ook verder verlagen van het afkapniveau naar 1,5 x of 1 x de ontwerpbelasting blijft van invloed op de jaargemiddelde belastingsgraad. De gemeten stroom voor dit circuit is weergegeven in Figuur 8.

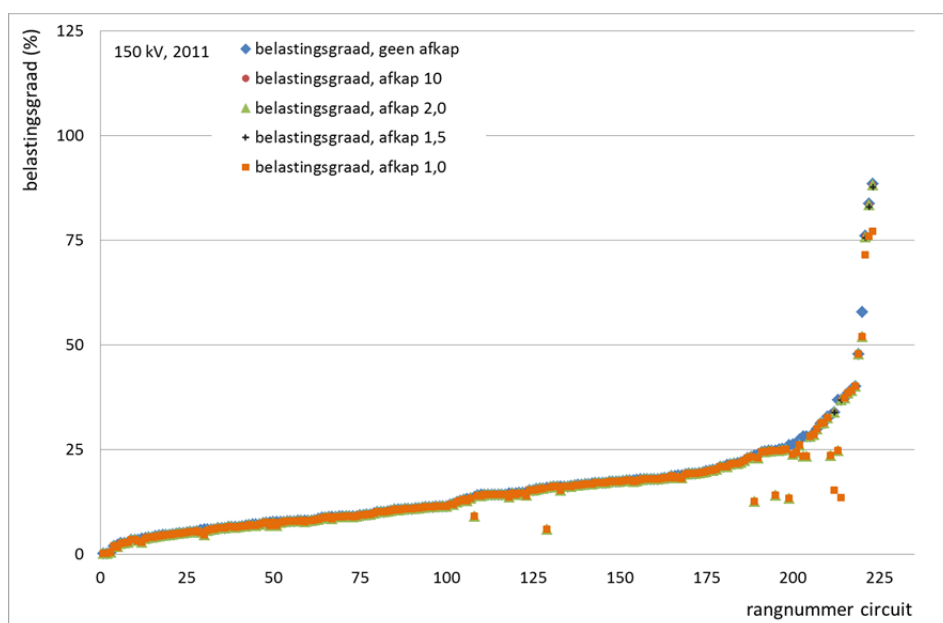


Figuur 8. Gemeten stroom voor het 110 kV circuit HGV-HDB B in 2013 en 2011

Figuur 8 laat zien dat er de stroom door dit circuit een deel van het jaar boven de ontwerpbelasting ligt en voor een kleiner deel boven tweemaal de ontwerpbelasting.

150 kV in 2011

In Figuur 9 is de belastingsgraad als functie van het afkapniveau voor de 150 kV circuits weergegeven.



Figuur 9. Invloed van het afkapniveau op de berekende jaargemiddelde belastingsgraad voor de 150 kV circuits in 2011; de circuits zijn gesorteerd op de jaargemiddelde belastingsgraad zonder afkap

De 150 kV circuits vertonen een met de 110 kV circuits vergelijkbaar gedrag al is de overschrijding van de ontwerpbelasting minder en de invloed van het afkapniveau op de jaargemiddelde belastingsgraad ook (zie Figuur 9).

Tabel 7 geeft in getallen de gevolgen van de keuze van het afkapniveau voor de vier 150 kV circuits die in 2011 de 50% jaargemiddelde belastingsgraad (zonder afkap) overschrijden.

Tabel 7. Invloed van het afkapniveau op de jaargemiddelde belastingsgraad voor de 150 kV circuits die in 2011 bij geen afkap een jaargemiddelde belastingsgraad van 50% overschrijden

circuit	geen afkap	afkap 10 x	afkap 2 x	afkap 1,5 x	afkap 1 x
GT-OTD150 Z	57,8	52,1	51,9	51,9	51,9
GT-HTW150 Z	76,1	75,9	75,8	75,6	71,5
GT-TBW150 W	83,7	83,4	83,4	83,0	75,9
GT-WW150 W	88,4	88,1	88,1	87,7	77,1

Van de vier 150 kV circuits met overschrijding (2011, zonder afkap) blijven er bij een keuze voor een afkapniveau van tweemaal de ontwerpbelasting vier over.

110 kV en 150 kV in 2013

De invloed van de afkap op de jaargemiddelde belastingsgraad van de 110 kV en 150 kV circuits in 2013 is weergegeven in Bijlage 2. Het verloop komt overeen met dat voor de circuits in 2011. Opvallend is dat de jaargemiddelde belastingsgraad zonder afkap in 2013 zowel voor de 110 kV circuits als voor de 150 kV circuits geen hoge waarden aanneemt. Voor de 110 kV circuits bijvoorbeeld daalt de jaargemiddelde belastingsgraad zonder afkap van maximaal 339% in 2011 naar maximaal 76% in 2013.

Keuze afkapniveau

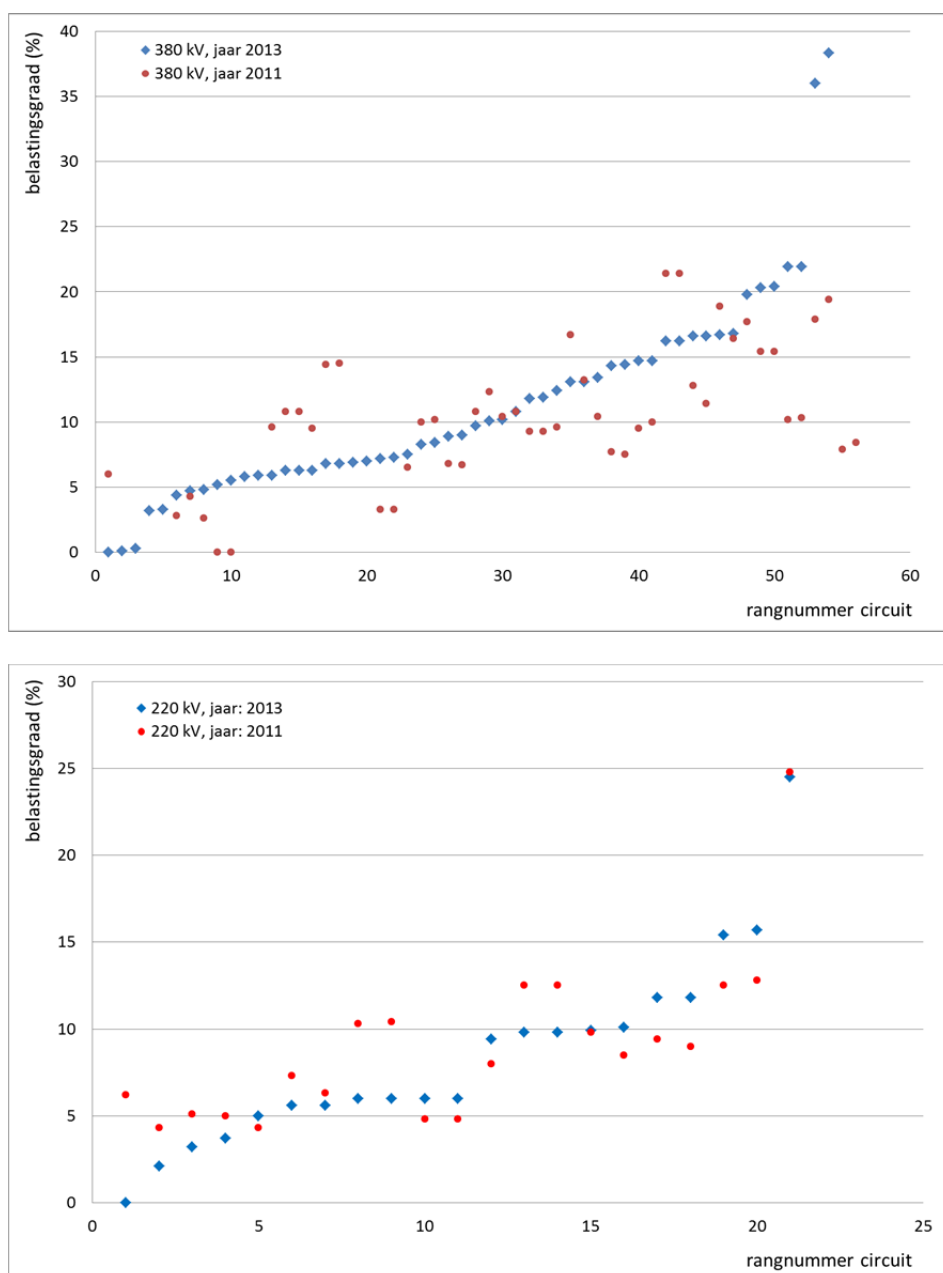
Op basis van de bovenstaande analyse is ervoor gekozen een afkapniveau te hanteren van tweemaal de ontwerpbelasting van een circuit. Metingen boven tweemaal de ontwerpbelasting worden als onregelmatigheden van de meetapparatuur gezien en doen niet mee bij het bepalen van de jaargemiddelde belasting en de jaargemiddelde belastingsgraad. Dit afkapniveau is voor de huidige analyse door het RIVM gekozen om te voorkomen dat grote uitschieters in de stroom onterecht worden meegenomen en meetwaarden die aan de hoge kant zijn, maar mogelijk toch een reële stroom weergeven, onterecht worden weggelaten (zie ook paragraaf 6.5).

De correctie van de stromen met een achteraf gekozen afkapniveau is niet optimaal. Beter is het als de netbeheerder in de meetprocedure of bij het berekenen van de stroom uit de gemeten U, P en Q (zie Bijlage 1) direct aangeeft of een stroom een reële waarde vertegenwoordigt of niet.

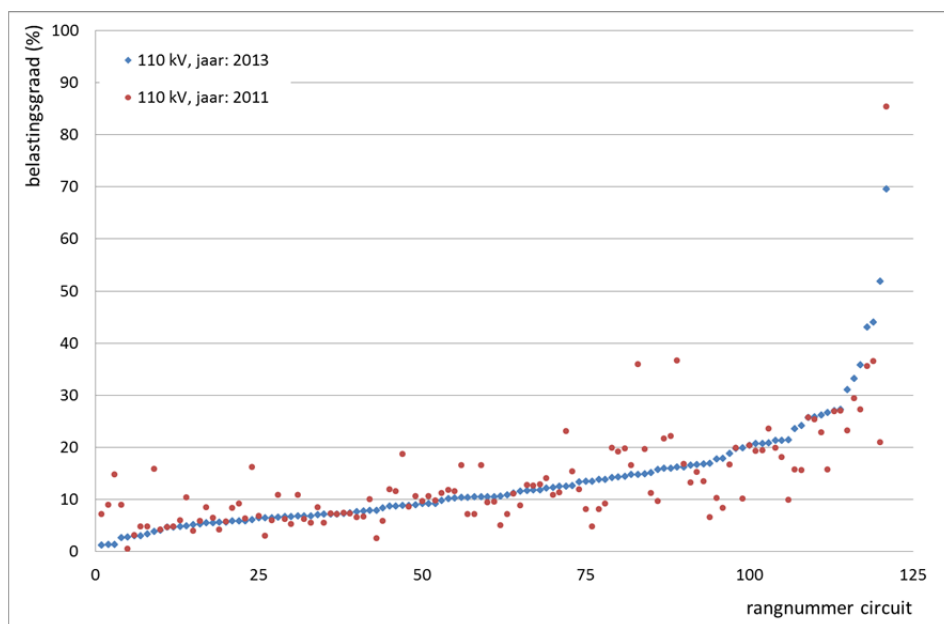
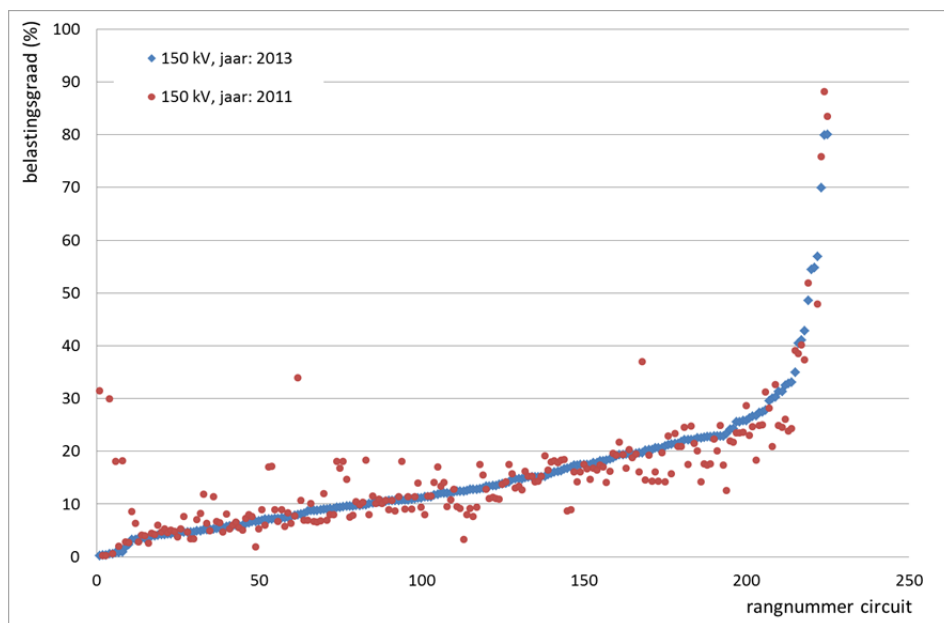
4 Resultaten

4.1 Jaargemiddelde belastingsgraad 2011 en 2013

De resultaten van de analyse van de jaargemiddelde belasting van de circuits over de jaren 2011 en 2013 zijn weergegeven in Figuur 10 (380 kV en 220 kV) en Figuur 11 (150 kV en 110 kV).

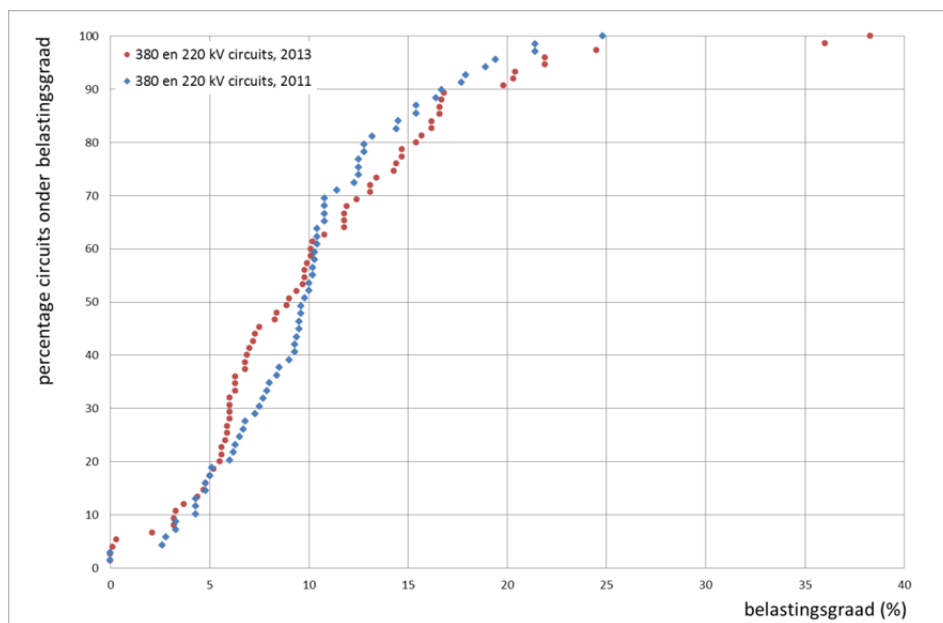


Figuur 10. De jaargemiddelde belastingsgraad van de 380 kV en 220 kV circuits in 2011 en 2013; de gegevens staan op volgorde van de jaargemiddelde belastingsgraad in 2013 (blauwe punten)

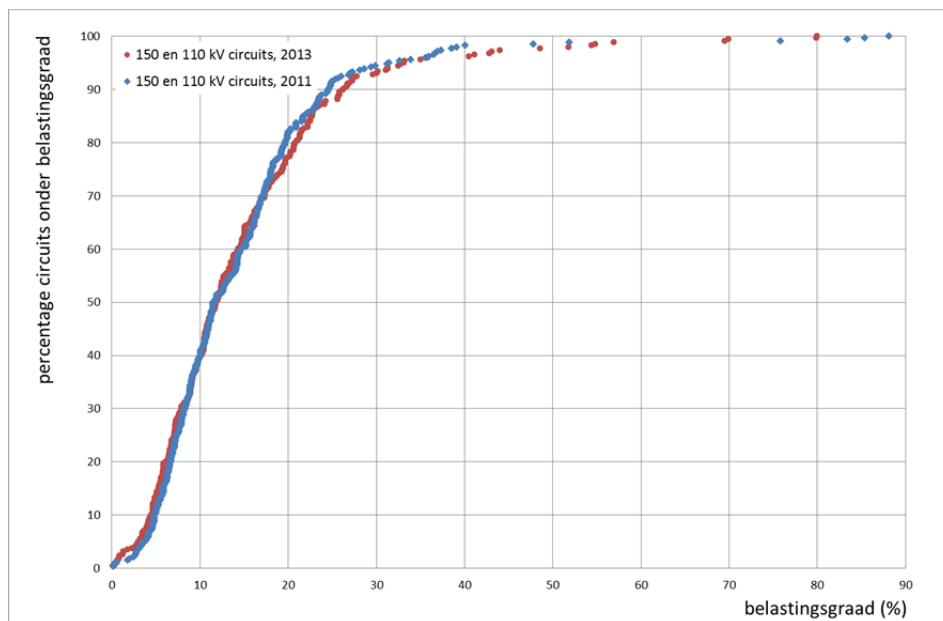


Figuur 11. De jaargemiddelde belastingsgraad van de 150 kV en 110 kV circuits in 2011 en 2013; de gegevens staan op volgorde van de jaargemiddelde belastingsgraad in 2013 (blauwe punten)

Figuur 12 en Figuur 13 geven de resultaten op een andere manier weer. Hier is de fractie van de circuits aangegeven met een jaargemiddelde belastingsgraad beneden de op de x-as aangegeven waarde. In Figuur 12 zijn de 380 kV en 220 kV circuits samen genomen, omdat voor beide spanningsniveaus de overschrijding van 30% wordt gecontroleerd. Om dezelfde reden zijn in Figuur 13 de 150 kV en 110 kV circuits samengenomen.



Figuur 12. Cumulatieve verdeling van de jaargemiddelde belastingsgraad van de 380 kV en 220 kV circuits in 2013 en 2011



Figuur 13. Cumulatieve verdeling van de jaargemiddelde belastingsgraad van de 150 kV en 110 kV circuits in 2013 en 2011

Figuur 12 laat zien dat in 2013 ongeveer 60% en in 2011 ongeveer 50% van de 380 kV en 220 kV circuits een jaargemiddelde belastingsgraad van minder dan 10% heeft. Meer dan 90% van deze circuits (96% in 2011 en 91% in 2013) heeft een jaargemiddelde belastingsgraad van minder dan 20%. De resultaten voor 150 kV en 110 kV zijn vergelijkbaar (Figuur 13). Voor ongeveer 50% van deze circuits ligt de jaargemiddelde belastingsgraad zowel in 2011 als in 2013 onder de 12%. Meer dan 96% van deze circuits heeft een jaargemiddelde belastingsgraad van minder dan 40%.

In 2011 hebben alle 380 kV en 220 kV circuits een jaargemiddelde belastingsgraad van minder dan 30%. In 2013 hebben twee van de 75 380 kV en 220 kV circuits een jaargemiddelde belastingsgraad boven 30% (namelijk 38% en 36%).

In 2011 hebben vijf 150 kV en 110 kV circuits (1,5% van het totaal) een jaargemiddelde belastingsgraad boven 50% (maximale jaargemiddelde belastingsgraad 88%). In 2013 hebben acht circuits (2,3% van het totaal) een jaargemiddelde belastingsgraad boven 50% (maximale jaargemiddelde belastingsgraad 80%).

Voor alle spanningsniveaus en de jaren 2011 en 2013 bij elkaar genomen betreft het in totaal 834 circuits waarvan er vijftien (1,8%) de in Handreiking 4.0 aangegeven waarden overschrijden. Dat betekent dat 98,2% een jaargemiddelde belastingsgraad beneden de in Handreiking 4.0 aangegeven waarde heeft. Voor de vijftien circuits met overschrijding is in Bijlage 3 het jaarverloop van de geregistreerde stromen opgenomen.

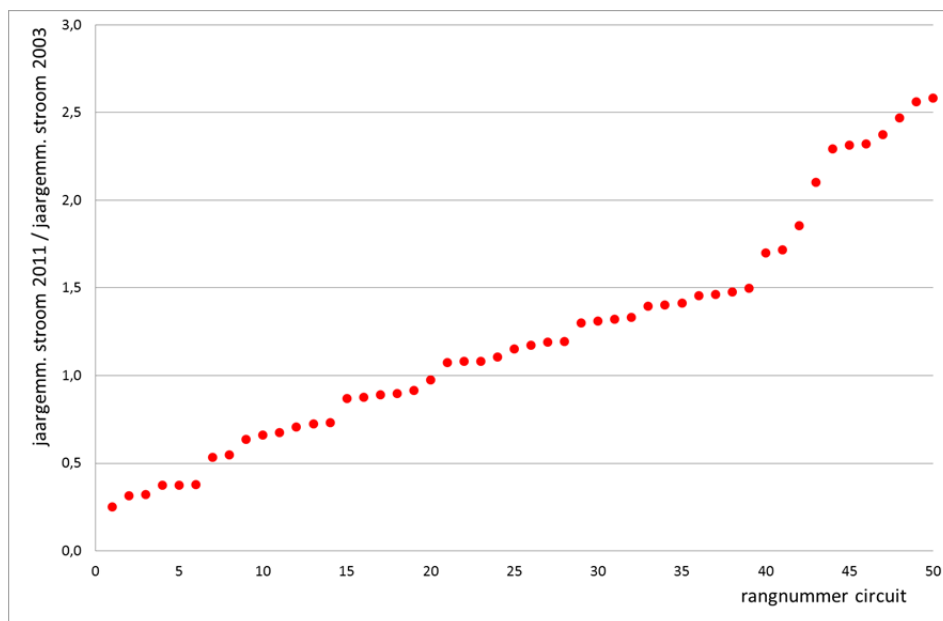
De overschrijding van de 30% door twee 380 kV circuits in 2013 zou incidenteel kunnen zijn. In 2011 vond voor deze circuits geen overschrijding plaats (zie Figuur 10). Voor vier van de vijf 150 kV en 110 kV circuits waarvoor in 2011 overschrijding plaatsvond, is er ook in 2013 overschrijding van de 50% (zie Figuur 11).

4.2 Vergelijking met 2003

In 2005 is voor het rapport 'Achtergronden beleid bovengrondse hoogspanningslijnen' [7] een soortgelijke analyse uitgevoerd. Op dat moment waren gegevens over 2003 voor de meeste van de 380 kV en 220 kV circuits beschikbaar. Van deze circuits komen er 50 ook voor in de huidige belastingsanalyse. Voor deze circuits is een vergelijking gemaakt van de jaargemiddelde stroom en is de overschrijding in 2003 beoordeeld uitgaande van de ontwerpbelastingen zoals die nu in het Dataregister zijn opgenomen.

Allereerst zijn de jaargemiddelde stromen uit de analyse in 2003 vergeleken met die in de analyse voor 2011 (Figuur 14).

Voor 20 van de 50 circuits is de jaargemiddelde stroom in 2011 lager dan die in 2003. Gemiddeld over alle circuits is de jaargemiddelde stroom in 2003: 329 A, in 2011: 314 A en in 2013: 303 A. Hoewel de jaargemiddelde belasting voor een individueel circuit in 2003 en 2011 factoren kan verschillen (Figuur 14), verandert de over alle circuits gemiddelde stroom tussen 2003 en 2013 minder. In 2013 is die jaargemiddelde stroom 8% lager dan in 2003.



Figuur 14. Verhouding van de jaargemiddelde stroom in 2011 en 2003 voor de 380 kV en 220 kV circuits die in beide analyses voorkomen

De belastingsanalyse van het hoogspanningsnet in 2003 was in eerste instantie gebaseerd op de nominale belasting afgeleid uit de kaart voor het 'Nederlandse hoogspanningsnet' van TenneT (versie 1-1-2004). Op basis van deze nominale belasting trad in 2003 voor zeven circuits overschrijding van de 30% op. Aan het eind van die analyse kwam een eerste schatting voor de ontwerpbelasting van de 220 kV en 380 kV circuits beschikbaar. Deze schattingen zijn verbeterd en uitgebreid tot de 150 kV en 110 kV circuits. Uiteindelijk heeft TenneT in het Dataregister 2014 de ontwerpbelasting vastgesteld. Basis hiervoor was een inventarisatie van de aanwezige geleiders en een systematische analyse van de geleidereigenschappen. Daarmee geven de in het Dataregister 2014 opgenomen waarden voor de ontwerpbelasting de meest betrouwbare schatting. Als de jaargemiddelde belastingsgraad van de vijftig circuits in 2003 op basis van de jaargemiddelde stroom in 2003 en de ontwerpbelasting in het Dataregister 2014 wordt bepaald, blijkt dat er voor geen van de circuits overschrijding van de 30% optreedt. De hoogste jaargemiddelde belastingsgraad is 29,5%.

5 Reactie TenneT, her-analyse en kwaliteitscontrole

De conceptrapportage is op 21 april 2015 voor een reactie aan TenneT voorgelegd. De algemene opmerkingen van TenneT zijn in deze versie van het rapport verwerkt. Verder heeft TenneT extra controles uitgevoerd op de circuits die overschrijding te zien gaven. Die controle heeft in een aantal gevallen geleid tot wijziging in de door TenneT aan het RIVM geleverde gegevens (ontwerpbelasting en meetfiles). Voor vijf circuits bleek de ontwerpbelasting onjuist in het Dataregister van TenneT en in de meetfile te zijn opgenomen. Voor drie circuits was door TenneT een verkeerde meetfile aangeleverd. TenneT heeft het RIVM nieuwe gegevens (ontwerpbelastingen en meetfile) ter beschikking gesteld. Het RIVM heeft de circuits waarvoor de gegevens gewijzigd zijn opnieuw geanalyseerd. Ook is in overleg met TenneT de aanpak van de circuits met drie stations verder uitgewerkt. Deze her-analyse leidde tot een afname van het aantal circuits met overschrijding van de 50% of 30% van vijftientig naar vijftien. Die vijftien circuits worden uiteindelijk als 'circuits met overschrijding' aangemerkt. Deze circuits zijn opgenomen in Bijlage 3, Tabel 11 en in kaart gebracht in Figuur 19 en Figuur 20.

De tien circuits waarvoor in eerste instantie overschrijding was geconstateerd die bij her-analyse niet correct bleek, duiden we aan als vals-positief: circuits waarvoor de RIVM-analyse in eerste instantie overschrijding aantoonde, maar waarvoor op basis van de juiste gegevens feitelijk geen overschrijding plaatsvindt. Naast deze 'vals-positieve' circuits zijn er mogelijk ook vals-negatieve circuits aanwezig: circuits waarvoor de RIVM-analyse in eerste instantie geen overschrijding aantoonde, maar waarvoor op basis van de juiste gegevens feitelijk wel overschrijding zou blijken plaats te vinden.

Het RIVM heeft TenneT in juli 2015 gevraagd om voor de circuits waarvoor geen overschrijding is gevonden dezelfde aanvullende kwaliteitscontroles uit te voeren (ontwerpbelasting en meetfiles) en indien nodig de juiste gegevens aan te leveren. TenneT heeft aangegeven deze controles niet binnen afzienbare tijd uit te kunnen voeren. Hoewel de gegevens in het voorliggende rapport als gevolg daarvan onjuistheden kunnen bevatten of onvolledig kunnen zijn, heeft het RIVM – na overleg met betrokken partijen – besloten het rapport af te ronden en als 'verkenning' van de belasting van het hoogspanningsnet te publiceren. Het algemene beeld is dat overschrijding van de 30% resp. 50% van de ontwerpbelasting bij enkele hoogspanningslijnen in de betreffende jaren is opgetreden. Tot slot is in overleg met betrokkenen besloten de Handreiking voor het berekenen van de magneetveldzone met dit algemene beeld in overeenstemming te brengen (zie paragraaf 6.8).

6 Discussie

6.1 Jaargemiddelde belastingsgraad, algemeen

De jaargemiddelde belasting van de circuits in het Nederlandse hoogspanningsnet in 2011 en 2013 is vergeleken met de maximale belasting waarvoor deze circuits zijn ontworpen. Voor de 380 kV en 220 kV circuits was in de beschouwde jaren de gemiddelde jaargemiddelde belastingsgraad, gedefinieerd als de jaargemiddelde belasting gedeeld door de ontwerpbelasting, ongeveer 10%. Voor de 150 kV en 110 kV circuits was de gemiddelde jaargemiddelde belastingsgraad ongeveer 15%.

De analyse focust op de jaargemiddelde belasting. Het elektriciteitsnet is niet ontworpen op deze jaargemiddelde belasting, maar vooral op het opvangen van piekbelastingen die tijdens het etmaal of als gevolg van de seizoenen kunnen ontstaan, zie bijvoorbeeld Figuur 4.

6.2 Jaargemiddelde belastingsgraad, vergelijking met Handreiking 4.0

380 kV en 220 kV circuits

Handreiking 4.0 voor het berekenen van de magneetveldzone gaat voor 380 kV en 220 kV circuits uit van een jaargemiddelde belastingsgraad van 30%. De analyse voor de 380 kV en 220 kV circuits over 2011 en 2013 samen geeft aan dat voor 98,5% van deze circuits de jaargemiddelde belastingsgraad beneden deze 30% ligt. Er zijn twee 380 kV circuits waarvoor de jaargemiddelde belastingsgraad in 2013 boven de 30% lag. Deze overschrijding kan incidenteel van aard zijn.

Bij de belastingsanalyse over 2003 lag voor 90% van de 380 kV en 220 kV circuits de jaargemiddelde belastingsgraad onder de 30% [7]. Op grond van die analyse over 2003, is in het overleg tussen de netbeheerders en het ministerie ervoor gekozen in de Handreiking (tot en met versie 4.0) voor de 220 en 380 kV circuits uit te gaan van een rekenstroom van 30% van de ontwerpbelasting [7].

De vergelijking tussen 2003 en 2011/2013 geeft aan dat de gemiddelde belasting van de 380 kV en 220 kV circuits over de periode 2003-2013 met ongeveer 8% is afgenomen. Als we de jaargemiddelde belastingsgraad van de circuits in 2003 bepalen op basis van de ontwerpbelasting in het Dataregister 2014 blijkt er in 2003 voor geen van de circuits van overschrijding sprake te zijn. Daarmee lijkt 2003 op het jaar 2011 waar ook geen van de 380 kV en 220 kV circuits de 30% overschrijdt. Omdat de ontwerpbelasting in het Dataregister 2014 op basis van een systematische aanpak door TenneT is vastgesteld, is de jaargemiddelde belastingsgraad die hieraan wordt ontleend de beste schatting.

150 kV en 110 kV circuits

Voor de 150 kV en 110 kV circuits gaat Handreiking 4.0 voor het berekenen van de magneetveldzone uit van een jaargemiddelde belastingsgraad van 50%. Uit de analyse voor de 150 kV en 110 kV circuits over 2011 en 2013 samen volgt dat voor meer dan 98,1% van

deze circuits de jaargemiddelde belastingsgraad onder deze 50% ligt. In 2013 hebben acht circuits een jaargemiddelde belastingsgraad boven de 50% en in 2011 vijf. Voor de 150 kV en 110 kV circuits is de overschrijding groter (maximale belastingsgraad 88%) dan bij 380 kV en 220 kV. Van de vijf circuits waarvoor in 2011 overschrijding plaatsvindt, overschrijden er vier ook in 2013 de jaargemiddelde belastingsgraad van 50%. Een vergelijking met 2003 is niet mogelijk omdat er toen maar zeer beperkt gegevens voor de 150 kV en 110 kV circuits beschikbaar waren.

50 kV circuits

In overleg met de opdrachtgever is besloten dat de belasting van de 50 kV circuits buiten de huidige analyse blijft. TenneT is immers niet de netbeheerder voor deze circuits en een landelijk overzicht van de belastingsgegevens ontbreekt. De 50 kV circuits vallen wel onder het beleidsadvies met betrekking tot bovengrondse hoogspanningslijnen [6]. De belasting van deze circuits kan mogelijk van de regionale netbeheerders worden verkregen. Het zou dan ook nodig zijn dat de regionale netbeheerders de ontwerpbelasting eenduidig vaststellen, bij voorkeur op dezelfde manier die TenneT heeft gehanteerd. Het gaat in totaal om ongeveer dertig bovengrondse 50 kV circuits, met een totale lijnlengte van ongeveer 160 km die door drie netbeheerders worden beheerd [10].

6.3 Beschikbaarheid belastingsgegevens

Het Dataregister EM-velden (versie 22 augustus 2014) van TenneT omvat alle bovengrondse hoogspanningsverbindingen buiten de stations en bevat 441 unieke circuits. Er zijn voor zowel 2011 als 2013 in totaal voor 436 circuits meetfiles aangeleverd (98,9%). Het is niet bekend of bij de vijf circuits waarvoor meetfiles ontbreken, overschrijdingen zijn opgetreden. TenneT streeft er naar in 2015 ook voor deze files metingen beschikbaar te hebben.

Omdat alleen die meetfiles worden meegenomen waarvoor er voor meer dan 5% van het jaar gegevens beschikbaar zijn, en er niet voor alle circuits met drie stations voldoende gegevens beschikbaar zijn, kan niet voor alle 436 geleverde circuits een betrouwbare schatting voor de jaargemiddelde belasting worden gedaan. In 2013 kan er voor 421 circuits een jaargemiddelde belasting worden bepaald (97%) en in 2011 voor 413 circuits (95%). Deze belastingsanalyse geeft daarmee inzicht in de belasting van meer dan 95% van het hoogspanningsnet dat onder beheer van TenneT valt.

6.4 Kwaliteit belastingsgegevens

Het feit dat uit extra controles op de circuits die overschrijdingen te zien gaven onjuistheden in de gegevens (ontwerpbelasting en meetfiles) aan het licht kwamen, geeft aan dat de in dit rapport gebruikte gegevens niet volledig betrouwbaar zijn. Helaas bleek het voor TenneT niet mogelijk binnen afzienbare tijd een dergelijke kwaliteitscontrole uit te voeren voor de circuits die geen overschrijding te zien geven. Dat betekent dat de resultaten van de analyse voor die circuits onjuistheden kunnen bevatten of onvolledig kunnen zijn.

6.5 Meetfiles en afkap

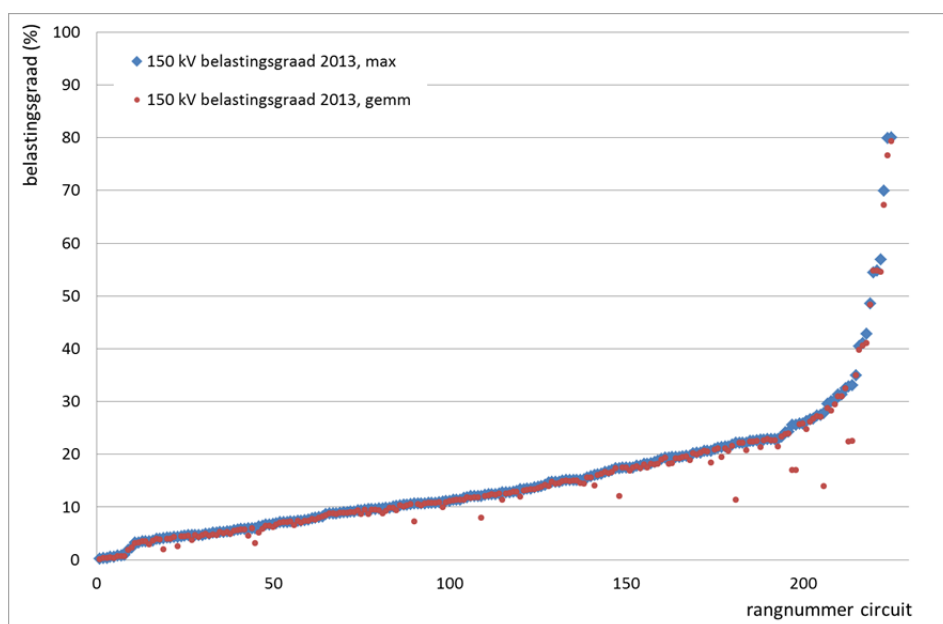
Een aantal meetfiles voor 150 kV en 110 kV circuits bevatten 'spikes', periodes met meetwaarden die zo hoog zijn dat ze geen reële stromen vormen, maar wel in het EMS worden geregistreerd. Het meet- en registratieproces van TenneT onderscheidt deze metingen blijkbaar niet van reële stroommetingen.

Meetwaarden die geen reële stromen vertegenwoordigen, moeten niet meetellen bij het bepalen van de jaargemiddelde belasting. Daarom is in de huidige analyse een niveau van tweemaal de ontwerpbelasting van het circuit gekozen, waarboven de gemeten stromen niet meetellen bij het bepalen van het jaargemiddelde. Er is echter geen objectief criterium vast te stellen voor de keuzen van dit afkapniveau. Uit Tabel 6 en Tabel 7 blijkt dat de keuze van het afkapniveau van invloed is op het aantal overschrijdingen van de jaargemiddelde belastingsgraad van 50%. Van de 110 kV circuits laten er in 2011 zonder afkap dertien een overschrijding zien. Met een afkap van tweemaal de ontwerpbelasting blijft er daarvan nog één circuit met overschrijding over. Bij de 150 kV circuits lijkt de invloed minder. Het aantal circuits dat de 50% overschrijdt (vier) is onafhankelijk van het gekozen afkapniveau.

Dit probleem zou bij voorkeur aan de meet- en registratiekant moeten worden opgelost door alleen reëel gemeten stroomwaarden in de meetfiles op te nemen. Dit verbeterproces lijkt te zijn ingezet. De meetfiles over 2013 bevatten minder spikes dan die over 2011. Het is wel opvallend dat deze 'spikes' in de meetfiles voor 380 kV en 220 kV circuits niet voorkomen. Mogelijk dat de procedure die TenneT voor deze circuits hanteert ook voor de 150 kV en 110 kV circuits kan worden toegepast.

6.6 Van meetfiles naar circuit

Als er meer dan een meetfile voor een circuit beschikbaar is, zijn er verschillende manieren om de jaargemiddelde belastingsgraad voor dat circuit te bepalen, bijvoorbeeld op basis van het maximum of het gemiddelde van de meetfiles. In de huidige belastingsanalyse is het maximum gekozen. Voor de enkelzijdig bemeten circuits leveren beide methodes per definitie hetzelfde resultaat. Voor de meeste andere circuits leveren beide methodes ongeveer hetzelfde resultaat. Figuur 15 laat de invloed van de keuze voor het maximum of het gemiddelde op de belastingsgraad van de 150 kV circuits in 2013 zien.



Figuur 15. Jaargemiddelde belastingsgraad voor de 150 kV circuits in 2013, berekend op basis van het maximum van de meetfiles (blauwe punten) en op basis van het gemiddelde van de meetfiles (rode punten)

Voor de andere jaren en spanningsniveaus is het beeld hetzelfde.

6.7 Circuits met drie meetstations

Na de reactie van TenneT op de conceptrapportage (zie Hoofdstuk 5) is de aanpak voor de circuits met drie meetstations nader uitgewerkt. Er is gekozen voor een aanpak op maat op basis van de ruimtelijke eigenschappen en ligging van de stations (zie ook paragraaf 3.2). In totaal gaat het om 41 circuits in 2011 en 2013. Van de 82 belastingsgraden die dat oplevert, bleven er 45 ongewijzigd onder de aanpak op maat. Elf belastingsgraden veranderden door de aanpak op maat en werden alle elf lager. Oorspronkelijk was er in zeven gevallen sprake van overschrijding van de 50%. Met de aanpak op maat blijven er drie overschrijdingen over. In 26 gevallen is de belastingsgraad wegens onvoldoende gegevens vervallen.

6.8 Gevolgen voor Handreiking

De partijen die betrokken zijn bij de uitvoering van het beleidsadvies bij hoogspanningslijnen gebruiken de volgens Handreiking 4.0 berekende magneetveldzone bij hun afweging hoe ze met het beleidsadvies om willen gaan. Dat wil zeggen hoe zij zo veel als redelijkerwijs mogelijk denken te vermijden dat er nieuwe situaties ontstaan waarbij kinderen langdurig verblijven in het gebied rond bovengrondse hoogspanningslijnen waarbinnen het jaargemiddelde magneetveld hoger is dan 0,4 microtesla. Deze afweging kan alleen adequaat worden gemaakt, als buiten de berekende magneetveldzone inderdaad geldt dat de jaargemiddelde sterkte van het magneetveld de 0,4 microtesla niet overschrijdt. Dat klopt zolang de jaargemiddelde belastingsgraad voor de betrokken hoogspanningslijn beneden de in Handreiking 4.0 genoemde percentages blijft. Voor de hoogspanningslijnen waarvoor deze percentages worden overschreden, kan de magneetveldzone

breder zijn dan uit een berekening volgens Handreiking 4.0 volgt. Dat betekent dat de betrokken partijen zonder dat ze zich daarvan bewust zijn, een onjuiste afweging zouden kunnen maken en bijvoorbeeld besluiten om een gevoelige bestemming mogelijk te maken op een locatie waar de magneetveldsterkte jaargemiddeld hoger is dan 0,4 microtesla.

Om deze situatie te voorkomen is de RIVM Handreiking geactualiseerd tot versie 4.1. Handreiking 4.1 is op 26 oktober 2015 operationeel geworden. In deze versie is een attendering met een verwijzing opgenomen om de betrokkenen te wijzen op de mogelijkheid dat er hoogspanningscircuits zijn die zwaarder worden belast dan de aangegeven 30% en 50%.

Attendering

Als in redelijkheid kan worden verwacht dat een circuit zwaarder is of zal worden belast dan deze 30% resp. 50%, kan het bevoegd gezag – in overleg met de initiatiefnemer/netbeheerder – besluiten de berekening van de omvang van de magneetveldzone met een hogere rekenstroom te laten uitvoeren (zie ook paragraaf 1.4).

Met aanvullende informatie van de netbeheerder kan het bevoegd gezag dan een adequate afweging maken.

7 Conclusies

Het algemene beeld van deze verkenning is dat voor de meeste hoogspanningslijnen de jaargemiddelde belasting in 2011 en 2013 onder de in de Handreiking opgenomen percentages (30% en 50%) ligt. Bij drie procent van de hoogspanningslijnen ligt de jaargemiddelde belasting boven deze percentages. Door een hogere jaargemiddelde belasting dan 30% of 50% kan de magneetveldzone breder worden dan uit een berekening met de Handreiking 4.0 volgt. Het is belangrijk dat het bevoegd gezag bij ruimtelijke afwegingen van een mogelijke overschrijding op de hoogte is. Daarom attendeert de geactualiseerde Handreiking 4.1 het bevoegd gezag op deze mogelijkheid. In overleg met de netbeheerder en de initiatiefnemer kan worden besloten om voor lijnen die mogelijk zwaarder worden belast dan 30% of 50% met een hoger belastingspercentage te rekenen.

De in dit rapport ontwikkelde analysemethode is geschikt om de jaargemiddelde belasting van het Nederlandse hoogspanningsnet in beeld te brengen. Verbetering van de stroommeting door TenneT kan de correctie van de stromen met een achteraf gekozen afkapniveau overbodig maken. Voorwaarde voor betrouwbare resultaten is dat de door de netbeheerder aangeleverde gegevens betrouwbaar zijn. Op dat punt is nog een kwaliteitsslag nodig die TenneT heeft toegezegd in 2016 te zullen maken.

Referenties

- 1 IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Static and Extremely Low-Frequency Electric and Magnetic Fields Vol. 80, June 2001.
- 2 Commissie ELF elektromagnetische velden. Blootstelling aan elektromagnetische velden (0 Hz-10 MHz). Den Haag: Gezondheidsraad, 2000; 2000/6.
- 3 Van der Plas, M., D.J.M. Houthuijs, A. Dusseldorp, R.M.J. Pennders en M.J.M. Pruppers. Magnetische velden van hoogspanningslijnen en leukemie bij kinderen. RIVM Rapport 610050007. RIVM, Bilthoven, 2001.
- 4 Advies (en bijlage) met betrekking tot hoogspanningslijnen van staatssecretaris Van Geel van VROM aan Colleges van Burgemeester en Wethouders, Colleges van Gedeputeerde Staten, IPO, VNG, EnergieNed, Netbeheerders Elektriciteit, gedateerd 3 oktober 2005, kenmerk SAS/2005183118 (www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/brieven/2005/01/01/advies-met-betrekking-tot-hoogspanningslijnen.html); voor bijlage zie <http://www.rivm.nl/dsresource?objectid=rivmp:9394&type=org>)
- 5 Verduidelijking advies met betrekking tot hoogspanningslijnen. Brief minister Cramer van VROM, gedateerd op 4 november 2008, kenmerk: DGM\2008105664 (www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/brieven/2005/01/01/advies-met-betrekking-tot-hoogspanningslijnen.html).
- 6 Kelfkens, G. en M.J.M. Pruppers. Handreiking voor het berekenen van de breedte van de specifieke magneetveldzone in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen. Versie 3.0, RIVM, juni 2009. Versie 4.0, RIVM, november 2014. Versie 4.1, RIVM, oktober 2015.
- 7 Kelfkens, G. en M.J.M. Pruppers. Achtergronden beleid bovengrondse hoogspanningslijnen. RIVM Rapport 861020014, RIVM, Bilthoven, 2007.
- 8 Uitspraak Raad van State, Zaaknummer 200908100/1/R1, 29 december 2010 (http://www.raadvanstate.nl/uitspraken/zoeken-in-uitspraken/tekst-uitspraak.html?id=51386&summary_only=&q=200908100%2F1%2FR1).
- 9 Bolte, J.F.B., M.A.M. Beerlage, G. Kelfkens en M.J.M. Pruppers. Validatieonderzoek berekeningsmethodiek magneetveldzone in Maartensdijk. RIVM Rapport 2014-0133, RIVM, Bilthoven, 2014.
- 10 Kelfkens, G. en M.J.M. Pruppers. Woningen bij bovengrondse hoogspanningslijnen in Nederland. RIVM Rapport 610150001. RIVM, Bilthoven, 2002. + Netkaart RIVM (www.rivm.nl/Onderwerpen/H/Hoogspanningslijnen/Netkaart)

Bijlage 1 Stroom- en spanningsmeting

Meetprocedure

Het Energy Management System (EMS) van TenneT registreert elke vier seconden de fasespanning, fasestroom, wattvermogen en blindvermogen van de circuits in een hoogspanningsstation. Een circuit verbindt twee stations. Meestal vindt de meting in beide stations plaats, soms alleen in een van de stations. De meting gebeurt bij de aansluiting van een circuit in het station. Vanwege de hoge stroom en spanning in de geleiders is een directe meting niet praktisch uitvoerbaar. Stroom en spanning worden eerst omlaag getransformeerd om gemeten te kunnen worden. Dit gebeurt met zogenaamde stroom- en spanningstransformatoren.

De primaire fasespanning wordt met behulp van spanningstransformatoren omlaag getransformeerd naar spanningen die door meetapparatuur kunnen worden ingelezen, bijvoorbeeld $380.000/\sqrt{3}-100/\sqrt{3}$ voor 380 kV circuits en $110.000/\sqrt{3}-110/\sqrt{3}$ voor 110 kV circuit.

Voor het meten van de primaire stroom wordt gebruik gemaakt van stroomtransformatoren. Deze transformeren de stroom in het hoogspanningsnet naar stromen die door de meetapparatuur kunnen worden geregistreerd. Een primaire stroom van bijvoorbeeld 1000 ampère wordt zodanig omlaag getransformeerd dat dit meetbereik bemeaten kan worden met een stroommeter met een secundair bereik van 0-1 A. Voor dit geval (meetbereik 0-1000 A) is een overzetverhouding van 1000 nodig. Bij een ingesteld meetbereik van 0-4000 A zou een overzetverhouding van 4000 nodig zijn.

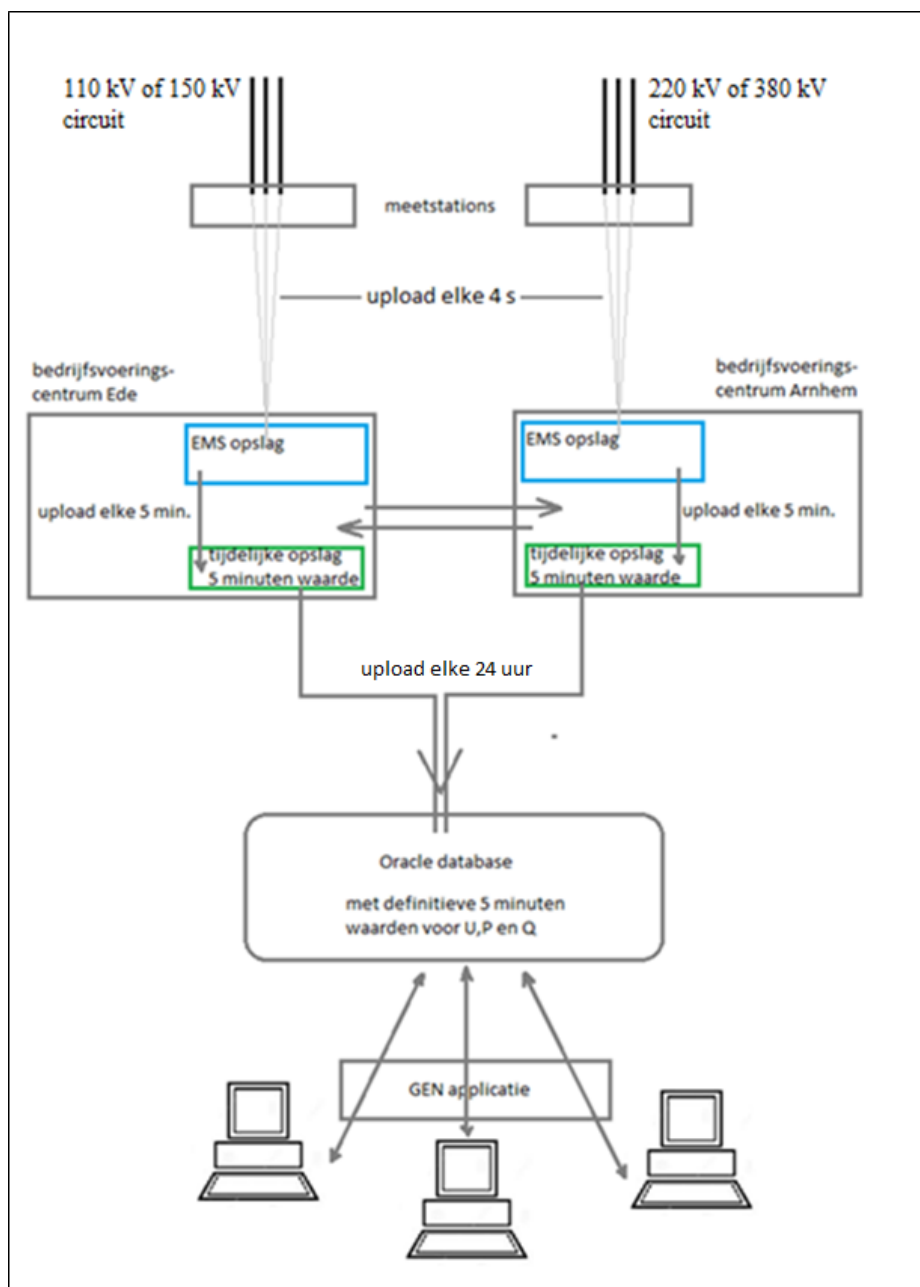
Op deze manier wordt voor elk fase de spanning en de stroom gemeten. In de meetwaardeomvormer op het station worden uit de drie fasestromen en de drie fasespanningen de lijnspanning U (in kV), de lijnstroom I (in A), het vermogen P (in MW) en het blindvermogen Q (in MVar) bepaald.

EMS

U, I, P en Q worden elke vier seconden door het EMS opgevraagd en opgeslagen in twee bedrijfsvoeringscentra, namelijk in Ede (110 kV en 150 kV) en Arnhem (220 kV en 380 kV). Deze bedrijfsvoeringscentra zijn gekoppeld voor back-up van elkaars bedrijfsvoeringsgegevens. Elke vijf minuten slaat het EMS de tijd (UTC) op en de in het station bepaalde U, P en Q voor het dichtstbijzijnde tijdstip (in het verleden). Door deze aanpak kan het tijdstip van de vijfminutenmeting nooit meer dan vier seconden verschillen van de oorspronkelijke meting in het EMS. De stroom I wordt niet opgeslagen, maar kan op elk tijdstip uit U, P en Q worden berekend (zie formule 1).

Oracle database en GEN

De vijfminutenmetingen voor U, P en Q die binnen het EMS zijn opgeslagen, worden eenmaal per etmaal overgeheveld naar een Oracle database. Geautoriseerde medewerkers beschikken over de GEN (acroniem van de namen van de oprichters van het systeem) applicatie die deze Oracle database kan bevragen en uitlezen. Binnen dit GEN kunnen selecties worden gemaakt en berekeningen uitgevoerd. Het meetsysteem van circuit tot en met GEN-applicatie is in Figuur 16 schematisch weergegeven.



Figuur 16. Schematisch weergave van het meetsysteem van circuit tot en met GEN-applicatie

Aanlevering RIVM

De gegevens zijn door TenneT op circuitniveau aan het RIVM aangeboden. Per circuit is voor elke vijf minuten de waarde van de (lijn)stroom (I) geleverd. Deze teruggerekende stroom hangt samen met de lijnspanning U, het vermogen P (MW) en het blindvermogen Q (MVA) volgens:

$$I = \frac{\sqrt{(P^2 + Q^2)}}{U \cdot \sqrt{3}}$$

Voor de lijnspanning (U) – de gekoppelde spanning tussen twee fasen – geldt: $U = U_{\text{fase}} \cdot \sqrt{3}$, waarbij U_{fase} de (fase)spanning is tussen een fasegeleider en aarde. Lijnspanning wordt gebruikt om het spanningsniveau van een hoogspanningslijn aan te geven. Een 380 kV verbinding betekent dus een verbinding met een lijnspanning van 380 kV. Als in dit rapport de grootheden U en I zonder index worden gebruikt, wordt lijnspanning respectievelijk lijnstroom bedoeld.

NaN, maximale stroom en nullen

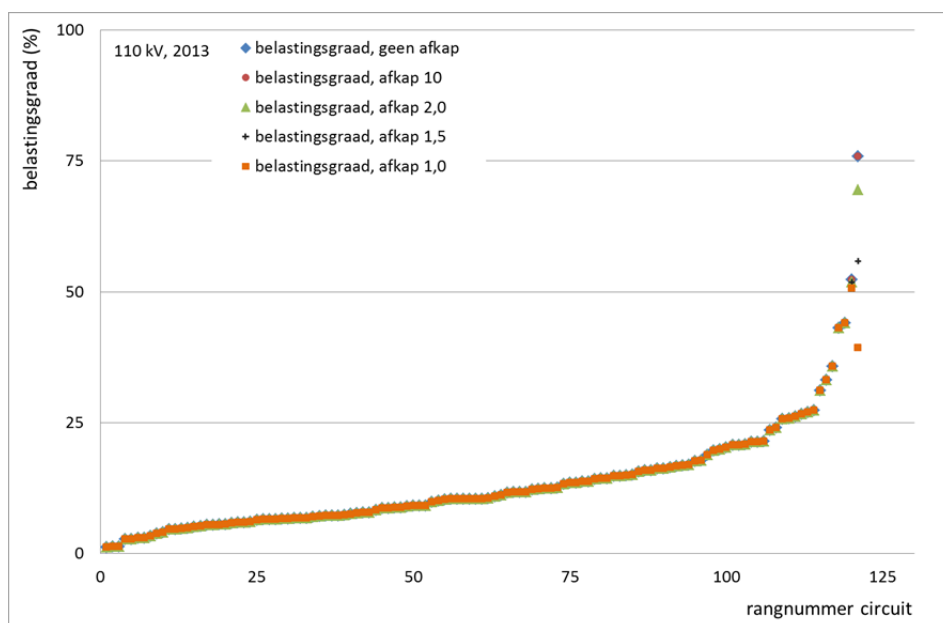
In sommige gevallen functioneert de meetapparatuur voor stroom en spanning niet optimaal. Als het geautomatiseerde systeem dit detecteert, wordt de meting voor dat tijdstip aangegeven als 'Not a Number' (NaN). Het kan ook voorkomen dat er onrealistische stromen worden gemeten, bijvoorbeeld als de spanning wegvalt. In die gevallen worden de stromen, die soms wel miljoenen ampères kunnen bedragen, gewoon in het EMS opgeslagen. Het kan ook voorkomen dat de berekende stroom of de spanning (of beide) nul bedragen. Het vertalen door TenneT van dergelijke metingen naar de aan het RIVM geleverde stroom per circuit heeft plaatsgevonden zoals weergegeven in Tabel 8.

Tabel 8. Door TenneT gevolgde methode bij het vertalen van EMS naar meetwaarden geleverd aan het RIVM

stroom	spanning	waarde RIVM file
≠ 0	≠ 0	valide meetwaarde (≠ 0) voor de stroom
0	≠ 0	valide meetwaarde (= 0) voor de stroom
≠ 0	0	geen valide meetwaarde voor de stroom (NaN)
0	0	geen valide meetwaarde voor de stroom (NaN)

In sommige van de stations is de meetapparatuur zo ingesteld dat een gemeten stroom beneden 3 ampère als 0 ('nul') in het EMS wordt opgeslagen. Voor welke stations dit geldt, is niet bekend.

Bijlage 2 Jaargemiddelde belastingsgraad en afkap 2013



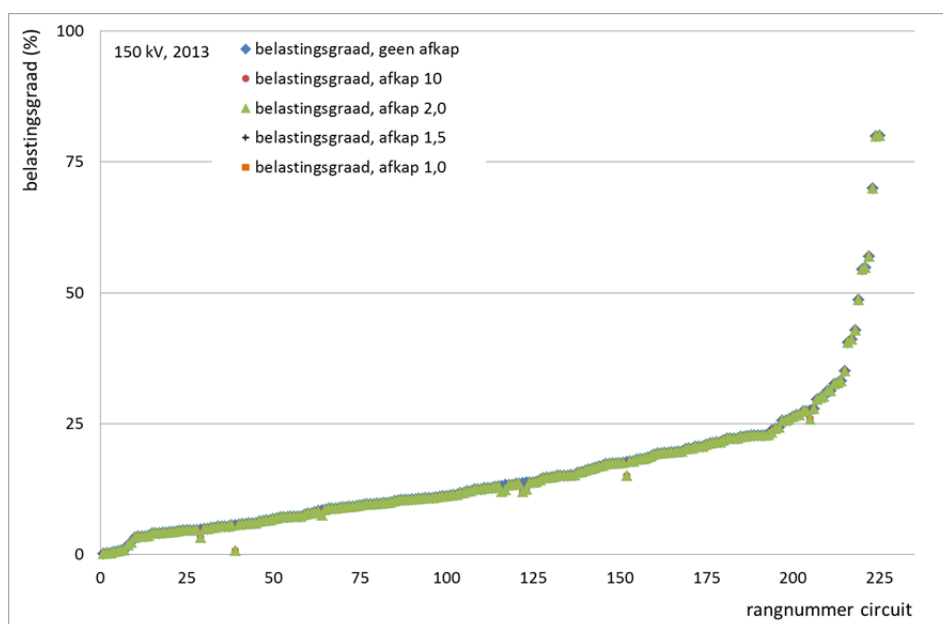
Figuur 17. Invloed van het afkapniveau op de berekende jaargemiddelde belastingsgraad voor de 110 kV circuits in 2013; de circuits zijn gesorteerd op de jaargemiddelde belastingsgraad zonder afkap

Tabel 9 geeft in getallen de gevolgen van de keuze van het afkapniveau voor de twee 110 kV circuits die in 2013 de 50% jaargemiddelde belastingsgraad (zonder afkap) overschrijden.

Tabel 9. Invloed van het afkapniveau op de jaargemiddelde belastingsgraad voor de 110 kV circuits die in 2013 bij geen afkap een jaargemiddelde belastingsgraad van 50% overschrijden

circuit	geen afkap	afkap 10 x	afkap 2 x	afkap 1,5 x	afkap 1 x
MSKZ-MSKD-SKN110 B	52,3	52,3	51,8	51,8	50,6
HGV-HDB110 B	75,8	75,8	69,5	55,8	39,3

Van de twee 110 kV circuits met overschrijding (2013, zonder afkap) houden – bij een keuze voor een afkapniveau van tweemaal de ontwerpbelasting – alle twee circuits de overschrijding.



Figuur 18. Invloed van het afkapniveau op de berekende jaargemiddelde belastingsgraad voor de 150 kV circuits in 2013; de circuits zijn gesorteerd op de jaargemiddelde belastingsgraad zonder afkap

Tabel 10 geeft in getallen de gevolgen van de keuze van het afkapniveau voor de zes 150 kV circuits die in 2013 de 50% jaargemiddelde belastingsgraad (zonder afkap) overschrijden.

Tabel 10. Invloed van het afkapniveau op de jaargemiddelde belastingsgraad voor de 150 kV circuits die in 2013 bij geen afkap een jaargemiddelde belastingsgraad van 50% overschrijden

circuit	geen afkap	afkap 10 x	afkap 2 x	afkap 1,5 x	afkap 1 x
MZ-EHVO-EHVZ150 Z	54,4	54,4	54,4	54,4	54,4
MZ-EHVO-EHVZ150 W	54,8	54,8	54,8	54,8	54,8
MZ-BDL150 Z	56,9	56,9	56,9	56,9	56,9
GT-HTW150 Z	69,9	69,9	69,9	69,7	64,1
GT-WW150 W	79,9	79,9	79,9	79,4	68,7
GT-TBW150 W	80,0	80,0	80,0	79,5	72,0

Van de zes 150 kV circuits met overschrijding (2013, zonder afkap) houden – bij een keuze voor een afkapniveau van tweemaal de ontwerpbelasting – alle zes circuits de overschrijding.

Bijlage 3 Jaarbelasting circuits met overschrijding

In deze bijlage is voor elk circuit waarvoor in 2011 en/of 2013 een overschrijding plaatsvond, het verloop van de stroom over het betreffende jaar weergegeven. Het betreft de in Tabel 11 opgenomen circuits. De circuits waarvoor in 2011 géén en in 2013 wél een overschrijding plaatsvond zijn in **bold italic** weergegeven.

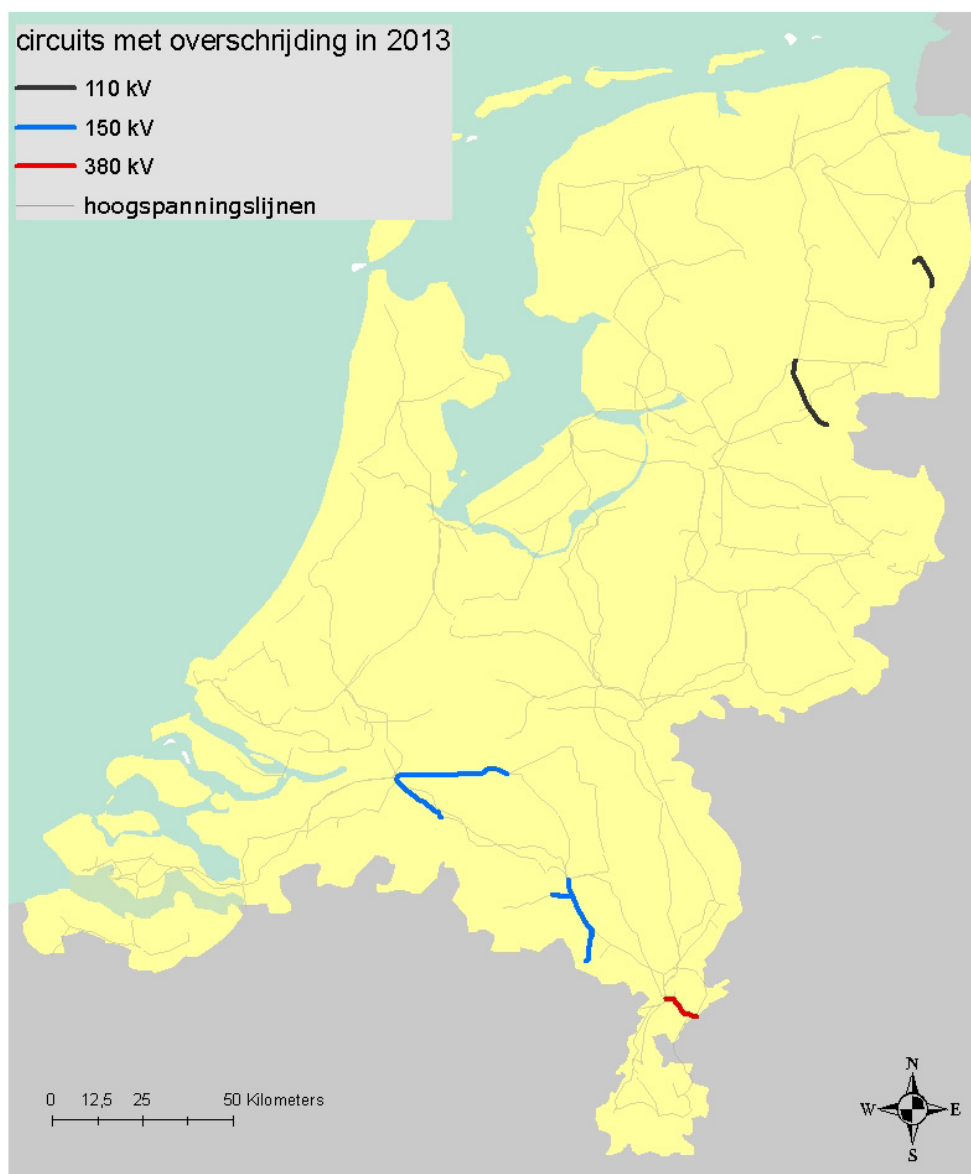
Tabel 11. De vijftien circuits waarvoor in 2011 of 2013 overschrijding van de jaargemiddelde belastingsgraad van 30% of 50% plaatsvond

spanning	jaar	nummer	circuit	jaargemiddelde belastingsgraad (%)	
110 kV	2011	1	HGV-HDB110 B	85	
	2013	2	HGV-HDB110 B	70	
		3	MSKZ-MSKD-SKN110 B	52	
150 kV	2011	4	GT-HTW150 Z	76	
		5	GT-TBW150 W	83	
		6	GT-WW150 W	88	
		7	GT-OTD150 Z	52	
	2013	8	GT-HTW150 Z	70	
		9	GT-WW150 W	80	
		10	GT-TBW150 W	80	
		11	MZ-EHVO-EHVZ150 Z	54	
		12	MZ-EHVO-EHVZ150 W	55	
		13	MZ-BDL150 Z	57	
		220 kV	2011	geen overschrijding	
		2013	geen overschrijding		
		380 kV	2011		geen overschrijding
2013	14		MBT-RMK380 W	36	
	15		MBT-SDF380 Z	38	

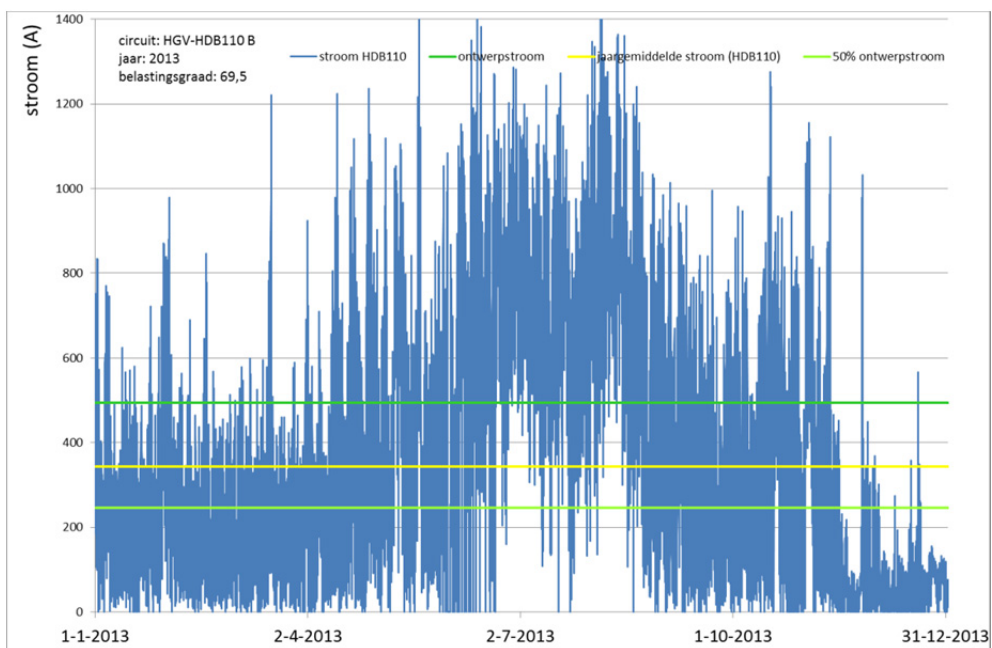
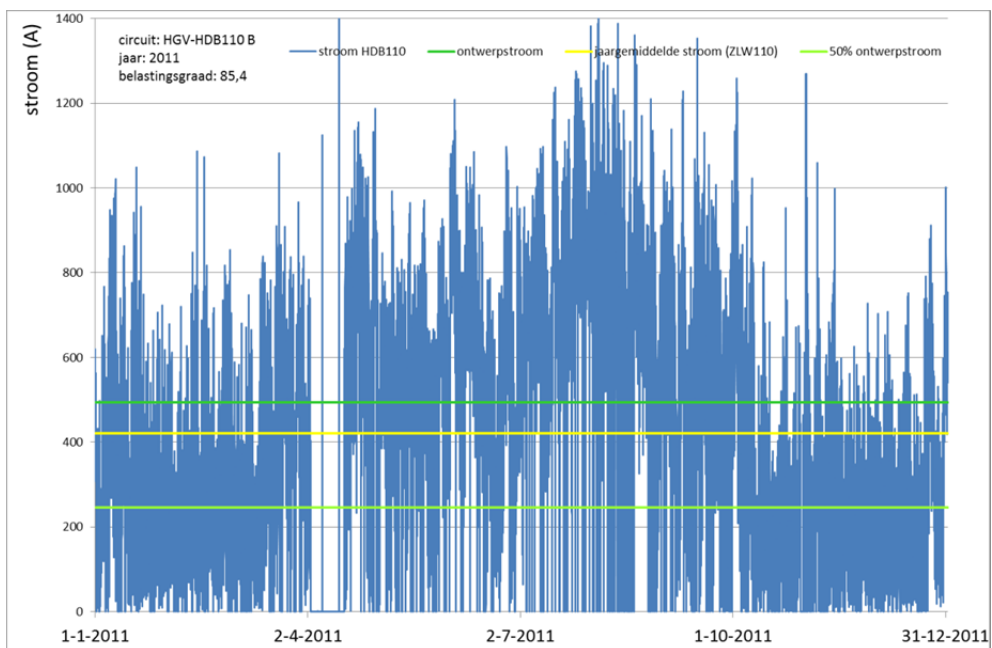
In Figuur 19 en Figuur 20 is op basis van de locaties van de masten van de circuits in Tabel 11, weergegeven waar de circuits met overschrijding in 2011 en 2013 zich bevinden.

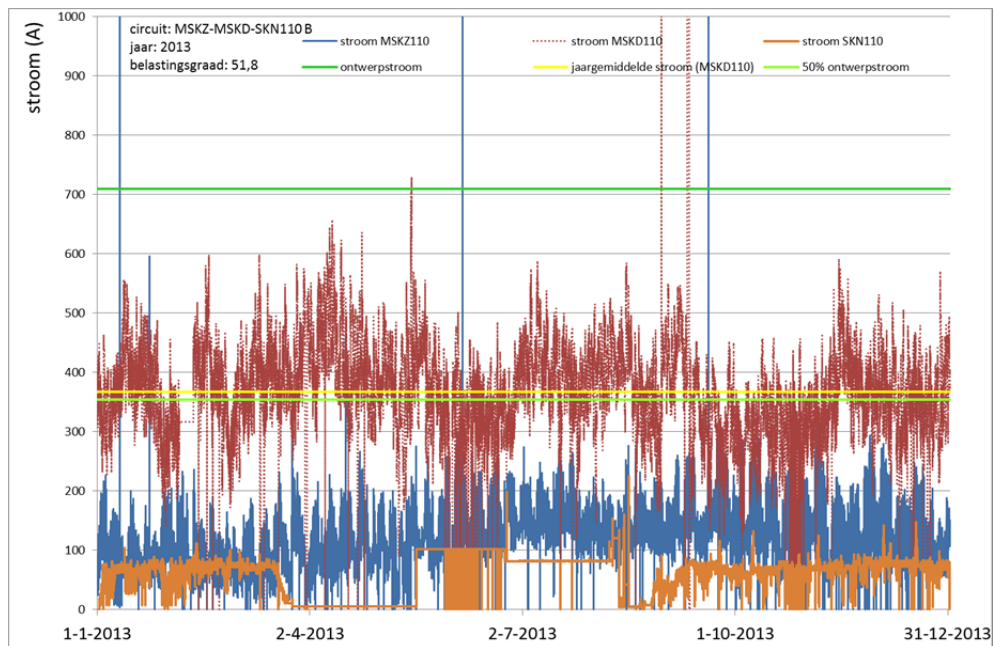


Figuur 19. Hoogspanningscircuits met overschrijding van 30% of 50% van de ontwerpbelasting in 2011; in totaal zijn er vijf circuits met overschrijding

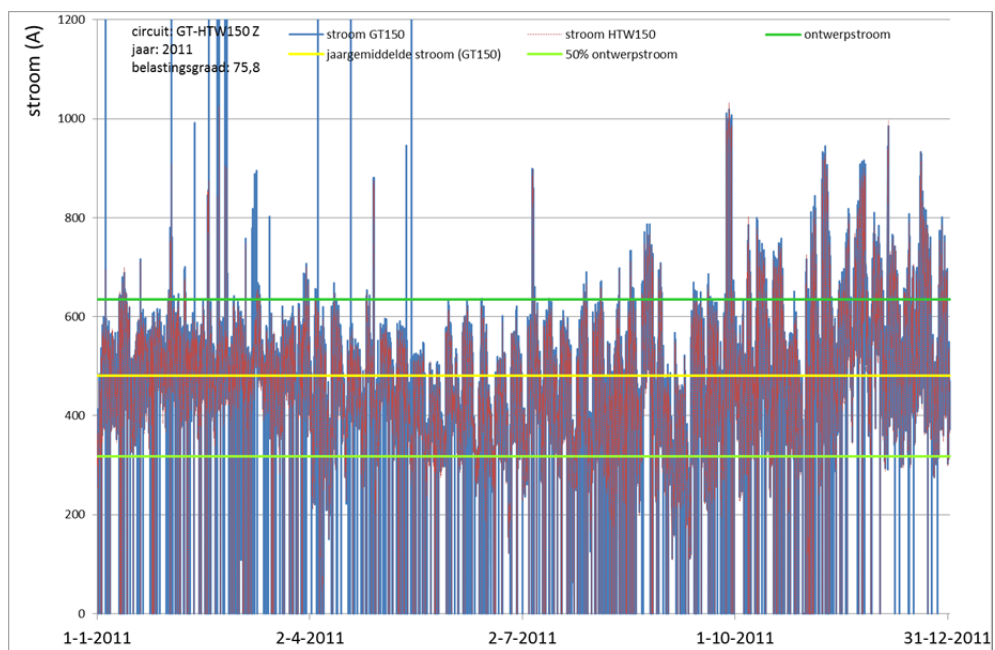


Figuur 20. Hoogspanningscircuits met overschrijding van 30% of 50% van de ontwerpbelasting in 2013; in totaal zijn er tien circuits met overschrijding

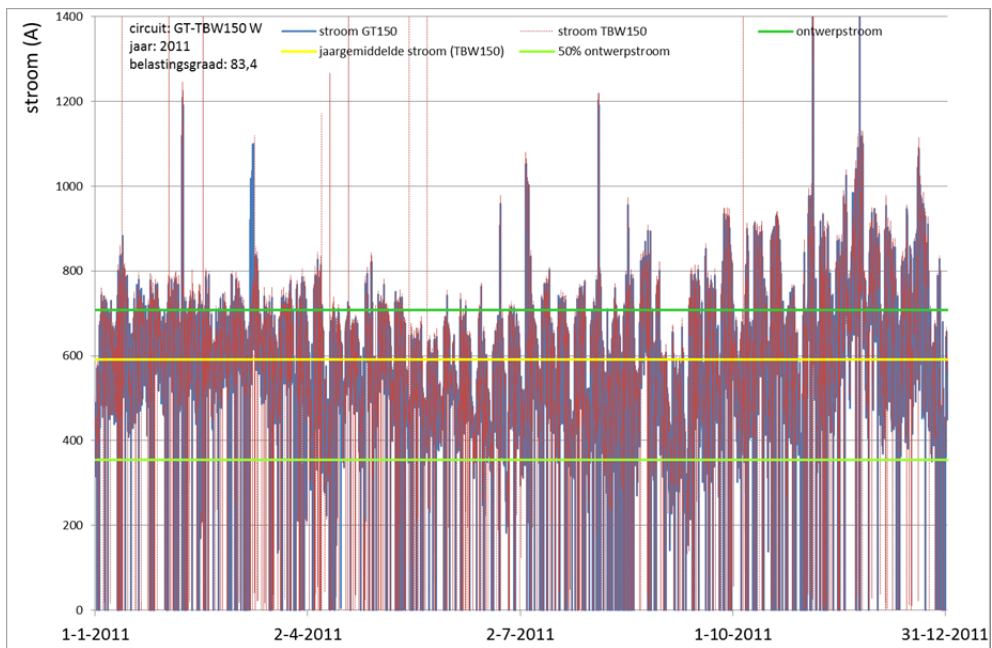




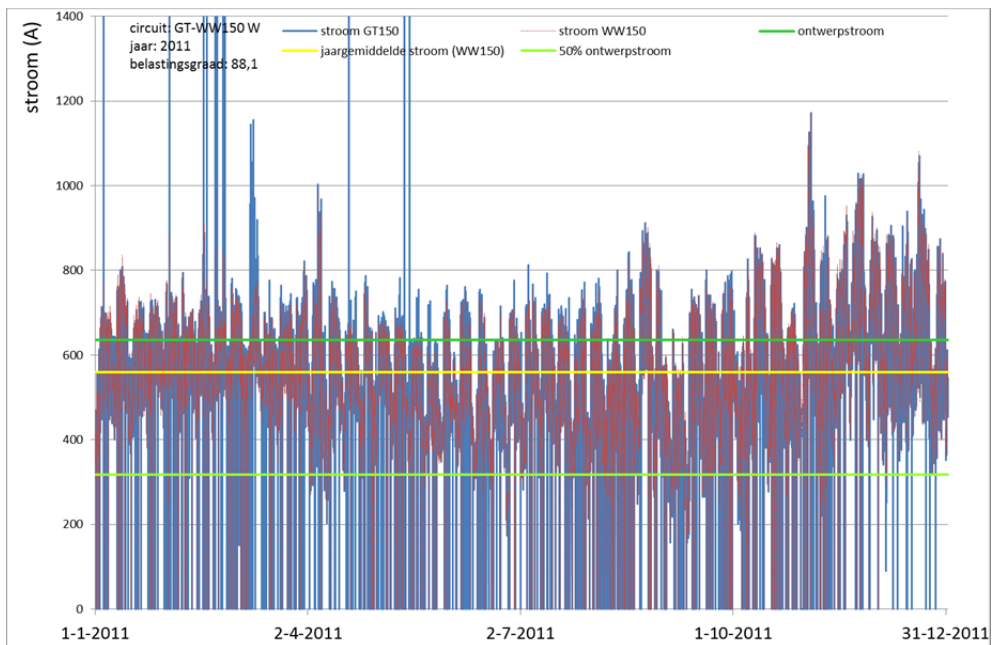
3



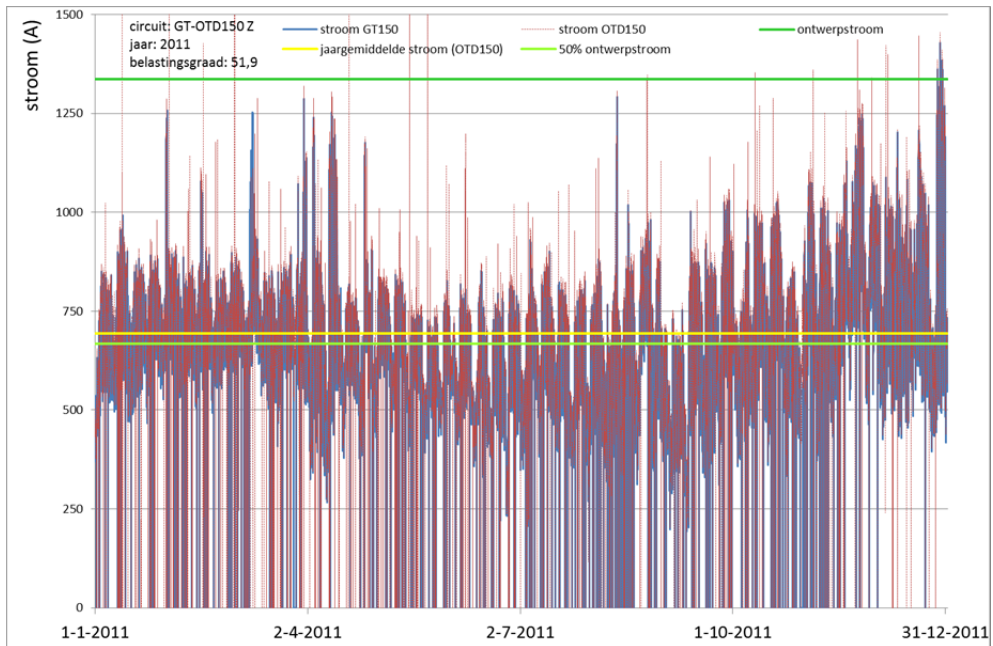
4



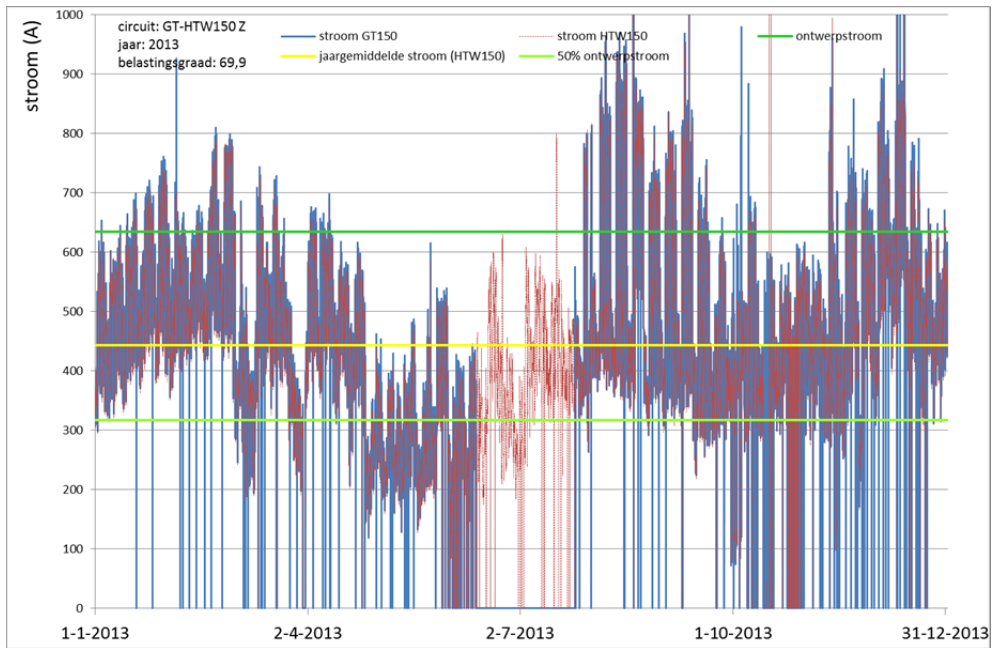
5



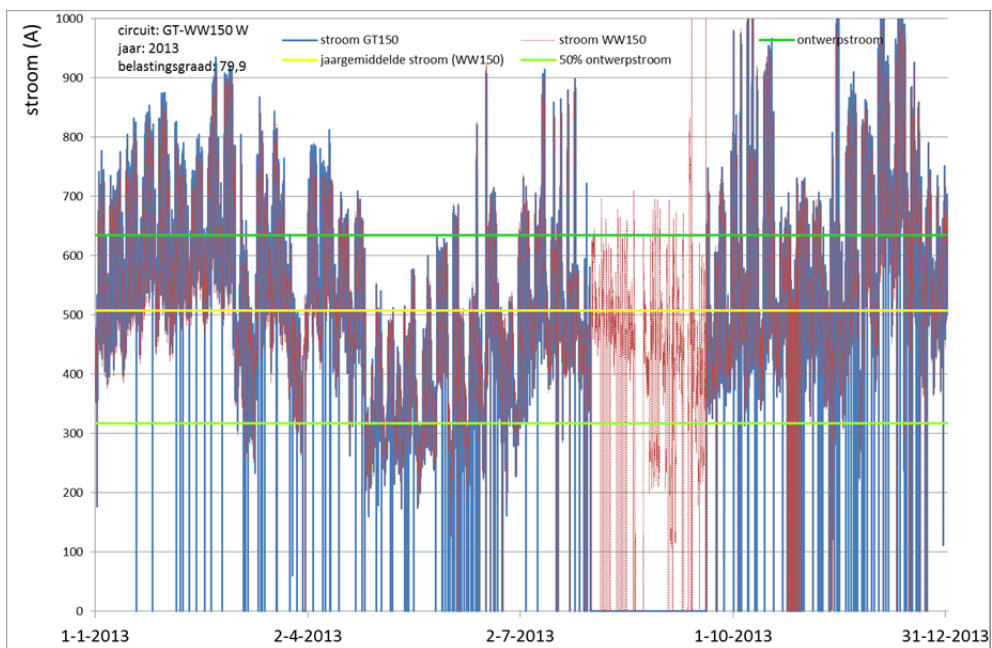
6



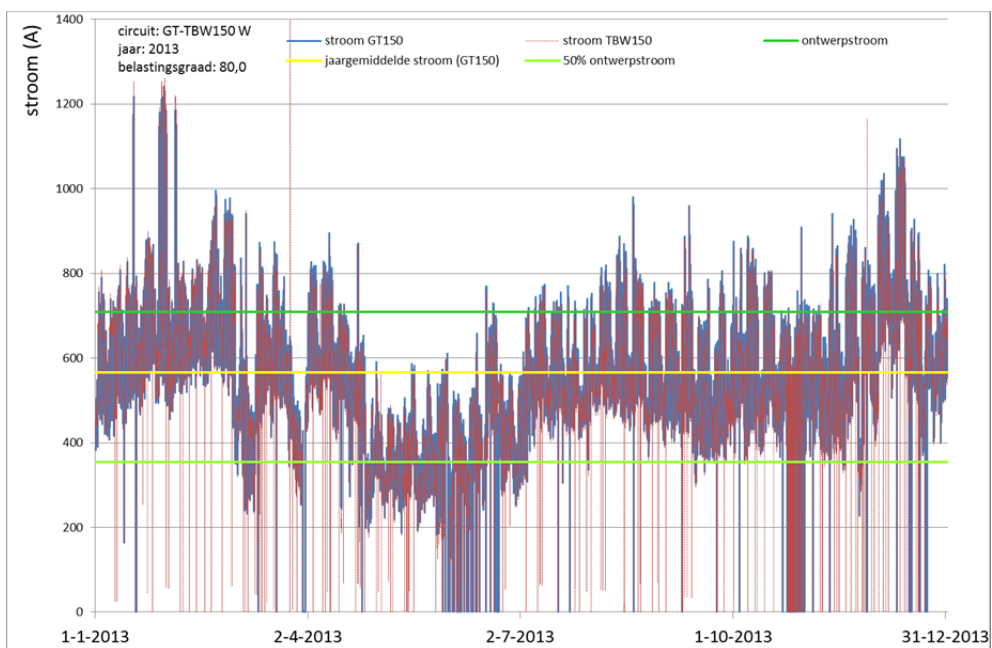
7



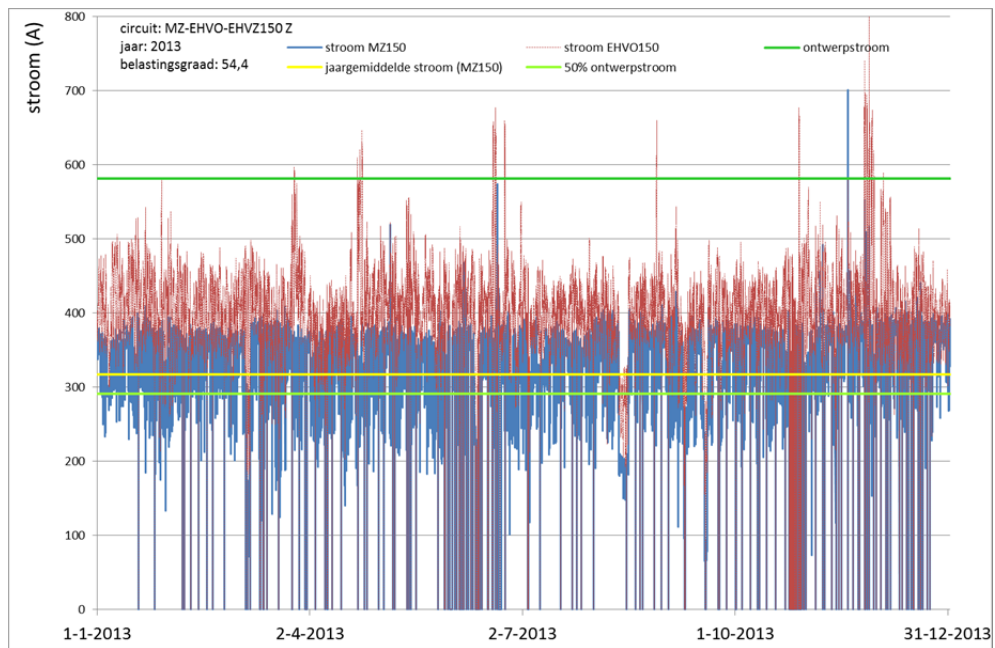
8



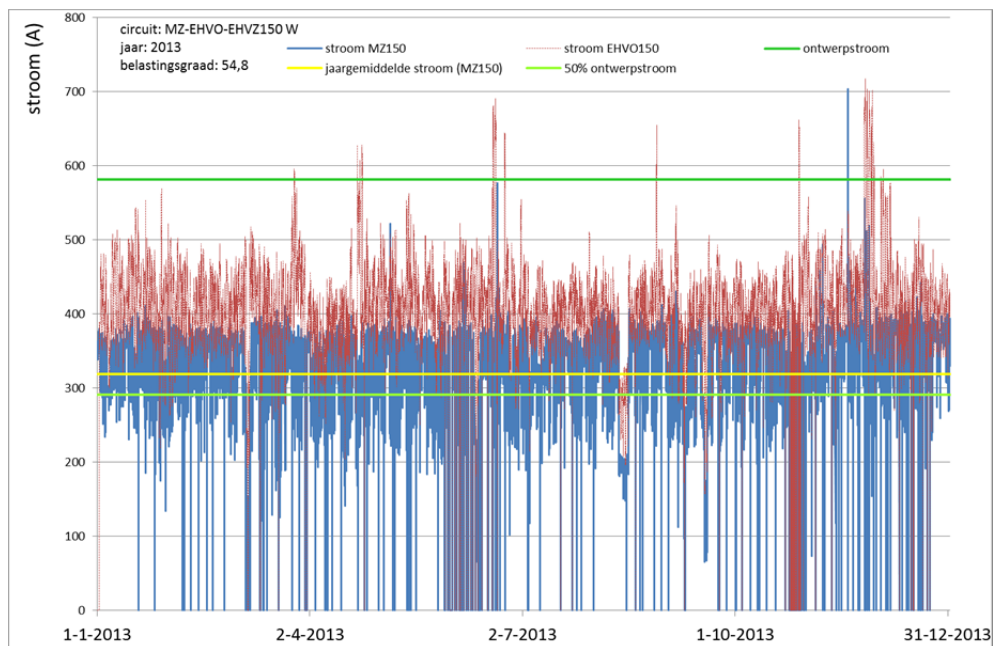
9



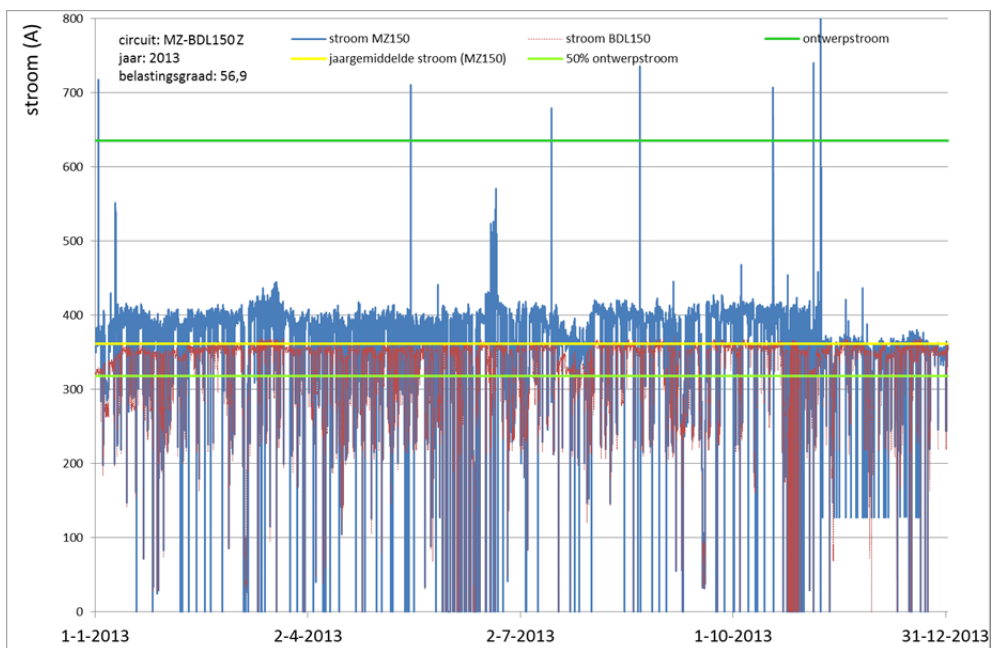
10



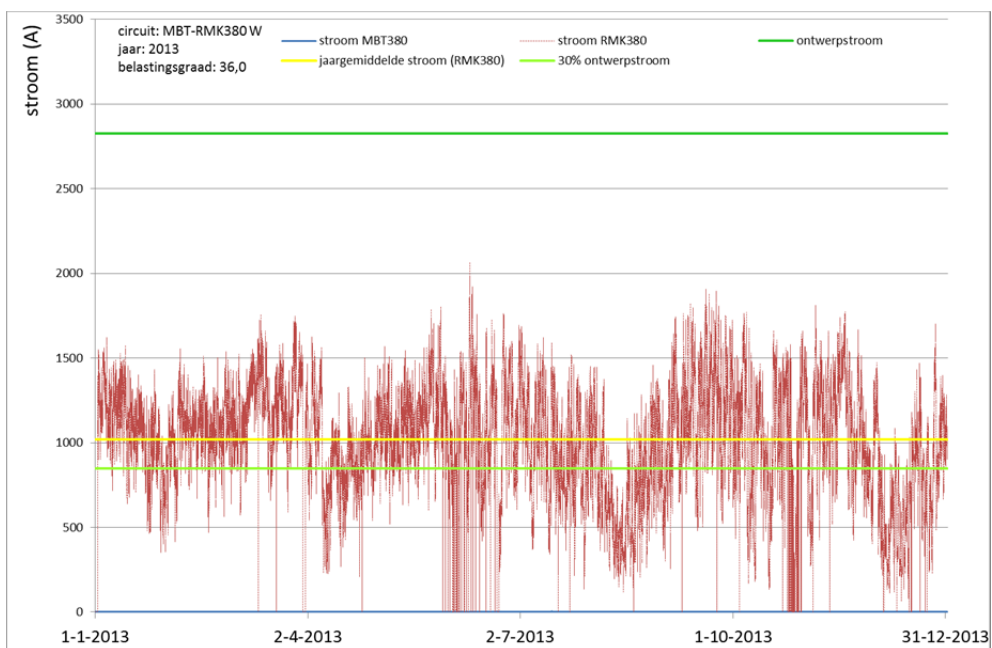
11



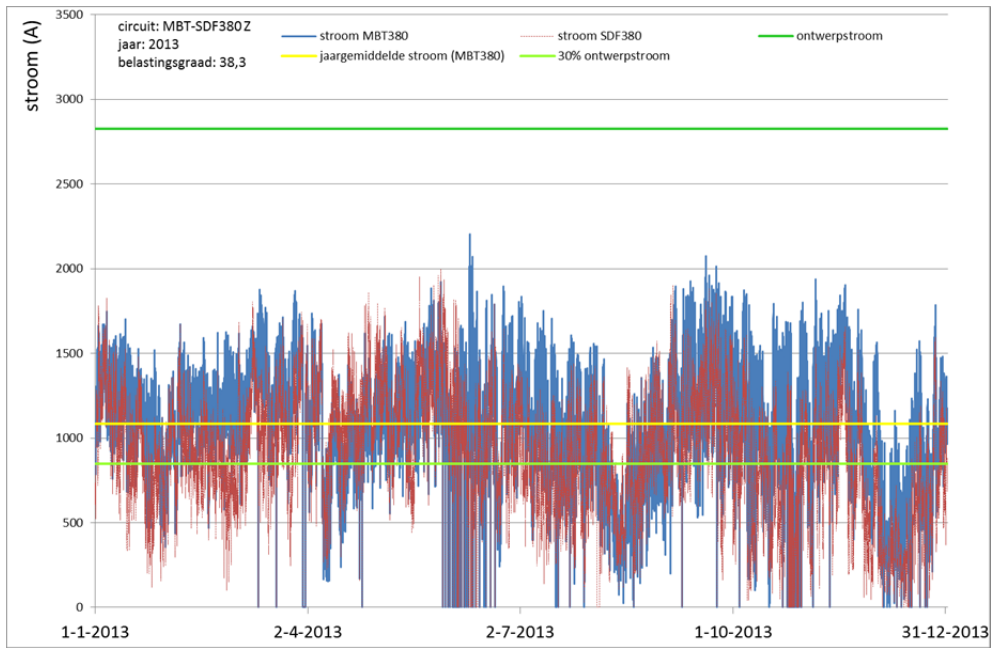
12



13



14



15

RIVM

De zorg voor morgen begint vandaag