

Ontwerpvoorschrift

Tractie-energievoorziening 1500 V DC Deel 4: Netanalyse

Beherende instantie: **AM Techniek**
Inhoudverantwoordelijke: Manager Energievoorziening
Status: Definitief

Datum van kracht: 01-11-2023	Versie 009	Documentnummer: OVS00012-4
--	----------------------	--------------------------------------

Disclaimer:

© 2023 Behoudens de in of krachtens de Auteurswet 1912 gestelde uitzonderingen mag niets uit deze uitgave worden vervoelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder de voorafgaande schriftelijke toestemming van de auteur.

© 2023 Apart from the exceptions in or by virtue of the 1912 copyright law no part of this document may be reproduced or published by print, photocopying, microfilm or any other means without written permission from the author.

Inhoud

1 Inleiding	3
1.1 Algemeen	3
1.2 Toepassingsgebied en context	3
1.3 Definities en afkortingen	3
1.4 Referenties	3
2 Ontwerpregels	5
2.1 Algemeen	5
2.2 Uitgangspunten en benodigde gegevens	5
2.3 Modelvorming	5
2.3.1 Infrastructuur	6
2.3.2 Materieel	7
2.3.3 De dienstregeling	8
2.4 Systeemberekeningen	8
2.4.1 Berekeningen algemeen	8
2.4.2 Te beschouwen bedrijfsvoeringsituaties	10
2.5 Uit te voeren berekeningen	10
2.6 Analyse	12
3 Producteisen	15
3.1 Algemene producteisen	15
3.2 Producteisen aan de capaciteitsanalyse	16
3.3 Producteisen aan de aanrakingsveiligheidsanalyse	17
3.4 Producteisen aan de instellingenanalyse	17
4 Revisiegegevens	19
5 Bijlagen	21
5.1 Invoergegevens	21
5.1.1 Infrastructuur	21
5.1.2 Defaultwaarden infrastructuur	21
5.1.3 Materieelgegevens	23
5.1.4 Dienstregeling	25
5.1.5 Opstellen van materieel	25
5.2 Gewenste presentatievorm	26
5.3 Formules berekening thermische opwarming (informatief)	30

1 Inleiding

1.1 Algemeen

Dit ontwerpvoorschrift maakt onderdeel uit van de regelgeving van het 1500 V DC tractie-energievoorzieningssysteem (TEV-systeem).

1.2 Toepassingsgebied en context

Dit deel van het ontwerpvoorschrift OVS00012 is een dwingend voorschrift voor opdrachtgevers en opdrachtnemers voor het uitvoeren van een netanalyse aan:

- het 1500 V TEV-systeem dat onder beheer van ProRail valt;
- een ontwerp (voedingsplan) voor een deel van het 1500 V TEV-systeem dat onder beheer van ProRail zal gaan vallen;
- het 1500 V TEV-systeem dat niet onder het beheer van ProRail valt of zal gaan vallen, maar wel direct gekoppeld is of wordt aan het 1500 V TEV-systeem dat onder het beheer van ProRail valt respectievelijk gaat vallen (zoals werkplaatsen, intakkers HSL).

Aan de hand van de analyseresultaten kan worden aangetoond of het geanalyseerde 1500 V TEV-systeemdeel of voedingsplan wel of niet aan de performance eisen voldoet.

Dit deel van het ontwerpvoorschrift bevat geen performance eisen voor het 1500 V TEV-systeem en beschrijft ook niet hoe een optimaal voedingsplan tot stand dient te komen. Hiervoor wordt verwezen naar de OVS00012-3.

1.3 Definities en afkortingen

Zie voor de definities en afkortingen de richtlijn RLN00124.

Afkorting	Definitie
BUP	Basis Uur Patroon treindienst
EDS	EDS staat voor Energie DistributieSysteem. Een EDS is een 10 of 20 kV kabeldistributiesysteem dat voeding levert aan meerdere gebruikers. Deze gebruikers kunnen TEV onderstations zijn maar ook wisselverwarming of voedingen TBB of tunneltechnische installaties. Het EDS is een zogenaamd ringnet met aansluitpunten op het net van de netbeheerder aan beide uiteinden. In het EDS is een netscheiding voorzien.
HS	Hoogspanning
MS	Middenspanning
TEV	Tractie-EnergieVoorziening
TEV-net	Netwerk van bovenleidingvoedingssecties die gevoed worden door diverse onder- en /of schakelstations
Treinpantograaf	Stroomafnemer trein

1.4 Referenties

Indien eisen uit verschillende documenten met elkaar conflicteren dient de volgende prioriteitsvolgorde te worden aangehouden:

1. Wettelijke eisen.

2. ProRail ontwerpvoorschriften en richtlijnen.
3. Overige ProRail voorschriften en regelgeving.
4. NEN-EN en EN-normen voor railtoepassingen.
5. NEN-EN en EN-normen.
6. Overige (internationale) normering.

ProRail voorschriften

In dit ontwerpvoorschrift wordt naar de volgende ProRail voorschriften en documenten verwezen:

OVS00012	Ontwerpvoorschrift. 1500 VDC-Tractie-energievoorziening.
OVS00012-2	Ontwerpvoorschrift 1500 V DC Tractie-energievoorziening; Deel 2: Systeemeisen.
OVS00012-3	Ontwerpvoorschrift. 1500 VDC-Tractie-energievoorziening; Deel 3, ontwerpregels.
OVS00013-3	Ontwerpvoorschrift 1500 V DC Tractievoeding; Deel 3: Module-eisen beveiliging.
OVS00085	Elektrische verbindingen aan spoorstaven en aarding.
RLN00124	Begrippen en afkortingen Energievoorziening.

Normen die van toepassing zijn.

In dit ontwerpvoorschrift wordt naar de volgende (inter)nationale normen verwezen, waarbij de TSI versie of laatste versie gehanteerd mag worden:

NEN-EN 15663	Railtoepassingen - Referentiemassa van rollend materieel.
NEN-EN 50122-1	Spoorwegen en soortgelijk geleid vervoer – Vaste installaties – elektrische veiligheid, aarding en retourstromen – Deel 1: Eisen in verband met bescherming tegen elektrische schok.
NEN-EN 50388	Spoorwegen en soortgelijk geleid vervoer - Energievoorziening en rollend materieel - Technische criteria voor de coördinatie tussen energievoorziening (onderstations) en rollend materieel om interoperabiliteit te bereiken.

2 Ontwerpregels

2.1 Algemeen

EIS-0010795 - De systeemberekeningen ten behoeve van de netanalyse dienen te worden uitgevoerd in de vorm van dynamische^[1] "load-flow" berekeningen (simulaties) waarbij de infrastructuur, het materieel en de dienstregeling dienen te worden gemodelleerd.

[1] Hiermee wordt bedoeld dat de treinverplaatsingen op basis van het beschikbare vermogen wordt gemodelleerd.

EIS-0010738 - Uitgaande van de eisen in dit ontwerpvoorschrift (uitgangspunten, modelvorming van infrastructuur, dienstregeling en materieel) dienen de rekenresultaten een nauwkeurigheid te hebben van $\geq 85\%$ ten opzichte van de praktijk. Deze eis mag aangetoond worden aan de hand van een resultatenvergelijk met een eerdere netanalyse.

EIS-0010788 - De hulpmiddelen dienen te voldoen aan de eisen gesteld in dit document (nauwkeurigheid, input- en outputmogelijkheden, etc.).

EIS-0010751 - Indien niet eerder in opdracht van ProRail een netanalyse met de hulpmiddelen is uitgevoerd, dient bij de offerte bescheiden te worden aangeleverd waarmee het voldoen aan de eisen wordt aangetoond. Een en ander dient ter beoordeling aan de ProRail Systeemspecialist Netbeheer te worden overlegd.

Toelichting: De ProRail Systeemspecialist Netbeheer is werkzaam bij ProRail AM.

2.2 Uitgangspunten en benodigde gegevens

EIS-0010769 - De uitgangspunten en randvoorwaarden voor de netanalyse en afwijkingen van dit ontwerpvoorschrift dienen te worden goedgekeurd door de ProRail Systeemspecialist Netbeheer voor aanvang van de systeemberekeningen.

Toelichting: Netanalyses van een bepaald baanvakdeel kunnen reeds recent zijn uitgevoerd. Daarnaast zijn de toekomstige wijzigingen in de TEV-infrastructuur en dienstregeling bij de ProRail Systeemspecialist Netbeheer bekend. Overleg met de ProRail Systeemspecialist Netbeheer voorkomt dubbel werk en het hanteren van reeds achterhaalde uitgangspunten.

EIS-0010791 - De opdrachtgever dient de benodigde gegevens aan de opdrachtnemer te leveren. In bijlage 5.1 staat een overzicht wat minimaal dient te worden aangeleverd.

EIS-0010776 - Gegevens over de bestaande infrastructuur en materieelgegevens kunnen bij de ProRail Systeemspecialist Netbeheer worden aangevraagd.

EIS-0010771 - Gegevens over het materieel van NS Reizigers dienen te worden opgevraagd via de online database Treinplein.net, tenzij deze door ProRail reeds zijn verstrekt. De opdrachtnemer dient hiervoor een account aan te vragen. Informatie over de aanvraag van een account is te vinden op de inlogpagina van Treinplein.net.

Toelichting: (zie <http://www.treinplein.net>)

2.3 Modelvorming

In dit hoofdstuk wordt omschreven wat minimaal in het rekenmodel dient te worden opgenomen.

EIS-0012350 - De opdrachtnemer dient aan te tonen dat de minimale inhoud van het model voldoende is om de vereiste nauwkeurigheid te halen van [Eis 0010738](#) en dient het rekenmodel eventueel uit te breiden tot de vereiste nauwkeurigheid is behaald.

EIS-0010745 - Het modelleren van de railinfrastructuur (mechanisch en elektrisch) en de dienstregeling dient op een dusdanige wijze plaats te vinden dat de randeffecten verwaarloosbaar zijn ($< 5\%$). Praktisch gezien houdt dit in dat er een groter gebied zal moeten worden gemodelleerd dan de te analyseren baanvakdelen.

EIS-0010767 - Het elektrische netwerk van de te analyseren baanvakdelen dient aan de uiteinden minimaal te worden uitgebreid met twee extra onderstations van de aansluitende baanvakdelen.

2.3.1 Infrastructuur

EIS-0010770 - De volgende infrastructuuronderdelen dienen minimaal te worden gemodelleerd:

1. het elektrisch netwerk t.b.v. de energievoorziening
2. de onder- en bovenbouw;
3. het seinstelsel;
4. de dienstregeling;
5. de halteplaatsen, knooppunten en emplacementen.

2.3.1.1 Het elektrisch netwerk t.b.v. de energievoorziening

EIS-0010800 - Alle elektrische verbindingen in de te analyseren baanvakdelen dienen separaat te worden gemodelleerd. Zo dient bijvoorbeeld het retourcircuit inclusief de dwarsverbindingen per spoor te worden gemodelleerd.

EIS-0010775 - Een 1500 V DC onderstation direct aangesloten op een ≥ 50 kV 50 Hz onderstation bij een regionale netbeheerder op een voedingsspanningsniveau ≥ 10 kV 50 Hz, mag vereenvoudigd worden gemodelleerd in de vorm van een DC spanningsbron en inwendige weerstand. De inwendige weerstand dient hierbij als volgt te worden bepaald:

$$R_i \approx \frac{18}{\pi^2} \cdot R_{net} + \frac{3}{\pi} \cdot X_{net}$$

Hierin is:

R_i = ohmse vervangingsweerstand van onderstation [Ω];

R_{net} = weerstand van het voorliggende AC-net van het onderstation en de netaansluiting, omgezet naar de secundaire zijde van de tractietransformator [Ω];

X_{net} = reactantie van het voorliggende AC net van het onderstation en de netaansluiting, omgezet naar de secundaire zijde van de tractietransformator [Ω].

Opmerking: Voor een 3-wikkeling transformator (12-puls groep) dient in bovenstaande formule de relatieve kortsluitspanning U_{k123} te worden gehanteerd bij het berekenen van de impedantie. U_{k123} dient te worden gehanteerd (en niet U_{k12}) omdat de sluiting plaats vindt achter de gelijkrichter. Dit betekent dat beide secundaire wikkelingen bijdragen aan de kortsluitstroom.

In deze formule wordt uitgegaan van het minimale kortsluitvermogen zoals aangegeven door de netbeheerder en een spanningsfactor $c=1$.

EIS-0010777 - Een 1500 V DC onderstation niet direct aangesloten op een ≥ 50 kV 50 Hz onderstation van een regionale netbeheerder dient te worden gemodelleerd inclusief het voorliggende AC circuit. Er wordt o.a. bedoeld op onderstations die worden gevoed vanuit een ander ProRail onderstation, een ProRail verdeelstation, een verdeelnet of een distributienet niet van een regionale netbeheerder of met een spanning < 50 kV.

EIS-0010772 - Er dient te worden gerekend met een rijdraadslijtage (doorsnede-verlies) van 27 %. Dit betekent concreet dat in netsimulaties de weerstand van de twee nieuwe rijdraden met 27% verhoogd moet worden. (De kerndoorsnede neemt immer af van $2 \times 100 \text{ mm}^2$ naar $2 \times 73 \text{ mm}^2$).

Toelichting: Bij 27% rijdraadslijtage (doorsnede 8,5 mm gemiddeld) wordt de rijdraad door ProRail ingepland voor vervanging.

EIS-0010774 - Er dient rekening te worden gehouden met lokale beperkingen in de doorsnede van de bovenleiding (insnoeringen).

De insnoeringen zijn in principe identificeerbaar aan de hand van "Loop der bovenleidingstekeningen". Een insnoering kan zijn:

- een bovenleiding met een equivalente doorsnede kleiner dan $500 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$.
Idealiter omvat een vrije baan bovenleiding 2 stuks rijdraden van $100 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$, een draagkabel van $150 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ en een versterkingsleiding van $150 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ of $240 \text{ mm}^2 \text{ Al}$. Bij een insnoering ontbreekt een versterkingsleiding of is een 70 mm^2 draagkabel toegepast;

- *enkelzijdig gevoede bovenleiding over grotere afstand;*
- *een emplacementspoor met enkelzijdige voeding en/of te weinig doorsnede.*

Of daadwerkelijk sprake is van een probleem, is afhankelijk van de stroombelasting versus thermische belastbaarheid.

2.3.1.2 Onder- en bovenbouw

EIS-0010768 - Hellingen met een gradiënt > 1 ‰ dienen in het model te worden opgenomen.

EIS-0010808 - Bogen met een straal < 8000m dienen in het model te worden opgenomen.

EIS-0010740 - Tunnels langer dan 400m dienen te worden gemodelleerd.

2.3.1.3 Seinstelsel

EIS-0010782 - Indien het seinstelsel invloed heeft op de uitvoering van de dienstregeling, dient deze invloed te worden gemodelleerd.

EIS-0010801 - Baanvaksnelheden en lokale snelheidsbeperkingen dienen te worden gemodelleerd.

2.3.2 Materieel

EIS-0010778 - Het materieel dient op een dusdanige wijze te worden gemodelleerd dat de volgende karakteristieken in iedere mogelijke treinsamenstelling met de vereiste nauwkeurigheid door het rekenmodel worden gereproduceerd:

- de trekkracht-snelheidskarakteristiek;
- de remkracht-snelheidskarakteristiek;
- de tractiestroom-snelheidskarakteristiek;
- de recuperatiestroom-snelheidskarakteristiek;
- de stroom-spanningskarakteristiek voor tractie (aanzet);
- de stroom-spanningskarakteristiek voor recuperatie (remmen).

EIS-0010752 - Indien karakteristieken van de trein afhankelijk zijn van de actuele spanning aan de stroomafnemer, dan dient dit als zodanig te worden gemodelleerd.

EIS-0010773 - De treinen mogen in de simulatie niet sneller rijden dan de opgegeven maximale snelheid voor het desbetreffende treintype.

EIS-0010781 - De remvertraging van het materieel is, indien niet anders opgegeven, voor reizigersmaterieel 0,66m/s² en voor goederentreinen 0,34m/s².

EIS-0010779 - De treinen dienen te worden gemodelleerd met 1,25 x de "normal operational payload", zoals gedefinieerd in EN15663:2009.

EIS-0010780 - De treinen dienen te worden gemodelleerd met het maximale gelijktijdig afgenomen hulpvermogen bij rijden.

Dit vermogen kent hier de volgende definitie^[1]:

$$P_{HulpMax} = P_{trein_EX_KLIMAAT} + 0,7 \cdot P_{Verwarming\ bak} \cdot N + P_{laden\ batterij}$$

Met:	
$P_{HulpMax}$:	Maximaal gelijktijdig afgenomen hulpvermogen;
$P_{trein_EX_KLIMAAT}$:	Gemiddeld hulpvermogen volledige treinsamenstelling bij normaal gebruik zonder klimaatinstallatie;
$P_{Verwarming\ bak}$:	Geïnstalleerd verwarmingsvermogen per bak;
$P_{laden\ batterij}$:	Laadstroom batterijtrein, rekening houdend met "load balancing";
N	Aantal bakken treinsamenstelling.

Indien dit hulpvermogen niet bekend is, dient een vermogen van 2,3 kW/m treinlengte dubbeldeks en 1,3 kW/m treinlengte enkeldeks te worden aangenomen.

[1] Factor 0,7 in formule is gebaseerd op omgevingstemperatuur van -20 graden Celsius.

EIS-0012451 - De laadstroom van batterijtreinen bij stilstand (halteren of opstellen) dient gemodelleerd te worden.

EIS-0010747 - Het TEV-net dient zodanig ontworpen te zijn dat treinen, die minder tractievermogen opnemen dan 2 MW, zonder vermogens- of stroombeperking kunnen rijden.

EIS-0010764 - Treinen die meer dan 2 MW afnemen, zijn uitgerust met een automatische vermogensbegrenzing conform NEN-EN 50388:2022/7.3, waarbij geldt:

- $U_{\min 2} = 1000V$;
- $U_B = 1350V (= \alpha \times U_n)$;
- $I_{\max} (\text{trein}) = 4000A$;
- onderspanningsinrichting is afgesteld op 950V. (zie RIS^[1]: 2020 par. 3 artikel 11).

In de modellering dient met deze begrenzing rekening worden gehouden.

[1] Reglement Indienststelling Spoorvoertuigen.

2.3.3 De dienstregeling

EIS-0010787 - De opgegeven treinpaden in de vorm van tijd-weg diagrammen en per treinpad het materieeltype en de treinsamenstelling, dienen te worden opgenomen in het model.

EIS-0010804 - Daar waar keuze is uit twee of meer treinpaden dient dat treinpad te worden gekozen welke de zwaarste belasting zal vormen voor de 1500 V TEV.

EIS-0010765 - Treinen dienen in de simulatie te rijden conform de opgegeven dienstregeling oftewel conform de aangegeven aankomst- en vertrektijden.

EIS-0010753 - Indien niet anders opgegeven, bedraagt de gemiddelde halteringstijd op een halteplaats 1 minuut.

EIS-0010754 - In de simulatie dient op de halteringstijd m.b.v. een toevalsgenerator een willekeurige spreiding van – 10 tot + 60 seconden te worden geïmplementeerd.

2.4 Systeemberekeningen

2.4.1 Berekeningen algemeen

EIS-0010797 - De dynamische load-flow berekeningen dienen minimaal 2 uur dienstregeling van het Basis Uur Patroon (BUP) te omvatten.

EIS-0010748 - Het te simuleren deel van de dienstregeling dient dat deel van de BUP te zijn dat de zwaarste belasting vormt voor de energievoorziening. Hierbij dient rekening te worden gehouden met het geleidelijk opwarmen en afkoelen van primaire installatieonderdelen (w.o. tractietransformatoren en voedingskabels) als gevolg van de 24-uurs belasting.

EIS-0010803 - Bij nieuw te elektrificeren baanvakken dient de BUP uitgevoerd te worden met het verbruik technisch zwaarste ^[1] in Nederland toegelaten materieeltype binnen zijn klasse (intercity of sprinter), tenzij anders overeengekomen met de ProRail netbeheerder.

Toelichting: Dit om flexibel te blijven voor andere materieelinzet in de toekomst bij gunning concessie aan andere vervoerder.

[1] Het gaat om de zwaarste elektrische belasting (hoge aanzetstroom en of hoge tractiestroom zonder begrenzing).

EIS-0010762 - Op het te simuleren deel van de BUP dient een toeslag te worden gehanteerd voor het afgenomen vermogen van opstel terreinen. Deze toeslag bedraagt 10% van het opgestelde vermogen van de nacht.

EIS-0010786 - De dynamische load-flow berekeningen dienen inclusief recuperatie van het materieel te worden uitgevoerd. Optioneel kan door de opdrachtgever worden gevraagd de berekeningen ook zonder recuperatie uit te voeren.

Toelichting: Uiteraard geldt deze ontwerpregel alleen voor het materieel dat standaard recupereert.

EIS-0010792 - De dynamische load-flow berekeningen dienen te worden uitgevoerd met een tijdstap van ≤ 1 seconde. Enkel in overleg met ProRail systeemspecialist Netbeheer kan voor een grotere tijdstap worden gekozen, indien een grovere nauwkeurigheid volstaat.

EIS-0010794 - De gemiddelde spanning bij de treinpantograaf, ' $U_{\text{mean useful (train)}}$ ' en eventueel ' $U_{\text{mean useful (zone)}}$ ', in een voedingssectie dient te worden berekend voor alle voedingssecties van het te beschouwen gebied (TEV-net) conform de methode, zoals beschreven in de NEN-EN-50388:2022/annex B.

Toelichting: Een voedingssectie is een verzameling bovenleidinggroepen die wordt gevoed door dezelfde snelschakelaar(s). Meestal wordt een voedingssectie vanuit twee zijden gevoed (2 verschillende onderstations/schakelstations).

EIS-0010741 - Voor de thermische bovenleidingberekeningen dient te worden uitgegaan van de volgende uitgangspunten en beoordelingscriteria:

Algemeen:

Indien de gemiddelde bovenleidingtemperatuur berekend wordt aan de hand van de snelschakelaarstromen, dan dient gecorrigeerd te worden voor:

- het feit dat rijdraadsecties op afstand van een invoedingspunt thermisch minder zwaar belast worden dan een rijdraadsectie die direct is aangesloten op een invoedingspunt. Dit effect houdt verband met het feit dat voedingssecties bij ProRail tweezijdig gevoed worden en de stroom meer symmetrisch wordt toegeleverd vanuit twee richtingen naarmate de trein het middelpunt van de voedingssectie nadert (halverwege twee onderstations). De warmte-ontwikkeling wordt lager door een lagere $I^2 \cdot t$ -waarde;
- de positie van het invoedingspunt op eerste rijdraadsectie t.o.v. vast punt of afspanning, waardoor meestal niet gehele draadlengte verwarmd wordt door stroomdoorgang.

Uitgangspunten vrije baan:

- Zoninstraling: 1 kW/m² (zonnige dag);
- Windsnelheid: 1 m/s (matige wind);
- Omgevingstemperatuur: 30°C ^[1].

Beoordelingscriterium vrije baan:

- Een maximaal toelaatbare **gemiddelde** temperatuurstijging (delta T) van 30 graden voor de halve rijdraadsectie (vast punt - afspanning) door stroomafname ^[2].

Uitgangspunten tunnels:

- Zoninstraling: 0 kW/m² (geen zon);
- Windsnelheid: 1 m/s;
- Omgevingstemperatuur: 25°C ^[3].

Beoordelingscriterium tunnels:

Een maximale **gemiddelde** temperatuurstijging (delta T) van 20 graden voor de halve rijdraadsectie (vast punt - afspanning) door stroomafname ^[4]. In overleg kan een hogere delta T worden gehanteerd als het locatiespecifieke bovenleidingontwerp in de tunnel meer ruimte biedt voor temperatuurstijging. Dit vereist wel mogelijk eerst een detailbeschouwing van het ontwerp (sectielengtes, type afspanning, lopers). Deze stap kan ook gedaan worden in een vervolganalyse na constatering van een knelpunt.

^[1] Een temperatuur van 30 graden in combinatie met hier gekozen waarden voor wind en zon zijn praktijkwaarden die ook in Duitsland als worstcase wordt gehanteerd.

^[2] De delta T, veroorzaakt door treinstromen, is voor dit doel 10 graden hoger gekozen dan de delta T die OVS00024-3 noemt voor treinstromen (tractiestromen). De extra verhoging is nodig om te compenseren voor het in de simulaties aangenomen worstcase hulpvermogen (EIS-0010780) dat geldt onder winterse omstandigheden (-20 graden Celsius). In de zomer (bij 30 graden Celsius) ligt het hulpverbruik van treinen significant lager dan in de winter (Koeling/ventilatie vereist minder energie dan verwarming door

lagere temperatuurdelta en zeer hoge efficiency airco). Tweede reden is dat gecompenseerd moet worden voor het **niet** meenemen van de rijwind wat flink ook bijdraagt aan de koeling van een rijdraad.

[3] In lijn met OVS00024-3 gekozen.

[4] De delta T die verband houdt met treinstromen is overeenkomstig OVS00024-3 gekozen. Dit vanwege lokale (ontwerp)beperkingen die in tunnels kunnen gelden en omdat de risico's van bovenleidingstoringen bij tunnels groter zijn dan voor de vrije baan.

EIS-0010809 - Bij het berekenen van het verloop van thermische beveiligingen (afgaande 1500V-voedingsvelden, tractiegroepen en EDS verbindingen) dient te worden uitgegaan van 75% voorverwarming (= 75% van max. temperatuurverhoging t.o.v. omgevingstemperatuur) bij aanvang van het te beschouwen deel van de dienstregeling. *Toelichting: Deze voorbelasting is nodig vanwege hoge tau waarde voor kabels en tractiegroepen. Bij hoge tau waarde (>1800 s) is simulatieduur van 2 uur anders te kort.*

2.4.2 Te beschouwen bedrijfsvoeringsituaties

EIS-0010796 - De opdrachtnemer dient na te gaan welke bedrijfsvoeringssituaties dienen te worden beschouwd om een volledige netanalyse uit te kunnen voeren. Indien sprake is van een combinatie vrije baan en opstelsterrein, waarvan de nachtbelasting hoger is dan de belasting ten gevolge van de dienstregeling (2 uur deel BUP +10%), dient de bedrijfsvoeringssituatie nachtbelasting door opstellen meegenomen te worden in de netanalyse.

EIS-0010761 - Minimaal dienen de volgende bedrijfsvoeringsituaties te worden beschouwd:

- normale dienstregeling (geen verstoring in de treinenloop) en een normale (ongestoorde) energievoorziening;
- normale dienstregeling in combinatie met een enkelvoudige storing in de energievoorziening van het te beschouwen gebied. Ieder te beschouwen onderstation dient hierbij separaat te worden beschouwd met gelijktijdig een voedingskabel en een tractiegroep buiten bedrijf. Een onderstation met één tractiegroep en/of één voedingskabel degradeert hierbij tot een schakelstation.
- Indien de netanalyse conform de situatie normale dienstregeling/enkelvoudige storing geen uitsluitel geeft of de belasting in die situatie al of niet kan worden opgevangen door de overgebleven infrastructuur (rekening houdend met de kwaliteitseisen t.a.v. performance in OVS00012-2), dan dient een aanvullende netanalyse te worden uitgevoerd om dit eenduidig vast te kunnen stellen.

Toelichting: Voorbeeld, een onderstation met twee tractiegroepen. Indien in de n-1 situatie conform de situatie normale dienstregeling/enkelvoudige storing de naastliggende onderstations niet overbelast zijn maar wel de resterende tractiegroep en voedingskabel in het verstoorde onderstation, dan dient d.m.v. een extra berekening, waarin de overbelaste tractiegroep buiten dienst is genomen, te worden nagegaan of de belasting door de naastliggende onderstations kan worden opgevangen.

2.5 Uit te voeren berekeningen

EIS-0010749 - In de systeemberekeningen dient voor de onverstoorde en de verstoorde bedrijfsvoeringssituaties het volgende te worden berekend:

- Het minimale spanningsprofiel per onderzocht spoor. Dit is de minimale spanning tussen bovenleiding en retourleiding die in het gesimuleerde deel van de dienstregeling optreedt als functie van de baanvakkilometrerig.
- De minimale waarde van de gemiddelde spanning bij de treinpantograaf ' $U_{mean\ useful}$ ' voor de voedingssecties die deel uitmaken van het te beschouwen TEV-net voor de gesimuleerde dienstregeling (BUP). Zie in dit kader prestatie-eisen in OVS00012-2 en EIS-0010794.
- De momentane DC-railspanningen van de onder- en schakelstations.
- De momentane stroomwaarden van iedere tractiegroep.
- Het voortschrijdende 15 minuten vermogen van ieder onderstation en verdeelstation als functie van de tijd.
- De momentane stroomwaarden voor ieder afgaand 1500 V-voedingsveld (snelschakelaarveld) voor belasting 2 uur deel BUP+10% of nachtbelasting opstelsterrein. *Deze belasting loopt ook door de retourvoerende spoorstaven en de langsretourverbindingen.*
- De piekstroom voor iedere snelschakelaar.
- De momentane stromen in AC- en DC-verbindingen.

- De maximale piekstroom van AC-verbindingen.
- De procentuele opwarming van de thermische beveiliging van de tractiegroepen in onderstations als functie van de tijd, uitgaande van de hoogst toelaatbare instelling gegeven de dimensionering van de tractiegroep.
- Enkel indien er sprake is van een energiedistributiesysteem (EDS) dat voeding levert aan tenminste één onderstation en tenminste één ander onderstation via doorvoeding of indien er sprake is van één of meerdere op het onderstation aangesloten niet-TEV grootgebruiker(s) met een piek vermogensafname van tenminste 1 MW:

De procentuele opwarming van de thermische beveiliging van de hoogspanningskabelverbinding van sectiedelen met een directe aansluiting op het MS-net van de Netbeheerder voor n en worstcase n-1 bedrijfsscenario's^[1] voor belasting 2 uur deel BUP+10% of nachtbelasting opstelsterrein.

In 5.3 staan formules voor thermische berekeningen. De waarden voor T_{max} , T_{eind} en I_n zijn te vinden in de kabelspecificatie of in kabelnormen (IEC60055-2:1981 voor GPLK en IEC 60502-2 voor XLPE).

De stroombelasting van het EDS dient voor deze thermische berekening tenminste de TEV belasting te omvatten van EIS-0010797 en EIS-0010748.

De te hanteren thermische tijdconstante (τ) mag op 1800 seconden worden gesteld.

De voorbelasting van de kabels dient 75% worden verondersteld, tenzij loadflow berekening aantonen dat een lagere waarde kan worden aangenomen.

- De procentuele opwarming van de (virtuele) thermische beveiliging van de afgaande 1500 V-voedingsvelden in onderstations en schakelstations als functie van de tijd. Zie in dit kader de formules en toelichting in 5.3. De te hanteren uitgangspunten voor het uitvoeren van deze berekening, te weten stroom (I), thermische tijdconstante (τ) en maximale eindtemperatuur (T_{eind}), worden hieronder gegeven:
Indien sprake is van één 1500 V-voedingskabel (BMvKas 3,6/6kV 1x500 mm² Cu) per afgaand veld, mag uitgegaan worden van: $I_n = 1100$ A; $\tau = 3600$ sec^[2], $T_{eind} = 90$ graden.
Indien sprake is van twee stuks 1500 V-voedingskabels per afgaand veld, dan is de retourkabelverbinding railspoel-spoor (4xBMqK 1x150 mm² AL) bij GRS treindetectie de zwakste schakel in het circuit^[3]. Voor deze retourverbinding (4x BMqK 1x150 mm² AL) geldt: $I_n = 4x375$ A^[4], $\tau = 2400$ sec^[5], $T_{eind} = 90$ graden.
- Enkel indien er sprake is van een energiedistributiesysteem (EDS) dat voeding levert aan tenminste één onderstation en tenminste één ander onderstation via doorvoeding of indien er sprake is van één of meerdere op het onderstation aangesloten niet-TEV grootgebruiker(s) met een piek vermogensafname van tenminste 1 MW:
De maximale spanningsval aan het einde van de verbinding bij maximale belasting voor n en n-1 bedrijfssituaties ^[1].
- Enkel indien er sprake is van een energiedistributiesysteem (EDS) dat voeding levert aan tenminste één onderstation **waarbij ook nog productie-eenheden zijn aangesloten van (1MW of meer) op het EDS**:
De maximale procentuele spanningsophoging bij het aansluitpunt van de productie-eenheid en aan de hoogspanningszijde van de tractietransformator indien de tractie-afname nul is voor de gedefinieerde bedrijfsvoeringsscenario's^[6] van het EDS.
- Het maximale spoorstaaf-aarde potentiaal gedurende het gesimuleerde deel van de dienstregeling als functie van de baanvakkilometrerig.
- De maximale temperatuur van de bovenleidinggeleiders bij iedere invoeding (aansluiting via snelschakelaar van een onder- of schakelstation op bovenleiding).
- De maximale gemiddelde temperatuur van iedere halve bovenleidingsectie.
- De kortsluitstroom bij een sluiting tussen bovenleiding en spoorstaaf als functie van de baanvakkilometrerig, voor de onverstoorde bedrijfsvoerings situatie. Deze berekening is bedoeld als controle van de modelvorming en een indicatie van de grootte van de kortsluitstroom.
De berekende kortsluitstroom kan o.a. gebruikt worden voor het toetsen van de dimensionering van de TEV-installatie t.a.v. het aspect kortsluitvastheid.
- De minimale kortsluitstroom die elke snelschakelaar ziet bij kortsluiting in de voedingssectie voor wat betreft het beoogde dekkingsgebied van de kortsluitbeveiliging.
Voor niet gekoppelde snelschakelaars omvat het dekkingsgebied de gehele voedingssectie.
Voor gekoppelde snelschakelaars omvat het dekkingsgebied de halve voedingssectie + 10%.

- De tijd-weg diagrammen van de gesimuleerde dienstregeling (rijtijden) inclusief treinnummers en bij voorkeur met de treinsamenstelling.
- De minimale circuitimpedantie door bedrijfsvoering ten behoeve van het instellen van de impedantiebeveiliging.

[1] Bij n-1 bedrijf in een tweezijdig gevoed EDS kan de netscheiding worden verlegd, waardoor voedingsafstanden en het aantal te voeden aangesloten gebruikers kunnen wijzigen. Dit kan significante impact hebben op de stroombelasting, spanningsval.

[2] Gebaseerd op technische bijlage Draka bij offerte voor BMvKas d.d. 15-05-1997.

[3] Ter informatie: De railspoel zelf heeft veel warmtecapaciteit door de zeer hoge thermische tijdconstante van tenminste 9.000 seconden. (Bij Damstra lab metingen (2020) is zelfs 12.000 seconden gemeten voor een recent gebouwde railspoel.) Voor de railspoel geldt verder: $I_n = 2 \times 750 \text{ A}$ en Teind primaire wikkeling = 130 graden Celsius.

[4] Hoewel NEN1010:2015, tabel 52.B.13 methode F met twee geleiders tegen elkaar 389 A specificeert, is de toelaatbare stroomwaarde op basis van uitgevoerde Damstra lab-metingen (2020) iets lager gekozen. ($4 \times 375 \text{ A} = 1500 \text{ A}$.)

[5] Gebaseerd op bij Damstra lab uitgevoerde temperatuurmetingen t.a.v. genoemde retourkabelverbinding bij belasting met 1500 A. De genoemde tau-waarde hoort bij meting (d.d. 16-09-2020) met 3-4 kabels tegen elkaar aan (referentie channel 210, kabelnr. 6). Indien de kabels zijn aangesloten op de spoorstaven en op de railspoel, neemt de tau-waarde van de kabels aanzienlijk toe tot zelf 5400 seconden. De spoorstaven en de twee railspoelen absorberen de warmte, waardoor het opwarmen van de kabels veel langer duurt met als gevolg een nog grotere tau-waarde.

[6] Normaal bedrijf en n-1 bedrijf, waarbij bijvoorbeeld een netscheiding wordt verlegd of een kabel uit bedrijf is genomen.

2.6 Analyse

De netsimulatie verstrekt een grote hoeveelheid data die nader geanalyseerd moet worden. Deze paragraaf geeft aan welke analyses gemaakt moeten worden.

EIS-0010743 - Voor het kunnen uitvoeren van een analyse dient onderscheid gemaakt te worden in:

- Capaciteitsanalyse;
- Aanrakingsveiligheidsanalyse;
- Instellingenanalyse.

Toelichting: Voor een nieuw of gewijzigd voedingsplan zullen de berekeningsresultaten uit de netsimulatie veelal dienen als input voor het detailontwerp. Voor de nieuw te bouwen onderstations en schakelstations dient in de instellingenanalyse te worden getoetst of de standaard oplossingen (tractiegroepen, voedingskabels, GVI, etc.) uit de 1500 V TEV regelgeving volstaan.

EIS-0010793 - De toetsingscriteria, die voor de analyses dienen te worden gebruikt, staan in OVS00012-2 en OVS00024-3 (temperatuur-eisen bovenleiding).

EIS-0010760 - Op welke wijze de berekeningsresultaten van de analyse dienen te worden gepresenteerd is voorgeschreven in hoofdstuk 3.

EIS-0010758 - In de capaciteitsanalyse dient het volgende getoetst te worden:

- Voldoet de berekende minimale bovenleidingspanning aan de normering in OVS00012-2.
- Voldoet de berekende minimale waarde van de gemiddelde spanning bij de treinpantograaf (' $U_{\text{mean useful}}$ ') aan de prestatie-eis(en) van OVS00012-2.
- Ligt de belasting van het onderstation onder de maximale thermische belastbaarheid.
De beoordeling vindt plaats aan de hand van de tijdgewogen belastingduurkrommen.
- Ligt de belasting van de tractietransformator en de tractiegelijkrichter in de onderstations onder de maximale thermische belastbaarheid, gegeven de dimensionering van de zwakste component.
Bij bestaande onderstations mag conform EIS-0010805 uitgegaan worden van de huidige thermische beveiligingsinstelling conform beveiligingstekening. Bij nieuwe onderstations mag uitgegaan worden van de thermische instelling conform OVS00013-3.
De beoordeling vindt plaats aan de hand van de tijdgewogen belastingduurkrommen en de thermische opwarmingsberekeningen.
- Ligt de thermische belasting van de afgaande 1500 V-groepen (snelschakelaarvelden) onder de maximale thermische belastbaarheid van de zwakste schakels in het circuit (1500 V-voedingskabelverbinding of kabelverbinding railspoel-spoor).

- Zijn er thermische knelpunten aanwezig die opgelost moeten worden om het onderstation/schakelstation optimaal uit te nutten voor wat betreft transformatorvermogen. (Denk aan te licht gedimensioneerde kabels tussen tractietransformator en tractiegelijkrichter of te weinig minuskabels.)
- Wordt de maximale temperatuur van de bovenleidinggeleiders niet overschreden (zie OVS00024-3 toetsingscriteria).
- Vindt geen overschrijding plaats van de maximale gemiddelde temperatuur van de bovenleidinggeleiders over een halve bovenleidingsectie (vast punt -afspanning) nabij iedere invoeding op de bovenleiding (aansluiting van een snelschakelaar op de bovenleiding).
- Enkel indien er sprake is van een energiedistributiesysteem (EDS) dat voeding levert aan tenminste één onderstation en tenminste één ander onderstation via doorvoeding of indien er sprake is van één of meerdere op het onderstation aangesloten niet-TEV grootgebruiker(s) met een piek vermogensafname van tenminste 1 MW:
Blijft de belasting van de AC hoogspanningsvoedingskabel van het sectiedeel met een directe aansluiting op het MS-net van de netbeheerder onder de thermische belastbaarheid van de kabel (thermische instelling), rekening houdend met alle aangesloten belastingen en optredende gelijktijdigheid^[1] voor zowel de n als worstcase n-1 bedrijfsscenario's^[2].
- Enkel indien er sprake is van een energiedistributiesysteem (EDS) dat voeding levert aan tenminste één onderstation en tenminste één ander onderstation via doorvoeding of indien er sprake is van één of meerdere op het onderstation aangesloten niet-TEV grootgebruiker(s) met een piek vermogensafname van tenminste 1 MW:
Wordt de bedrijfsspanning aan het einde van het EDS net bij maximale piekbelasting niet te laag (toets maximale spanningsval) voor n en worstcase n-1 bedrijfsscenario's ^[2].
- Enkel in geval er sprake is van een energiedistributiesysteem (EDS) dat voeding levert aan tenminste één onderstation **waarbij ook nog productie-eenheden zijn aangesloten van (1 MW of meer) op hetzelfde EDS**:
Blijft de maximale procentuele spanningsophoging bij het aansluitpunt van de productie-eenheid en aan de hoogspanningszijde van de tractietransformator onder de maximale limieten van OVS00012-2 voor de gedefinieerde bedrijfsvoeringsscenario's^[3] van het EDS.

[1] Er mag rekening gehouden worden met loadflow bijsturing, indien dit geregeld is/wordt via automatisering of via actieve bijsturing vanuit het OBI.

[2] Bij n-1 bedrijf in een tweezijdig gevoed EDS kan de netscheiding worden verlegd, waardoor voedingsafstanden en het aantal te voeden aangesloten gebruikers kunnen wijzigen. Dit kan significante impact hebben op de totale stroombelasting en spanningsval.

[3] Normaal bedrijf en n-1 bedrijf, waarbij bijvoorbeeld een netscheiding wordt verlegd of een kabel uit bedrijf is genomen.

EIS-0010759 - Indien uit de capaciteitsanalyse volgt dat primaire componenten in het onderstation zelf of in de baan (bovenleiding en retour) thermisch overbelast worden, dient het voedingsplan aangepast te worden of moeten verzwaringen worden doorgevoerd.

EIS-0010755 - In de aanrakingsveiligheidsanalyse dient te worden nagegaan voor iedere beschouwde bedrijfsvoerings situatie of de spoorstaafpotentiaal t.o.v. verre aarde niet te hoog wordt, inclusief een beschouwing van het aanraakrisico voor reizigers, passanten en voor monteurs.

Toelichting: Hierbij dient te worden getoetst ten aanzien van OVS00012-2 die refereert naar de limieten in norm NEN-EN 50122-1.

EIS-0010756 - In de instellingsanalyse dient onderzocht te worden of de minimale DC-kortsluitstroom die de beveiliging van elke snelschakelaar waarneemt voldoende hoog wordt voor zijn dekkinggebied.

Toelichting: Zie TEV-prestatie-eis in OVS00012-2 ten aanzien van minimale waarde kortsluitstroom.

Indien de minimale kortsluitstroom niet gehaald wordt, dient het voedingsplan te worden aangepast. Een selectieve kortsluitbeveiliging is anders niet mogelijk!

EIS-0010746 - In de instellingsanalyse dient gecontroleerd te worden of de minimale DC kortsluitstroom die elke snelschakelaar ziet, hoger wordt dan de te verwachten piekbelastingstroom van dezelfde snelschakelaar.

EIS-0010750 - In de instellingsanalyse dient voor elk afgaand 1500 V-snelschakelaarveld gecontroleerd te worden of de DC-railspanning door treinbelasting lager wordt dan de instelling van de onderspanningsbeveiliging.

Toelichting: Indien de instelling niet bekend is, mag uitgegaan worden van een instelling van 1100 V.

EIS-0010783 - De instellingenanalyse dient na te gaan in hoeverre het huidige voedingsplan en de dimensionering van de primaire installatie past op het beveiligingsconcept van de gesimuleerde onderstations. Dit geldt zeker als niet als niet voldaan kan worden aan EIS-0010746 en EIS-0010750.

EIS-0010739 - Indien bij nieuw te elektrificeren baanvakken de instellingenanalyse uitwijst dat de DC-beveiliging van de voedingssectie niet selectief gemaakt kan worden zonder stroombeperking op te leggen aan treinen, dient het voedingsplan en/of de dimensionering van de tractievoedingsinstallatie te worden aangepast dan wel snelschakelaars te worden gekoppeld.

EIS-0010742 - Indien bij TEV-verzwaringen van bestaande baanvakken de instellingenanalyse uitwijst dat de DC-beveiliging van de voedingssectie niet selectief gemaakt kan worden, dienen de volgende maatregelen te worden overwogen:

- installeren digitaal beveiligingsrelais met impedantiebeveiliging en delta I (di/dt) beveiliging indien nog sprake is van een conventioneel snelschakelaarveld;
- snelschakelaars koppelen;
- verzwaring tractievoedingssysteem (bijvoorbeeld: extra onderstation, ombouw schakelstation naar onderstation);
- extra retourverbinding in spoor of in bovenleiding (rekening houdend met type treindetectiesysteem).

3 Producteisen

De uitgevoerde berekeningen en analyses dienen te resulteren in een rapportage. Dit hoofdstuk beschrijft waaruit deze rapportage minimaal dient te bestaan en welke eisen hieraan worden gesteld. Er wordt hierbij een onderscheid gemaakt tussen algemene producteisen en specifieke producteisen aan de capaciteitsanalyse, aanrakingsveiligheidsanalyse en instellinganalyse.

De voorbeeldfiguren waarnaar wordt verwezen staan in hoofdstuk 5.

3.1 Algemene producteisen

EIS-0010798 - De rapportage dient te worden geleverd in PDF en dient minimaal te bestaan uit:

- Een beschrijving van de toegepaste uitgangspunten en randvoorwaarden.
- Een beschrijving van het toegepaste netwerkmodel, inclusief modelvorming van de randeffecten.
- Een berekening van de nauwkeurigheid van de resultaten van de systeemberekeningen.
- Een beschrijving van de toegepaste materieelmodellen.
- Het tijd-weg diagram van de beschouwde en aansluitende baanvakdelen voor iedere beschouwde bedrijfsvoerings situatie. Alleen de normale dienstregeling dient in het rapport als grafiek te worden opgenomen. De overige tijd-weg diagrammen dienen enkel op USB-stick of via gedeelde CLOUD te worden verstrekt aan ProRail.
- Conclusies en aanbevelingen gebaseerd op de resultaten van de uitgevoerde analyse.

EIS-0010766 - In het geval van een netanalyse aan een bestaand deel van het 1500 V TEV-systeem dient er voor iedere beschouwde bedrijfsvoerings situatie een geografisch overzicht te worden geleverd (zie Figuur 7) in par. 5.2. Hierop dienen de baanvakdelen enkelijns weergegeven te worden en de onderstations moeten worden weergegeven met één van de volgende symbolen:

- Onderstation normaal belast.
- ▼ Onderstation kritisch belast.
- ★ Onderstation overbelast.
- Onderstation is schakelstation.

- Onderstation normaal belast: het onderstation kan het gevraagde vermogen leveren, oftewel de tijdgewogen belastingduurkromme van de vraag overschrijdt de normcurve van het onderstation niet.
- Onderstation kritisch belast: de tijdgewogen belastingduurkromme van de vraag kruist de normcurve van het onderstation. De analyse van de (hoogste) thermische beveiligingsinstelling van de tractiegroep(en) moet uitsluitend geven of het onderstation het gevraagde vermogen kan leveren.
- Onderstation overbelast: het onderstation kan het gevraagde vermogen niet leveren, oftewel de tijdgewogen belastingduurkromme van de vraag ligt in z'n geheel boven de normcurve van het onderstation.
- Onderstation is schakelstation: het betreffende onderstation functioneert als gevolg van het uit bedrijf zijn van één primaire component als schakelstation en kan als zodanig niet op belastbaarheid worden getoetst.

EIS-0010757 - Knelpunten voor wat betreft bovenleidingspanning en spoorstaaf-aarde spanning dienen in een tabel opgenomen te worden.

EIS-0010763 - Thermische knelpunten voor wat betreft de tractiegroep, de retourkabelverbinding railspoel-spoor of de 1500 V-voedingskabelverbinding dienen in een tabel opgenomen te worden.

EIS-0010802 - Alle berekeningsresultaten en de resultaten van de analyse dienen in een in MS Excel in te lezen format op USB-stick (of via gedeelde CLOUD) met de rapportage te worden meegeleverd.

EIS-0010799 - Alle digitale invoerfiles en de overige uitvoerfiles dienen op USB-stick (of via gedeelde CLOUD) te worden geleverd. De invoerfiles dienen in een in MS-Excel in te lezen format en in het oorspronkelijke format behorend bij het gebruikte hulpmiddel te worden geleverd.

EIS-0010785 - De gebruiksrechten van alle geleverde files en documenten dienen te liggen bij ProRail.

3.2 Producteisen aan de capaciteitsanalyse

EIS-0010805 - De capaciteitsanalyse dient te bestaan uit een **grafische presentatie** van de volgende berekenings- en of analyseresultaten voor iedere beschouwde bedrijfsvoerings situatie (de gewenste presentatievorm wordt gegeven in de bijlage 5.2):

- De minimale bovenleidingspanning van ieder spoor als functie van de weg. Zie [Figuur 2](#) in par. 5.2 ;
- De belasting van het onderstation versus de belastbaarheid van het onderstation in de vorm van een tijdgewogen belastingduurkromme. De grafieken van de beschouwde bedrijfsvoerings situaties dienen te worden gecombineerd in één grafiek per onderstation. Zie [Figuur 3](#) in par. 5.2.
- Het voortschrijdend 15 minuten vermogen per onderstation als functie van de simulatietijd.
- De momentane stroom per tractiegroep en het verloop van de (procentuele) opwarming van de thermische beveiliging als functie van de tijd. Zie [Figuur 4](#).
Bij bestaande onderstations mag uitgegaan worden van de huidige thermische beveiligingsinstelling conform beveiligingstekening. Bij nieuwe onderstations mag uitgegaan worden van een instelling conform OVS00013-3.
Als de 100%-waarde wordt overschreden is sprake van een thermisch knelpunt.
- De momentane stroom per afgaand 1500 V-voedingsveld en de berekende (procentuele) thermische opwarming van de thermische beveiliging als functie van de tijd voor ieder afgaand 1500 V-voedingsveld (snelschakelaarveld). Zie [Figuur 6](#) in par. 5.2. De snelschakelaaraanduiding dient overeen te komen met de aanduiding op de schakelschema's.
De instelling van de thermische beveiliging moet gebaseerd zijn op de maximaal toelaatbare thermische belasting van de zwakste schakel in het circuit: 1500 V-voedingskabelverbinding of de retourkabelverbinding railspoel-spoor (4x BMqK 1x150 mm² Al). Zie ook [EIS-0010749](#) (bullet "procentuele opwarming thermische beveiliging" voor de te hanteren uitgangspunten in berekening).
Als de 100%-waarde wordt overschreden is sprake van een thermisch knelpunt.
- Indien sprake is van een energiedistributiesysteem (EDS) dat voeding levert aan tenminste één onderstation en tenminste één ander onderstation via doorvoeding of indien er sprake is van één of meerdere op het onderstation aangesloten niet-TEV grootgebruiker(s) met een piek vermogensafname van tenminste 1 MW: De momentane stroom en de berekende (procentuele) thermische opwarming van de thermische beveiliging als functie van de tijd voor de hoogspanningskabelverbinding van sectiedelen met een directe aansluiting op het MS-net van de Netbeheerder voor n en worstcase n-1 bedrijfsscenario's ^[1].

^[1] Bij n-1 bedrijf in een tweezijdig gevoed EDS kan de netscheiding worden verlegd, waardoor voedingsafstanden en het aantal te voeden aangesloten gebruikers kunnen wijzigen. Dit kan significante impact hebben op de optredende stroombelasting en spanningsval.

EIS-0010806 - De capaciteitsanalyse dient te bestaan uit een presentatie in **tabelvorm** van de minimaal de volgende berekenings- en analyseresultaten voor iedere beschouwde bedrijfsvoerings situatie:

- De minimale waarde van de gemiddelde spanning bij de treinpantograaf voor alle voedingssecties van het beschouwde TEV-net;
- De maximale temperatuur en de maximale gemiddelde temperatuur (over een halve bovenleidingsectie) van iedere bovenleidinggeleider voor de zwaarst belaste bovenleidingsectie in iedere voedingssectie;
- Overzicht thermische knelpunten tractiegroepen;
- Overzicht thermische knelpunten afgaande 1500 V-velden in onder- en schakelstations;
- Het maximale voortschrijdend 15 minuten vermogen per onderstation;
- Enkel indien er sprake is van een energiedistributiesysteem (EDS) dat voeding levert aan tenminste één onderstation en tenminste één ander onderstation via doorvoeding of indien er sprake is van één of meerdere op het onderstation aangesloten niet-TEV grootgebruiker(s) met een piek vermogensafname van tenminste 1 MW:
De maximale spanningsval aan het einde van de EDS-verbinding bij maximale belasting voor n en worstcase n-1 bedrijfsscenario's ^[1].
- Enkel in geval er sprake is van een energiedistributiesysteem (EDS) dat voeding levert aan tenminste één onderstation **waarbij ook nog productie-eenheden zijn aangesloten van (1MW of meer) op hetzelfde EDS**:
De maximale procentuele spanningsophoging bij het aansluitpunt van de productie-eenheid en aan de

hoogspanningszijde van de tractietransformator van elk onderstation indien de tractieafname nul is voor de gedefinieerde bedrijfsvoeringsscenario's ^[2] van het EDS.

[1] Bij n-1 bedrijf in een tweezijdig gevoed EDS kan de netscheiding worden verlegd, waardoor voedingsafstanden en het aantal te voeden aangesloten gebruikers kunnen wijzigen. Dit kan significante impact hebben op de optredende stroombelasting en spanningsval.

[2] Normaal bedrijf en n-1 bedrijf, waarbij bijvoorbeeld een netscheiding wordt verlegd of een kabel uit bedrijf is genomen.

3.3 Producteisen aan de aanrakingsveiligheidsanalyse

EIS-0010810 - De aanrakingsveiligheidsanalyse dient te bestaan uit een grafische presentatie van de volgende berekenings- en/of analyseresultaten voor iedere beschouwde bedrijfsvoerings situatie (de gewenste presentatievorm wordt gegeven in de bijlage 5.2.):

De maximale spoorstaaf-aarde potentiaal als functie van de weg (met als toetsingswaarde de 1 seconde limiet in de norm NEN-EN50122-1. Zie Figuur 5.

EIS-0010807 - De aanrakingsveiligheidsanalyse dient voor locaties, waarbij sprake is van overschrijding van de normlimiet, aan te geven of er daadwerkelijk risico is op overbrugging van de gevaarlijke spanning door een mens (reiziger, passant of monteur).

Toelichting: Het risicoprofiel is hoger bij een overweg en perron dan in de vrije baan. Bij een perron kan toch sprake zijn van een veilige situatie voor de reiziger als de te hoge spoorstaafspanning enkel optreedt bij passage van een doorgaande trein als er geen andere trein op een nevenspoor halteert. (Een rijdende trein raak je immers niet aan vanaf het perron.)

3.4 Producteisen aan de instellingenanalyse

EIS-0010789 - De instellingenanalyse dient de indicatieve stationaire kortsluitstroom tussen bovenleiding en spoorstaven als functie van de baanvakkilometrerings weer te geven. Zie Figuur 1 in par. 5.2.

EIS-0010790 - De instellingenanalyse dient aan te geven hoe hoog de minimale kortsluitstroom wordt voor elke invoedende snelschakelaar bij kortsluiting op het verst gelegen punt in het dekkingsgebied van de snelschakelaar in de betreffende voedingssectie. Daarbij dient aangegeven te worden of de berekende waarde voldoet aan de eisen van OVS00012-2.

Toelichting: Let op: Voor gekoppelde snelschakelaars omvat het dekkingsgebied de halve voedingssectie plus 10%.

EIS-0010784 - De instellingenanalyse dient te bestaan uit een presentatie in tabelvorm van de minimaal de volgende berekenings- en analyseresultaten voor iedere beschouwde bedrijfsvoerings situatie:

- De hoogst berekende piekstroom in de tractiegroepen met een toetsing tegen de huidige stroominstelling van de maximaalstroomtijdbeveiliging voor ieder bestaand onderstation.
Voor nieuwe onderstations mag uitgegaan worden van een standaardinstelling conform OVS00013-3.
- Indien het aantal hoogspanningsvoedingskabels kleiner is dan het aantal tractiegeleijkrichter groepen of indien sprake is van een EDS met dat meer dan 1 onderstation voedt of indien sprake is van een niet TEV-voeding van meer dan 1 MW die is aangesloten op het onderstation:
de maximale piekbelastingstroom in de voedingskabel met een toetsing tegen de huidige stroominstelling van de maximaalstroomtijdbeveiliging.
- De minimale kortsluitstroom voor elke invoedende snelschakelaar bij kortsluiting in de voedingssectie op maximale afstand binnen het eigen dekkingsgebied, inclusief een toetsing aan de hand van de prestatie-eis in OVS00012-2. Zie ook EIS-0010790.
- De maximale piekstroom en de minimale circuitimpedantie door belasting voor alle snelschakelaarvelden van de betrokken onder- en schakelstations. Voor bestaande onder- en schakelstations dienen ook de huidige beveiligingsinstellingen (stroomsetting of impedantie setting) te worden vermeld, zodat inzichtelijk wordt of huidige setting nog volstaat.
De snelschakelaaraanduiding dient overeen te komen met de aanduiding op de schakelschema's.
- De effectieve waarde van de belastingstroom over de simulatieduur voor iedere snelschakelaar.
- De minimale railspanningen met een toetsing tegen de huidige instelling van de onderspanningsrelais voor de snelschakelaarvelden in ieder beschouwd onder- en schakelstation.

4 Revisiegegevens

Datum	Versie nieuw	Hoofdstuk / paragraaf	Wijziging
19-04-2002	1.0	Nieuw voorschrift	J.D. Cozijnsen. Eerste versie. Dit ontwerpvoorschrift vervangt het ontwerpvoorschrift <i>Systeemberekeningen voor het 1500 V/4kA TEV-systeem</i> , OVS-E-010, rev.0, 4 juni 1997, Mom, Railinfrabeheer.
21-12-2007	001.1	Gehele document	Omzetting naar ProRail-huisstijl Verwerken mutatielijst
01-06-2012	003	Allen	Aanpassen van vorm, benamingen, verwijzingen en lay-out naar de huidige standaard bedrijfsvoorschriften. Inhoudelijk geen wijzigingen.
01-07-2013	004	2.2, 2.3.2, 2.6, 5.1.5	Opvragen brongegevens materieel NSR Aanpassing t.b.v. TSI-compliance Wijziging berekening vermogen opstelcapaciteit
01-04-2016	005	EIS-0010738, EIS-0010772, EIS-0010747, EIS-0010764, EIS-0010803, EIS-0010786, EIS-0010809, EIS-0010761, EIS-0010743, EIS-0010739 par. 5.1.2/5.1.5	- Correctie max. doorsnede-verlies; - Toeslag 10% conform aanbevelingen Rapportage "Netanalyse met opstel terreinen", Peer van Gemert, 2012 kenmerk #3137233. - actualisatie
01-09-2018	006		- Smarter maken formulering eisen; - Verplaatsing toetsing thermische belasting 1500V veld van Instellinganalyse naar Capaciteitsanalyse. - Uitgangspunten toegevoegd voor toetsing thermische opwarming 1500-veld. - Toetsing minimale kortsluitstroom per snelschakelaar opgenomen, zodat selectieve instelling conform OVS00013-3 mogelijk is zonder stroombeperking trein. - Betere toetsing beveiligingsinstelling vs belasting. - Bijstelling vermogen per bak bij opstellen.
01-11-2020	007		Correctie uitgangspunten (Tau) en smarter maken definitie parameters en achterliggende uitgangspunten. Deze ook expliciet vermelden in OVS.
01-01-2022	008		- Aanvullende analyses als sprake is van een EDS of aansluiting niet TEV gebruikers (>1 MW) - Kleine correcties op basis van klantmeldingen. - Layout correcties.
01-10-2023	009	Gehele document	VEMS migratie en kleine correcties en verduidelijkingen. Actualisatie voor update norm naar EN50388:2022 (berekening Umean pantograaf voor voedingssectie i.p.v. tussen 2 halteringsplekken). Eis 0010809: Verduidelijking thermische voorbelasting. Deze is beperkt tot thermische beveiligingen van componenten met hoge tau. Term insnoering bovenleiding nader toegelicht.

		Voorbeeldfiguren 5.2 vernieuwd.
--	--	---------------------------------

5 Bijlagen

5.1 Invoergegevens

5.1.1 Infrastructuur

De volgende gegevens van het te beschouwen deel van de infrastructuur dienen verzameld te worden ten behoeve van de simulatie:

1. locatie van de halteplaatsen en knooppunten (RIGD-LOXIA);
2. de baanvaksnelheid (RIGD-LOXIA);
3. lokale snelheidsbeperkingen (RIGD-LOXIA);
4. hoogte en lengteprofiel van de baanvakdelen (RIGD-LOXIA);
5. locatie van de onder- en schakelstations (Railmaps en systeemspecialist Netbeheer);
6. aantal en (ProRail)type tractietransformatoren en tractiegeleijkrichters (SAP-PLM en systeemspecialist Netbeheer);
7. lengte, type en aantal middenspanningskabels van de onderstations (SAP-PLM en systeemspecialist Netbeheer);
8. instellingen van de AC en DC beveiligingen (beveiligingstekeningen SAP PLM);
9. lengte, aantal en type 1500 V voedingskabels (BBKS op te vragen via Railmaps);
10. lengte, aantal en type minuskabels (BBKS op te vragen via Railmaps);
11. impedantie van bovenleiding en retour (Zie paragraaf 5.1.2);
12. type bovenleidingsysteem, inclusief sectielengten (tekeningen "loop der bovenleiding" via SAP PLM);
13. schakelschema's bovenleiding (Raildocs);
14. locatie van de dwarskoppelingen tussen de sporen ten behoeve van de retourstroom (OR-bladen via Raildocs);
15. seinstelsels (RIGD-LOXIA);
16. Insnoeringsoverzichten bovenleiding (indien beschikbaar vanuit ProRail specialist bovenleiding);
17. gegevens over het aansluitpunt van de onderstations op het elektriciteitsnet van derden:
 - de nominale spanning;
 - het nominale 3 fasen kortsluitvermogen;
 - sterpuntsbehandeling;
 - type beveiligingen;
 - instellingen van de beveiligingen;

(gegevens punt 17 op te vragen bij systeemspecialist ProRail Netbeheer en/of ProRail Projecten).

5.1.2 Defaultwaarden infrastructuur

In overleg met de opdrachtgever en ProRail Systeemspecialist Netbeheer dienen de volgende default-waarden te worden gehanteerd:

- Nullastspanning:

1800 V

- Weerstand geleiders bovenleidingsysteem:

- versterkingsleiding 150 mm ² Cu	150 mm ² (=147.1 mm ² E-Cu)
- versterkingsleiding 240 mm ² Al	240 mm ² (= 131 mm ² E-Cu)
- draagkabel 150 mm ² Cu	150 mm ² Cu (=147.1 mm ² E-Cu)
- draagkabel 70 mm ² 70 Bz II	150 mm ² BzII (=42 mm ² E-Cu)

- rijdraad	2 x 100 mm ² CuAg0,1 (=100 mm ² E-Cu)
- R _{tot} bovenleiding bij 500 mm ² Cu ^[1] bij 20°C	36 mΩ/km ^[2] bij 0 % slijtage v.d. rijdraden)
- R _{tot} bovenleiding bij 500 mm ² Cu bij 20°C	40 mΩ/km (bij 27 % doorsnede-verlies rijdraden door slijtage)

•

[1] Bovenleiding bestaat uit 2x rijdraad + 150 Cu draagkabel + versterkingsleiding.

[2] Uitgaande van soortelijke weerstand koper $\rho = 0,01778 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$.

Maximale temperatuur geleiders bovenleidingsstelsel: (waarde bij stilstand $t=30 \text{ min}^*$)

- Cu-E	80 °C (waarde voor huidige of niet vervangen rijdraden)
- CuAg 0,1	150 °C (waarde voor nieuwbouw rijdraden)

- * Ervan uitgaande dat kortdurende (bv kortsluitingen) en permanente waarden niet bepalend zijn.

Maximale gemiddelde temperatuur tussen een vast punt en een afspanning (halve sectie) van de geleiders van het bovenleidingsstelsel:

- sectielengte $\leq 1600 \text{ m}$ $T_{\text{gem}} \leq 40 \text{ °C}$;
- sectielengte $\leq 1200 \text{ m}$ $T_{\text{gem}} \leq 60 \text{ °C}$;
- Tunnels $T_{\text{gem}} \leq 45 \text{ °C}$

- retourcircuit:

- enkele spoorstaaf UIC 54-SM90	36 mΩ/km (excl. railspoelen en dwarsverbindingen)
- enkel spoor enkelbenige isolatie	44 mΩ/km (incl. railspoelen en dwarsverbindingen)
- enkel spoor dubbelbenige isolatie	22 mΩ/km (twee spoorstaven // incl. railspoelen en dwarsverbindingen)
- dwarsverbindingen (hoofdtracé)	conform OR-bladen
- dwarsverbindingen (neventracés)	iedere 3,6 km
- Overgangsweerstand enkelspoor-aarde	8 Ω.km

- aansluitingen OS/SS op bovenleiding en spoorstaven:

- voedingskabel per snelschakelaar (OS/SS):

- kabellengte	100 m
- kabel aantal	1
- kabeltype	BMvKas 1x500 mm ² Cu
- R per kabel bij 20°C	37 mΩ/km

•

- minuskabels per OS conform OVS00085:

- kabellengte	100 m (OS-minuskast)
- kabel aantal	3 per 4 MVA (3,3MVA klasse VI)-tractiegroep, 2 per 3 MVA-gelijkrichter groep
- kabeltype	BMvKas 1x500 mm ² Cu
- R _{per kabel} bij 20°C	37 mΩ/km
- kabellengte	10 m (minuskast- spoor)
- kabel aantal	6 per spoorstaaf bij enkel spoor, 3 per spoorstaaf bij dubbel spoor

- kabeltype optie 1	BMqK 1x150 mm ² Al
- R _{per kabel} bij 20°C	211 mΩ/km
- Kabeltype optie 2	BMqK 1x120 mm ² Cu
- R _{per kabel} bij 20°C	161 mΩ/km
- minuskabels SS conform OVS00085:	
- kabellengte	100 m (SS-spoorstaaf)
- kabelaanat per SS	2
- kabeltype optie 1	BMqK 1x150 mm ² Al
- R _{per kabel} bij 20°C	211 mΩ/km
- kabeltype optie 2	BMqK 1x120 mm ² Cu
- R _{per kabel} bij 20°C	161 mΩ/km

5.1.3 Materieelgegevens

Materieelgegevens van het huidige toegelaten materieel van NS zijn via de site van Treinplein^[1] door ingenieursbureaus zelfstandig op te vragen. De gegevens van treinen van andere vervoerders kunnen in overleg met de ProRail netbeheerder bij de betreffende vervoerder worden aangevraagd. Het hanteren van afwijkende aannamen dient te worden voorgelegd aan de ProRail Systeemspecialist Netbeheer.

[1] zie <http://www.treinplein.net>

De volgende elektrische en mechanische parameters zijn minimaal benodigd bij het uitvoeren van netberekeningen:

1. Massa trein per samenstelling [kg]
'Operational mass in working order', conform EN15663:2009;
2. Massa nominale belading per bak of per samenstelling:
1,25 x de 'normal operational payload', zoals gedefinieerd in EN15663:2009 [kg];
3. Equivalente massa roterende delen t.o.v. lege massa [kg of %];
4. Treinlengte over de buffers [m]
Een eventuele locomotief wordt hierbij ook geteld als een bak;
5. Aantal bakken voor de samenstelling [];
6. Treinweerstandformule voor vlak en recht spoor en met belading.
De treinweerstandformule heeft vereenvoudigd de volgende vorm:

$$F_{\text{trein}} = A \cdot V^2 + B \cdot V + C + D \cdot M$$

Meer uitgebreid ziet hij er zo uit:

$$F_{\text{trein}} = (C4 + N \cdot C5) \cdot (V + V_w)^2 + N \cdot C3 \cdot (V + V_w) + C2 \cdot M \cdot V + C1 \cdot M + C0$$

Met:

- F_{trein} = Treinweerstand [N of kN];
- M = Massa (trein met belading) [Kg];
- C0 = Deze constante wordt meestal niet opgegeven [N];
- C1 = loopweerstand [N/kg];
- C2 = snelheidsafhankelijke loopweerstand [N/(kg x m/s)];
- C3 = interne luchtweerstand [N/(m/s)];
- C4 = kop/staart weerstand [N/(m/s)²]; ^[1]
- C5 = lengte afhankelijke weerstand van de treinsamenstelling per bak [N/(m/s)²]; ^[2]
- V = snelheid [km/h of m/s];
- V_w = Windsnelheid [km/h of m/s];

N = aantal bakken [-].

Opmerkingen bij weerstandsformule:

- Let op de eenheden van de verschillende parameters. Deze moeten overeenkomen met de eenheden van de opgegeven constanten.
 - Bij een samenstelling van bijvoorbeeld een locomotief en rijkundigen hebben de parameters van locomotief en rijkundigen mogelijk verschillende waarden. Er moet rekening mee worden gehouden dat de kopweerstand slechts één keer wordt meegenomen in de treinweerstand van de treinsamenstelling.
 - Deze formule is gegeven voor recht en vlak spoor. In werkelijkheid dient nog rekening te worden gehouden met de aanwezigheid van hellingen en bogen.
7. Maximaal gelijktijdig afgenomen hulpvermogen bij rijden. Zie voor definitie EIS-0010780;
 8. Maximale vermogensafname bij stilstand voor batterijtrein;
 9. Gemiddelde rendement tractie-installatie η bij tractie/remmen ($P_{\text{wiel}}/P_{\text{elektrisch}}$);
 10. Maximale trekkracht van de aandrijflijn in het materieel [N];
 11. Minimum snelheid waarbij elektrodynamische remkracht nul is (F_{0ed}) [km/h];
 12. Snelheid waarbij elektrodynamische remkracht maximaal is (F_{maxed}) [km/h];
 13. Maximale remkracht bij elektrodynamisch remmen van de aandrijflijn in het materieel [N];
 14. De volgende karakteristieken:
 - a. Trekkracht [kN] – snelheidskarakteristiek [km/h] zonder spanningsafhankelijke stroombegrenzing;
 - b. ED-remkracht [kN] – snelheidskarakteristiek [km/h] zonder spanningsafhankelijke stroombegrenzing;
 - c. Maximum stroom – spanningskarakteristiek bij tractie (aanzet) voor treinsamenstelling^[3];
 - d. Maximum stroom – spanningskarakteristiek bij elektrodynamisch remmen voor treinsamenstelling^[4].

Nadere toelichting:

- Uit karakteristiek “a” volgt de snelheid waarbij de maximale trekkracht [kN] optreedt.
- Uit karakteristiek “a” volgt het maximaal mechanisch vermogen (wielbandvermogen) bij aanzet in de eenheid [kW].

Dit kan omgerekend worden naar [kW] met de volgende formule:

$$P_{\text{mech}} [\text{kW}] = \frac{F_{\text{trek}} [\text{kN}] \cdot V \left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right]}{3,6}$$

- De maximale versnelling kan berekend worden voor verschillende snelheden met de formule:

$$a = \frac{(F_{\text{trek}} - F_{\text{trein}})}{M_{\text{totaal}}}$$

- Als de versnelling de 0 m/s² nadert is de maximale snelheid van een trein bereikt. Echter door de 4000 A stroombegrenzing of door de spanningsafhankelijke stroombegrenzing kan deze snelheid mogelijk niet bereikt worden. Meestal is de snelheid om een andere reden dan tractie begrensd.
- Uit karakteristiek “b” volgt de maximale elektrodynamische remkracht (ED) in de eenheid [kN]. Dit kan omgerekend worden naar [kW] met de volgende formule:

$$P_{\text{ED}} [\text{kW}] = \frac{F_{\text{ED}} [\text{kN}] \cdot V \left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right]}{3,6}$$

- De tractiestroom-snelheidsgrafiek kan afgeleid worden uit karakteristiek “a” met de volgende formules:

$$P_{\text{elektrisch}} [\text{kW}] = \frac{P_{\text{mech}} [\text{kW}]}{\eta}$$

$$I_{\text{tractie}} = \frac{P_{\text{elektrisch}}}{U} [\text{kA}]$$

$$I_{\text{Totaal}} = I_{\text{tractie}} + I_{\text{hulp}}$$

- De ED remstroom-snelheidsgrafiek kan afgeleid worden uit karakteristiek “b” met de volgende formules:

$$P_{\text{elektrisch}} [\text{kW}] = \eta \cdot P_{\text{ED}} [\text{kW}]$$

$$I_{\text{ED}} = \frac{P_{\text{elektrisch}}}{U} [\text{kA}].$$

[1] Factor van de treinweerstand die lineair met het kwadraat van de snelheid is en een constante factor vormt in de treinweerstand van de complete treinsamenstelling. Dit representeert de aerodynamische kop/staart weerstand van de treinsamenstelling.

[2] Factor van de treinweerstand per bak die lineair met het kwadraat van de snelheid is. Dit representeert de lengte-afhankelijke aerodynamische weerstand van de treinsamenstelling.

[3] De maximum opgenomen stroom als functie van de bovenleidingspanning. Dit is exclusief eventuele verdere beperkingen t.g.v. de opgenomen stroom door hulpverbruik en klimaatsystemen. Deze begrenzing heeft mogelijk tot gevolg een beperking van de trekkracht tot: $F_{\text{trek}} = I \cdot U_{\text{bvl}} \cdot \eta / V_{\text{trein}}$. Met I in [A], U_{bvl} in [V], η (rendement tractie) [-] en V_{trein} in [m/s].

[4] De maximum terug geleverde stroom als functie van de bovenleidingspanning. Deze begrenzing heeft mogelijk tot gevolg een beperking van de ED-remkracht tot: $F_{\text{ED}} = I \cdot U_{\text{bvl}} / (\eta \times V_{\text{trein}})$. Met I in [A], U_{bvl} in [V], η (rendement ED-remmen) [-] en V_{trein} in [m/s].

Treinplein geeft overigens vaak meer parameters zoals:

- Maximale snelheid;
- Asdruk op aangedreven en op niet aangedreven assen;
- Kopoppervlak;
- Adhesie op aangedreven assen.

Deze parameters zijn niet altijd essentieel voor de uitvoering van netberekeningen maar mogen wel gebruikt worden. Een aantal van deze parameters is onderliggend en input gevend voor de parameters in de gedefinieerde minimum set. Met name voor de weerstandsformule (parameter 6) geldt dat deze is gebaseerd op meerdere onderliggende parameters. De grafieken onder parameter 13 combineren tenslotte weer informatie van meerdere parameters en zijn daarmee zeer waardevol voor de netanalyse.

5.1.4 Dienstregeling.

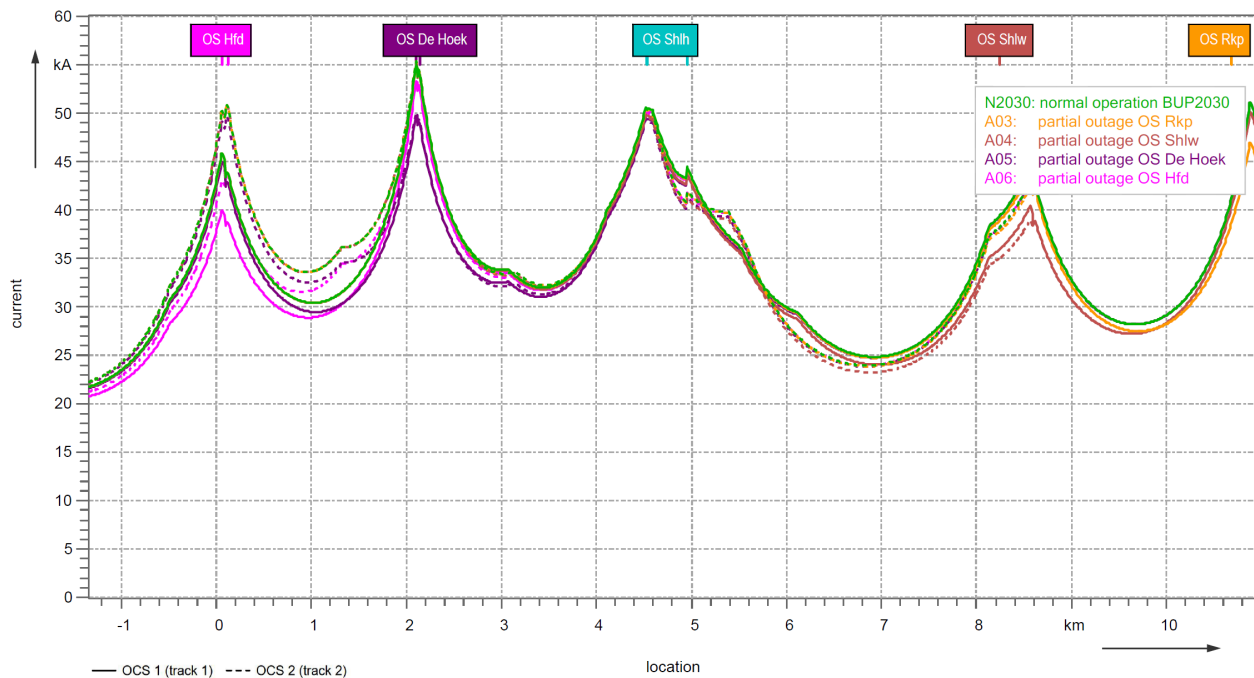
De dienstregeling dient te bestaan uit een opgave van de treinpaden in de vorm van een tijd-weg diagram en per treinpad een opgave welk materieeltype in welke samenstelling zal, of mag, worden ingezet. Deze wordt door ProRail toegeleverd.

5.1.5 Opstellen van materieel

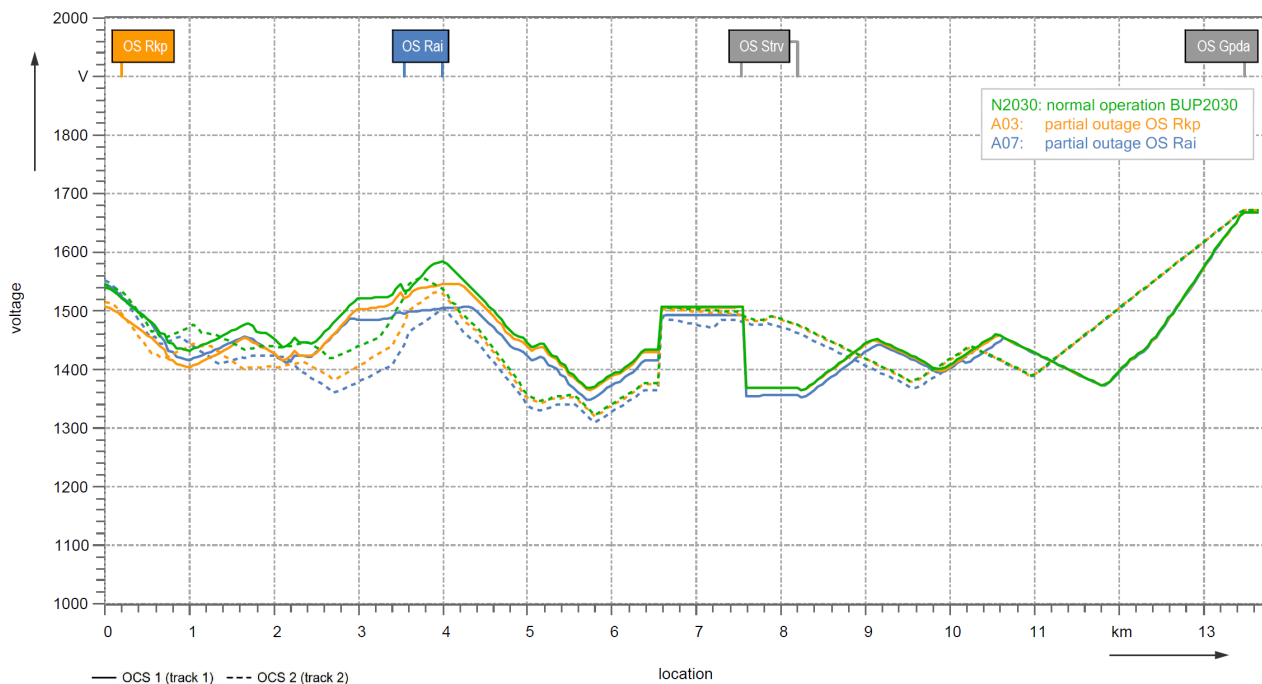
Per opstelterrein een opgave vanuit ProRail van het op te stellen materieel op basis van de fysieke capaciteit van het opstelterrein met daarbij de volgende gegevens:

- aantal bakken enkeldeks-materieel;
- aantal bakken dubbeldeks-materieel;
- hulpvermogen voor treinvoorverwarming/koeling voor enkeldeks- en dubbeldeksmaterieel in kW/bak;
- percentage dubbeldeks-bakken t.o.v. het totaal aantal op te stellen bakken;
- percentage bezetting opstelterrein tijdens dienstregeling, voor zover bekend.

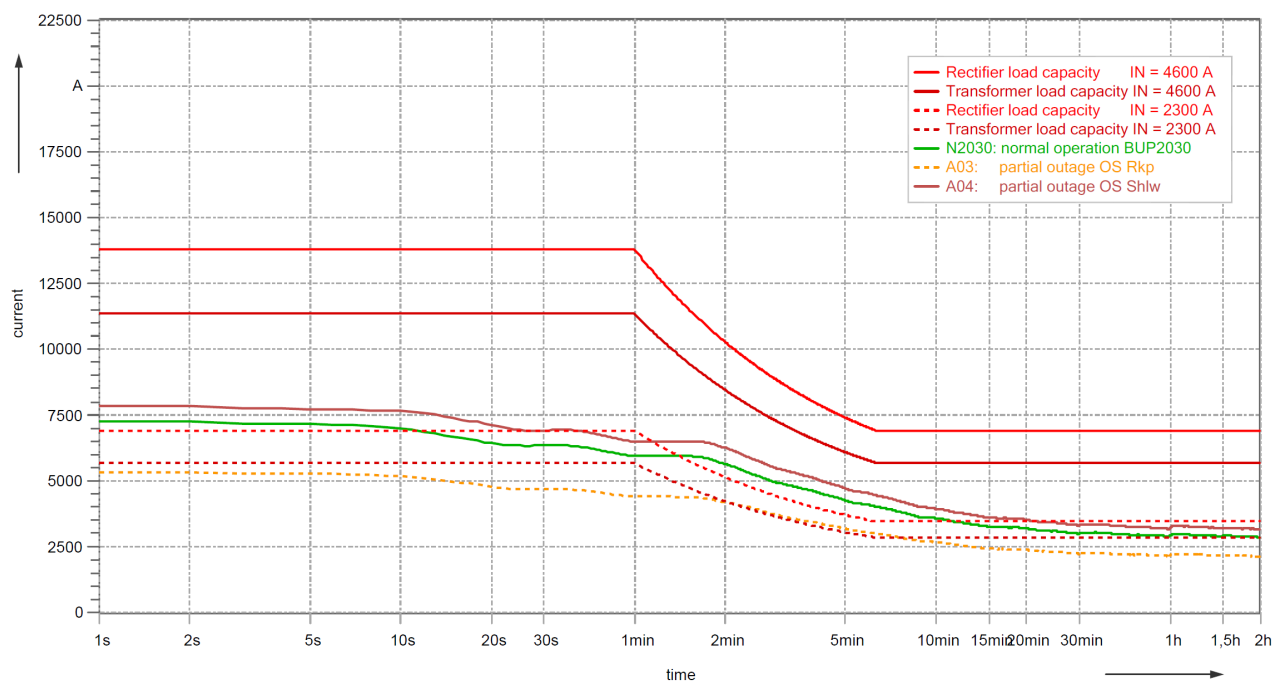
5.2 Gewenste presentatievorm



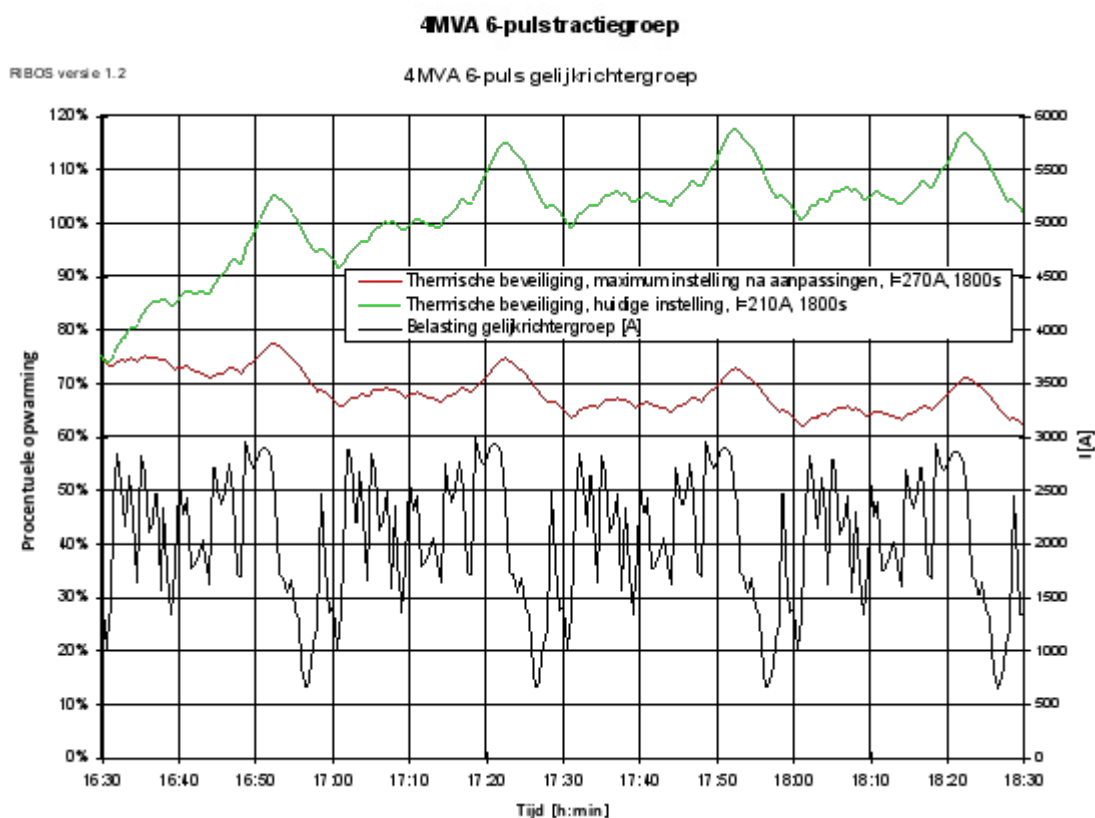
Figuur 1: Voorbeeldgrafiek: Kortsluitstroom tussen bovenleiding en spoorstaven



Figuur 2: Voorbeeldgrafiek: minimaal spanningsprofiel.

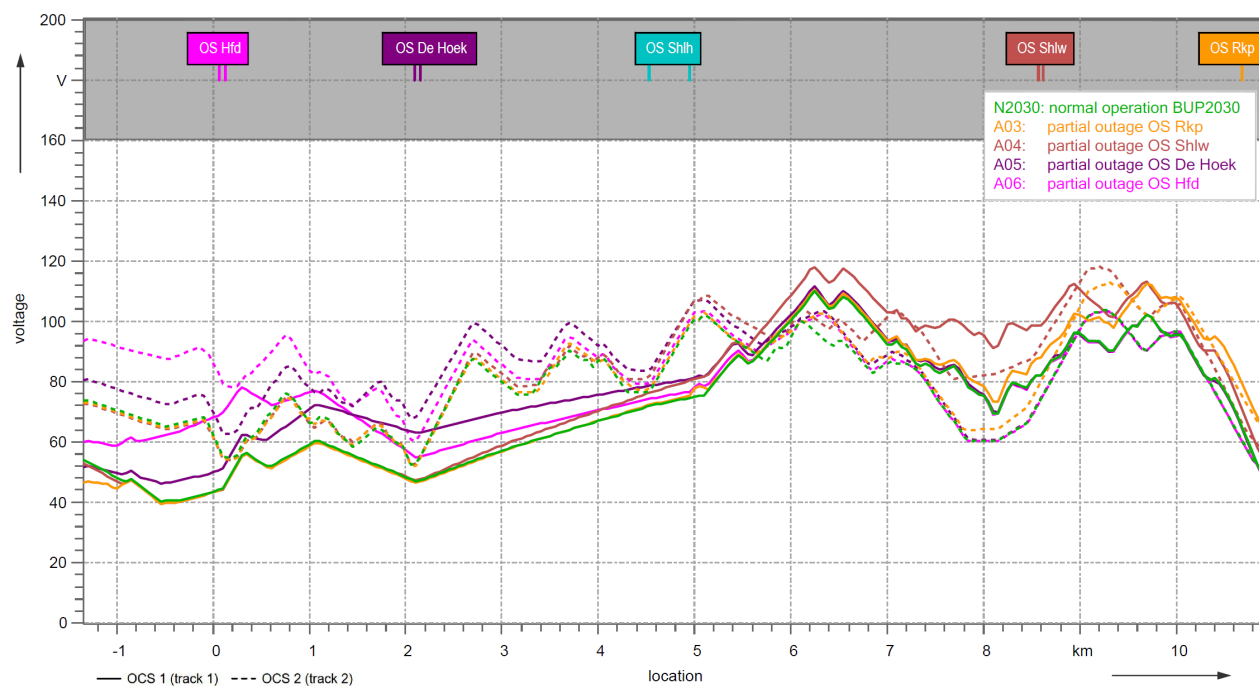


Figuur 3: Voorbeeldgrafiek: belastingduurkrommen onderstation.

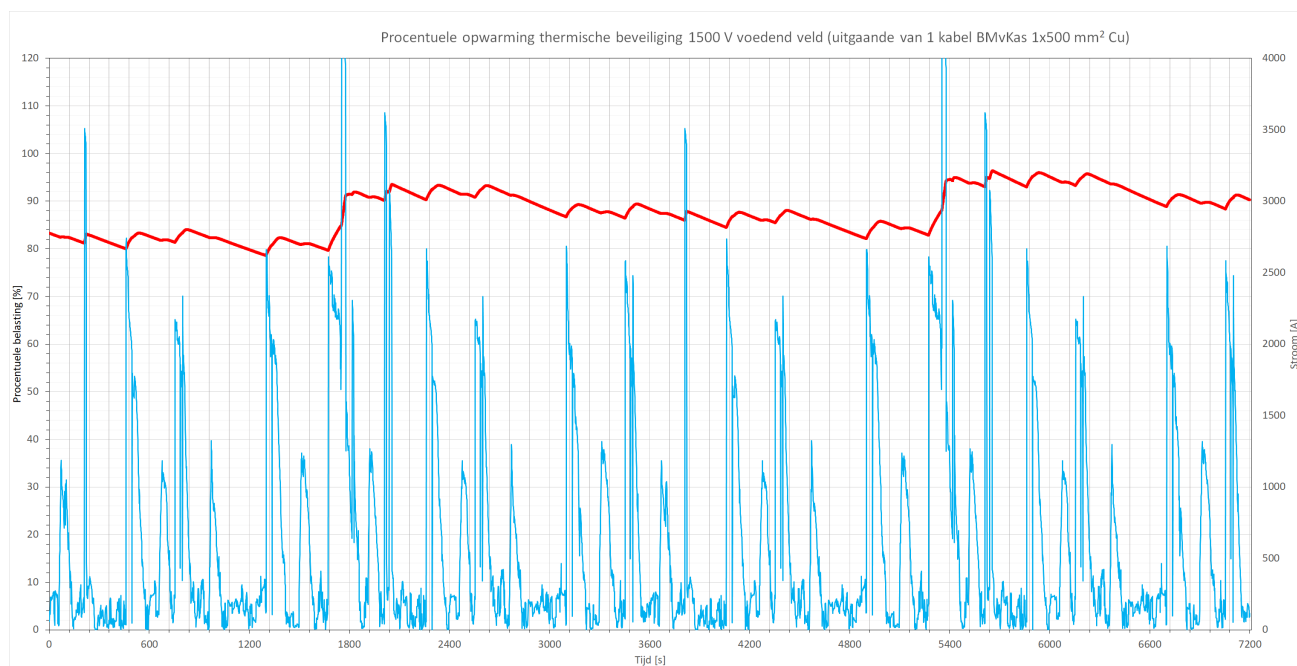


Figuur 4: Voorbeeldgrafiek: belasting en thermische beveiliging (100% = maximum).

Tractie-energievoorziening 1500 V DC Deel 4: Netanalyse



Figuur 5: Voorbeeldgrafiek: spoorstaaf-aarde potentiaal.



Figuur 6: Voorbeeldgrafiek: Thermische belasting 1500 V voedingsvelden.



Figuur 7: Voorbeeldgrafiek: geografisch overzicht.

5.3 Formules berekening thermische opwarming (informatief)

Voor thermische berekeningen gelden de volgende formules:

Opwarming als functie van de tijd:

$$T(t) = T_{Aanvang} \cdot e^{(-t/\tau)} + T_{max} \cdot (1 - e^{(-t/\tau)}) \quad (1)$$

Waarbij geldt:

$$T_{max} = T_{eind} - T_{omgeving} \quad (2)$$

$$T_{max} = \frac{P}{\alpha \cdot A} = \frac{I^2 \cdot R}{\alpha \cdot A} = I^2 \cdot \text{constante} \quad (3a)$$

Afgeleid:

$$\alpha \cdot A = \frac{I^2 \cdot R}{T_{max}} \quad (3b)$$

$$\tau = \frac{c \cdot m}{\alpha \cdot A} \quad (4)$$

Opwarming/afkoeling door stroom als functie van de tijd:

$$T(t) = T_{Aanvang} \cdot e^{(-\frac{t}{\tau})} + \left(\frac{I}{I_n}\right)^2 \cdot (1 - e^{(-\frac{t}{\tau})}) \cdot T_{max(I_n)} \quad (5)$$

Voor hoge kortsluitstromen mag uitgegaan worden van adiabatische opwarming (zonder warmte-afgifte aan de omgeving):

$$T(t) = T_{Aanvang} + \left(\frac{I}{I_k}\right)^2 \cdot t / \tau_{I_k} \cdot T_{max(I_k)} \quad (6)$$

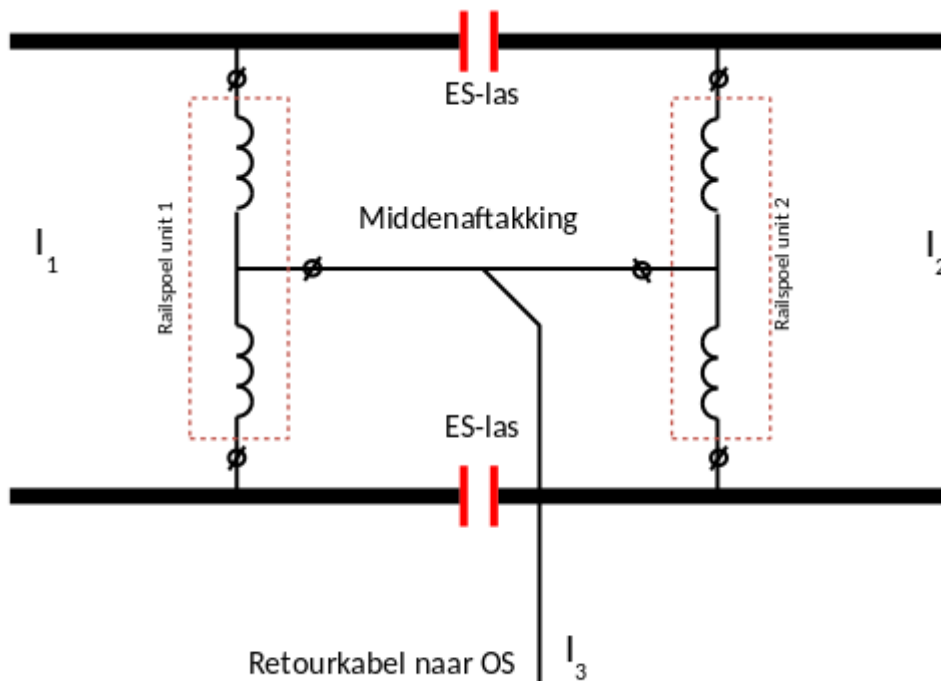
Met:

$T(t)$	Temperatuur in graden Celsius op tijdstip t ;
T_{max}	Maximale toelaatbare stationaire temperatuurverhoging geleider in graden Celsius t.o.v. omgevingstemperatuur (lucht of grond) die bereikt wordt bij gegeven stroom I : $T_{max}(I_n) = \text{temperatuurstijging die bereikt wordt door } I = I_n$. $T_{max}(I_k) = \text{temperatuurstijging die bereikt wordt door } I = I_k \text{ (kortsluitstroom) bij tijdsduur } t = \tau_{I_k} \text{ uitgaande van een adiabatisch opwarmproces (d.w.z. zonder afgifte warmte aan omgeving);}$
T_{eind}	Maximaal toelaatbare temperatuur zwakste schakel circuit die bereikt wordt bij gegeven stroom I . Voor $I = I_n$ geldt $T_{eind} = 90$ graden voor 1500 V-voedingskabel en voor kabelverbinding railspoel-spoor. Voor kortsluitstromen geldt een hogere T_{eind} (250 graden Celsius);
$T_{omgeving}$	Omgevingstemperatuur in graden Celsius;
$T_{Aanvang}$	Begintemperatuur geleider in graden Celsius, rekening houdend met voorverwarming. Op $t = 0$ sec mag voor kabels uitgegaan worden van een omgevingstemperatuur van 20 graden Celsius en 75% voorbelasting (= 20 graden Celsius + 0,75 * $T_{max}(I_n)$). Kies 90% voorbelasting ($0,9 * T_{max}(I_n)$) indien de tijdconstante van een element groter is dan 3601 seconden;
τ	thermische tijdconstante (s) zwakste schakel circuit (= instelwaarde thermische beveiliging) [BMvKas 3,6/6kV 1x500 mm ² Cu: 3600 sec; BMqK Eca 0,6/0,6 kV 1x150 mm ² AL: 2400 sec]; [1]
τ_{I_k}	Tijd die nodig is om $T_{max}(I_k)$ te bereiken bij $I = I_k$, uitgaande van een adiabatisch opwarmingsproces;

t	tijd in seconde (s);
I	de momentane stroombelasting (A) <i>Bij de retour betreft het de stroom door kabelverbinding tussen railspoeluiteinden en spoor (4x BMqK 1x150 mm² Al). In <u>Figuur 8</u> wordt de relevante stroom aangegeven met I₁ voor railspoel 1 en I₂ voor railspoel 2. De absolute waarde van stroom I₁ is gelijk aan die van I₂, indien de beide railspoelen geen aansluiting hebben via hun middenaftakking op een minuskast. De twee railspoelen in <u>Figuur 8</u> hebben wel een minusaansluiting. In dat geval hoeft I₁ en I₂ niet gelijk te zijn aan elkaar. (De stroom I₃ is niet kritisch en hoeft daarom geen analyse. De aansluiting middenaftakking railspoel-minuskast wordt namelijk uitgevoerd met minimaal 6x BMqK 1x150 mm² Al);</i>
I _n	de nominale stroomwaarde van de zwakste schakel in het circuit (= instelwaarde thermische beveiliging) [BMvKas 3,6/6kV 1x500 mm ² Cu: 1100 A, BMqK Eca 0,6/0,6 kV 1x150 mm ² AL: 375 A]; ^[2]
I _k	Kortsluitstroom (zie databladen);
R	de DC-weerstand van de geleider [Ω] per meter [39 μΩ/m voor BMvKas 3,6/6kV 1x500 mm ² Cu, 211 μΩ/m voor BMqK Eca 0,6/0,6 kV 1x150 mm ² Al];
c	soortelijke warmte [J/(kg.°K)] [Koper = 387, Aluminium = 880]
m	de massa van de geleider [kg per meter geleiderlengte] [m = soortelijke massa x volume geleider per meter lengte];
α	warmte-overgangscoëfficiënt [W/(°C.m ²)];
A	koelend oppervlak [m ²].

[1] Gebaseerd op bij Damstra lab uitgevoerde temperatuurmetingen t.a.v. genoemde retourkabelverbinding bij belasting met 1500 A. De genoemde tau-waarde hoort bij meting (d.d. 16-09-2020) met 3-4 kabels tegen elkaar aan (referentie channel 210, kabelnr. 6). Indien de kabels zijn aangesloten op de spoorstaven en op de railspoel neemt de tau-waarde van de kabels aanzienlijk toe tot zelf 5400 seconden. De spoorstaven en de twee railspoelen absorberen de warmte, waardoor het opwarmen van de kabels veel langer duurt met als gevolg een grotere tau-waarde.

[2] Hoewel NEN1010:2015, tabel 52.B.13 methode F met twee geleiders tegen elkaar 389 A specificeert, is de toelaatbare stroomwaarde op basis van uitgevoerde Damstra lab-metingen (2020) iets lager gekozen. (4x375 A = 1500 A.)



Figuur 8 Stromen I₁, I₂ en I₃ bij railspoel met aansluiting op minuskast