

## Richtlijn

*Beleid elektromagnetische beïnvloeding van  
hoogspanningsverbindingen op de hoofdspoor-  
weginfrastructuur.*

*Beherende instantie:  
Inhoud verantwoordelijke:  
Status:*

*AM Techniek  
AM Treinbeveiliging lokale systemen  
Definitief*

Datum van kracht: <b>01-12-2020</b>	Versie: <b>002</b>	Documentnummer: <b>RLN00398</b>
--	-----------------------	------------------------------------

**INHOUD**

<b>1</b>	<b>Revisiegegevens.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Algemeen .....</b>	<b>4</b>
2.1	Scope .....	4
2.2	Van kracht verklaarde voorschriften .....	4
2.3	Geraadpleegde literatuur .....	5
2.4	Definities en afkortingen .....	5
<b>3</b>	<b>Inleiding.....</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Opsomming van ongewenste gebeurtenissen.....</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>Beleid ten aanzien van hoogspanningsverbindingen .....</b>	<b>9</b>
5.1	Eisen aan hoogspanningslijnen: .....	9
5.2	Eisen aan hoogspanningskabels. ....	9
5.3	Modelstudie.....	10
<b>6</b>	<b>Uitgangspunten ten behoeve van modellering .....</b>	<b>11</b>
6.1	Algemeen .....	11
6.2	Modellering Hoogspanningsverbinding.....	11
6.3	Faalwijzen Hoogspanningsverbinding/kabel.....	12
6.4	Modellering Railinfrastructuur .....	12
6.5	Faalwijzen Railinfrastructuur.....	14
6.6	Modellering van de koppelweg .....	14
<b>7</b>	<b>Beoordelingscriteria.....</b>	<b>15</b>
	<b>Bijlage 1: B1 bovenleiding systeem geleider configuratie.....</b>	<b>17</b>
	<b>Bijlage 2: 50Hz immuniteit enkelbenige spoorstroomlopen .....</b>	<b>18</b>

## 1 Revisiegegevens

Datum	Versie	Hoofdstuk/ paragraaf	Wijziging
08-01-2013	0.17		Initiële versie voor review
13-03-2013	0.18	alle	Verwerking commentaar van technisch inhoudelijke interne en externe deskundigen
06-05-2013	0.19	Titel + hfdst 2, 3, 4, 5	Verwerking mondeling commentaar juridische toets. Hoofdstuk 5 omgewerkt tot technisch beleid van ProRail. Hierbij technische richtlijnen van interne deskundige TB verwerkt.
08-07-2013	0.20	Alle hoofdstukken	Verwerking interne review versie 0.19 door interne deskundigen TB, EV, ICT + verwerking externe review versie 0.19 door externe deskundigen + verwerking review Jurist V&C.
26-08-2013	0.21	Hfdst 2, 3, 4	Kleine tekstuele verbeteringen, zonder wijziging van de inhoud. Versie ten behoeve van validatie
8-09-2013	0.22	Hfdst 2.1, Hfdstk 5.1.5 en 5.2.3	Naar aanleiding van validatie EV: Scope explicieter gemaakt, door te benoemen dat kabels en leidingen van ProRail buiten de richtlijn vallen. Zone van 700 meter verlaagd naar 11 meter bij niet kruisende hoogspanningsverbindingen langs geëlektrificeerde sporen 25 kV, 75 Hz.
19-10-2020	1.0		Kleine wijzigingen uitgevoerd naar aanleiding van datums/versienummers geactualiseerde normen, vrijgegeven wijzigingen in OVS00111 en aangepaste RIS informatie.

## 2 Algemeen

Deze richtlijn beschrijft het beleid van ProRail met betrekking tot de toegestane elektromagnetische invloed van hoogspanningsverbindingen in beheer bij derden op de hoofdspoorweginfrastructuur in Nederland.

### 2.1 Scope

Deze richtlijn is van toepassing op hoogspanningslijnen en hoogspanningskabels — niet zijnde ProRail lijnen en kabels — met een nominale spanning van  $> 1$  kV en een nominale bedrijfsfrequentie van  $\leq 1$  kHz op, onder of boven de hoofdspoorweginfrastructuur. Tevens is de richtlijn van toepassing op hoogspanningslijnen en hoogspanningskabels — niet zijnde ProRail lijnen en kabels — in de zone buiten het terrein behorende tot de hoofdspoorweginfrastructuur, voor zover het betreft:

1. Het gebied als beschreven in artikel 20 van de Spoorwegwet<sup>1</sup>;
2. Het gebied daarbuiten, voor zover genoemde lijnen en kabels elektromagnetische invloed hebben op de spoorweginfrastructuur.

Dit document bevat de eisen aan de hoogspanningsverbindingen in beheer bij derden en geeft een onderbouwing van deze eisen. Deze onderbouwing vloeit voort uit de eisen voor de veiligheid voor personen die zich op of nabij de spoorbaan bevinden en uit de RAMSHE eisen aan de systemen en apparatuur van de hoofdspoorweginfrastructuur.

### 2.2 Van kracht verklaarde voorschriften

Ref. nr.	Naam document	Nummer	Status
[A]	Veiligheidsvoorschrift voor werkzaamheden aan (of in de nabijheid van) elektrische hoogspanningsinstallaties van ProRail, Deel 2: Aanvullende bepalingen 1500Vdc-tractie-energievoorziening (TEV), 3kV 75 Hz ac-voedingen voor treinbeheersings- en beveiligingsinstallaties (TBB)	RLN00128-2	Actueel
[B]	Wederzijdse beïnvloeding van buisleidingen en hoogspanningssystemen	NEN 3654:2012	Ontwerp
[C]	Bovengrondse elektrische lijnen boven 45 kV wisselspanning - Deel 1 en 3: Verzameling van nationale normatieve aspecten	NEN-EN 50341-1:2001 NEN-EN 50341-3:2001	Actueel, inclusief aanvullingen en correcties
[D]	Spoorwegtoepassingen - Isolatie-coördinatie - Deel 1: Basiseisen - Slagwijdten en kruipwegen voor alle elektrische en elektronische uitrusting	NEN-EN 50124-1:2001	Actueel, inclusief aanvullingen en correcties
[E]	Spoorwegen en soortgelijk geleid vervoer - Vaste installaties - Elektrische veiligheid, aarding en retourstromen - Deel 1: Eisen in verband met bescherming tegen elektrische schok	NEN-EN 50122-1:2017	Actueel, inclusief aanvullingen en correcties
[F]	Spoorwegen en soortgelijk geleid vervoer - Elektromagnetische compatibiliteit - Deel 4: Emissie en immuniteit van sein- en telecommunicatieapparatuur	NEN-EN 50121-4:2016	Actueel
[G]	Spoorwegen en soortgelijk geleid vervoer - Elektromagnetische compatibiliteit - Deel 5: Emissie en immuniteit van vast opgestelde voedingsinstallaties en apparatuur	NEN-EN 50121-5:2017	Actueel
[H]	Ontwerpvoorschrift Tractieenergievoorzieningsstelsel; Bovenleiding Bovenleidingsstelsel B1	OVS00024-5.1 V5	Actueel
[J]	Spoorwegen en soortgelijk geleid vervoer - Elektromagnetische compatibiliteit - Deel 3-1: Rollend materieel - Treinen en complete voertuigen	NEN-EN 50121-3-1:2017	Actueel

<sup>1</sup> Uittreksel artikel 20 lid 1 SPW: Bij een hoofdspoorweg wordt de begrenzing van de hoofdspoorweg ..... aan weerszijden gevormd door een lijn liggend op een afstand van elf meter.

## 2.3 Geraadpleegde literatuur

Ref. nr.	Naam document	Nummer	Status
[1]	Ello Weits, Grenswaarden voor homopolare stromen Statistische analyse van metingen aan een 110kV-kabel (Hoogeveen) en twee 220kV-lijnen (Hessenweg), Movares, Kenmerk CO-EW-120006291 - Versie 2.0, Utrecht, 13 april 2012		
[2]	R. Koopal, R.M. Paulussen, UITGANGSPUNTEN EM-BEÏNVLOEDING BETUWEROUTE - BESTAANDE PRORAIL INFRASTRUCTUUR, POBR, 29 september 2005 Versie 2.2		
[3]	Ello Weits, Jeroen van Waes, Nick Stalman, Frank Gerritsen, Uitgangspunten EM-beïnvloeding van de HSL-Zuid op de bestaande ProRail infrastructuur voor "Vrijgavetraject wijzigingen ProRail voorschriften; fase 3" t.b.v. parallelloop met de HSL-Zuid, Holland Railconsult, IF114250_320.02, Versie 2.0, 11 maart 2005		
[4]	R. Koopal, Onderbouwing werkhypothese m.b.t. GRS enkelbenige en dubbelbenige geïsoleerde spoorstroomlopen. Aanvulling voor "Vrijgavetraject wijzigingen ProRail voorschriften; fase 3" t.b.v. parallelloop met de HSL-Zuid, ProRail BB21/25kV Kenmerk BB21-25kV-060281, Versie 1.0, 11 januari 2007		
[5]	B. Vedelaar, G.W. Keijzer, M. Voesenek, Onderbouwing werkhypothese m.b.t. GRS enkelbenige- en dubbelbenige geïsoleerde spoorstroomlopen voor "Vrijgavetraject wijzigingen ProRail voorschriften; fase 3" t.b.v. parallelloop met de HSL-Zuid, Holland Railconsult, IF127500_230_3A0, Versie 1.5, 20 mei 2005		
[6]	Harm van Dijk, Toegestane 50Hz CM stroom door het spoor bij dubbelbenige spoorstroomlopen op de parallelloop met 25kV baanvakken, Movares, VS-HDI-20100122-01, versie 2, 19 maart 2010		
[7]	ITU K26 2008 (verwijzing naar Whitebook: Directives concerning the protection of telecommunication lines against harmful effects from electric power and electrified railway lines, Geneva, 2008)		
[8]	RICHTLIJN 2004/40/EG VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD van 29 april 2004 betreffende de minimumvoorschriften inzake gezondheid en veiligheid met betrekking tot de blootstelling van werknemers aan de risico's van fysische agentia (elektromagnetische velden) (18de bijzondere richtlijn in de zin van artikel 16, lid 1, van Richtlijn 89/391/EEG)	2004/40/EG	Actueel
[9]	Spanningskarakteristieken in openbare elektriciteitsnetten	NEN-EN 50160:2010	Actueel
[10]	ICNIRP GUIDELINES for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz – 100 kHz) published in: HEALTH PHYSICS 99(6):818-836; 2010		
[11]	Mail M. Nusselder/R. Koopal van 28 maart 2013		
[12]	Mail V.J.P. Plasmeijer/H. Steenkamp dd. 21 november 2012		
[13]	RICHTLIJN 2004/108/EG VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD van 15 december 2004 betreffende de onderlinge aanpassing van de wetgevingen van de lidstaten inzake elektromagnetische compatibiliteit en tot intrekking van Richtlijn 89/336/EEG	2004/108/EG	Actueel

## 2.4 Definities en afkortingen

Term	Verklaring
IB-kabel	Interlokale blokkabel t.b.v. treinbeveiligingsinstallaties
IT-kabel	Interlokale telecomkabel (telecomkabel)
OR-blad	Overzicht Retour tekening van treinbeveiligingsinstallaties
OS	Onderstation van Energievoorziening
RH	Relaishuis van Treinbeveiliging
SPW	Spoorwegwet

**Beleid elektromagnetische beïnvloeding van hoogspanningsverbindingen op de hswi**

---

EM	Elektromagnetische
EMC	Elektromagnetische compatibiliteit
VLD	Volt Limiter Device
CM	Common Mode
DM	Differential Mode
BS	Bovenkant spoorstaaf
hswi	Hoofdspoorweginfrastructuur
RAMSHE	Reliability, Availability, Maintainability, Safety, Health, Environment
TPR	Track Repeater Relais

### 3 Inleiding

In het geval van een hoogspanningsverbinding, dat wil zeggen een hoogspanningslijn of hoogspanningskabel in de nabijheid van de hswi moet rekening worden gehouden met de elektromagnetische beïnvloeding van de hoogspanningsverbinding op de hswi. Er is sprake van ontoelaatbare beïnvloeding in die gevallen dat de beïnvloeding kan leiden tot onveilige situaties voor personeel en/of de aantasting van de RAMSHE criteria van de hswi.

Deze richtlijn geeft invulling aan het beleid van ProRail in hoedanigheid van beheerder van de hswi met betrekking tot de aanleg, wijziging<sup>2</sup> en instandhouding van hoogspanningsverbindingen. Deze richtlijn zal worden gehanteerd bij de behandeling van aanvragen voor vergunning ex artikel 19 van de Spoorwegwet<sup>3</sup> maar ook reactief in geschillenprocedures in het kader van omgevingsvergunningen, bestemmingsplannen of tracébesluiten.

Hoofdstuk 4 bevat een opsomming van ongewenste gebeurtenissen ten aanzien van personen en systemen.

Hoofdstuk 5 bevat het ProRail beleid ten aanzien van hoogspanningsverbindingen in beheer bij derden.

Hoofdstuk 6 beschrijft de modellering van locatiespecifieke studies.

Hoofdstuk 7 beschrijft de beoordelingscriteria van de modelstudie.

---

<sup>2</sup> Hieronder wordt verstaan wijziging van o.a.:

- Geleiderdoorsnede;
- Geleiderpositie;
- Fasevolgorde;
- Wijze van aarding (direct, blusspoel geaard, etc);
- Maximale fasestroom en homopolaire stroom in normal bedrijf en/of kortsluitsituaties;
- Tracé hoogspanningslijn;
- Aantal circuits per mast.

<sup>3</sup> Uittreksel artikel 19 lid 1 SPW: Het is verboden zonder vergunning ..... binnen de begrenzing van de hoofdspoorweg aan, op, in, onder, boven of naast de hoofdspoorweg, bouwwerken of andere opstellen op te richten of werken, inrichtingen, kabels, leidingen ..... aan te brengen, te doen aanbrengen of te hebben, dan wel daarmee verband houdende werkzaamheden uit te voeren of te doen uitvoeren.

## **4 Opsomming van ongewenste gebeurtenissen**

In het geval van een hoogspanningsverbinding boven of in de nabijheid van de hswi moet rekening worden gehouden met de risico's van elektromagnetische beïnvloeding van de hoogspanningsverbinding op de hswi.

Wanneer de beïnvloeding te groot wordt kan dit leiden tot onveilige situaties, verstoring van de functionaliteit van de hswi en/of de treindienstregeling of versnelde veroudering van de hswi.

Spoorvoertuigen kunnen ook hinder ondervinden van de beïnvloeding van hoogspanningsverbindingen. Daar waar dit beïnvloedingsmechanisme bekend is, is dit in deze richtlijn aangegeven. Algemeen geldt dat voldaan moet worden aan de Europese richtlijn 2004/108/EG [13] die geldt voor de elektromagnetische beïnvloeding.

De volgende ongewenste gebeurtenissen worden onderscheiden:

1. gevaar voor electrocutie van personen op spoorwegterrein
  - a) Personen kunnen blootgesteld worden aan te hoge aanraakspanningen, bijvoorbeeld bij het aanraken van metalen objecten en het werken aan kabels en (boven-)leidingen;
  - b) Personen kunnen blootgesteld worden aan capacitieve ontladingen, bijvoorbeeld bij het aanraken van metalen objecten en het werken aan kabels en (boven-)leidingen.
2. beïnvloeding van systemen in de hswi
  - a) De goede werking van treindetectiecircuits, van het type spoorstroomlopen, kan verstoord worden door 50Hz verzadiging;
  - b) Spoorvoertuigen kunnen ten gevolge van de 50Hz-beïnvloeding, te hoge 75Hz stroomstromen produceren en daarmee de goede werking van treindetectie verstoren;
  - c) Relaisschakelingen met diode (bijv. grendel/HRDR) kunnen verstoord worden door 50Hz beïnvloeding;
  - d) Apparatuur kan ten gevolge van te hoge 50Hz spanningen defect raken bij kortsluitingen in het hoogspanningsnet;
  - e) Overspanningsbeveiligingen kunnen defect raken ten gevolge van 50Hz beïnvloeding.

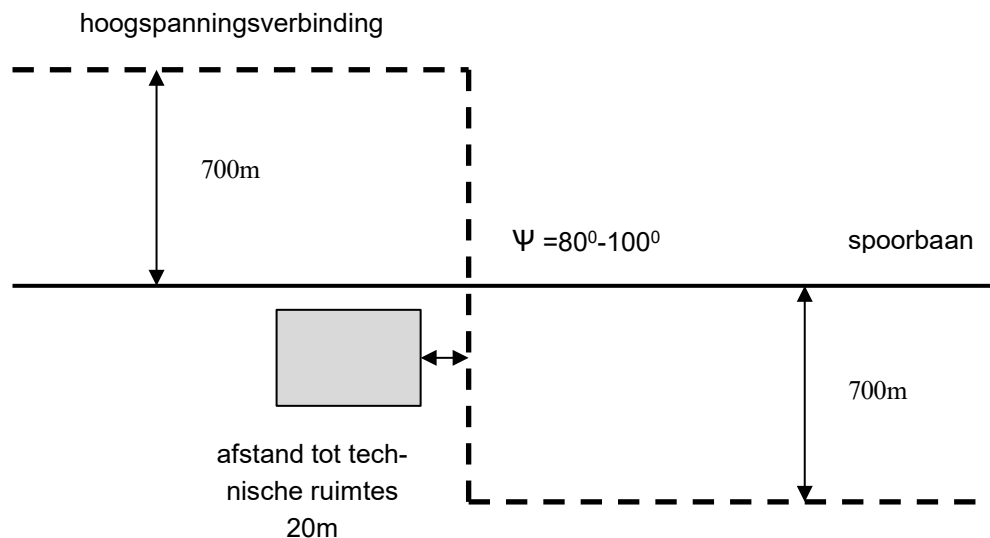


## 5 Beleid ten aanzien van hoogspanningsverbindingen

Er wordt onderscheid gemaakt tussen de eisen aan hoogspanningslijnen en hoogspanningskabels. Indien niet aan de eisen wordt voldaan, dient te worden gehandeld volgens het bepaalde in 5.3.

### 5.1 Eisen aan hoogspanningslijnen:

1. De hoogspanningslijn dient de spoorbaan haaks te kruisen met een hoek  $\Psi$ , waarbij  $80 \leq \Psi \leq 100$  graden, zie figuur 1;
2. De minimale afstand (clearance) van de hoogspanningslijn tot de bovenleiding dient te voldoen aan NEN-EN 50341-1:2001 en NEN-EN 50341-3:2001;
3. De hoogspanningslijn dient in het kruisende veld met de spoorbaan dubbelzijdig afgespannen te zijn, in verband met kans op breuk;
4. Een eerste orde lijnfout dient binnen maximaal 100 ms afgeschakeld te zijn;
5. Niet kruisende hoogspanningslijnen;
  - a. Niet kruisende hoogspanningslijnen mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van – horizontaal gemeten – 700 m uit het hart van de buitenste spoorbaan;
  - b. In afwijking van punt 5a geldt een afstand van 11 meter bij geëlektrificeerde sporen met een tractiespanning van 25 kV, 50 Hz;
6. De blootstelling van de mens conform NEN EN 50341-3:2001[C], mag niet meer bedragen dan 100  $\mu$ T op 1 m boven BS;
7. Hoogspanningsmasten mogen niet worden geplaatst binnen een afstand van ten minste 31 m uit het hart buitenste spoor (20+ 11);
8. Hoogspanningslijnen mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van – horizontaal gemeten – 20 m vanaf de dichtst bij zijnde gevel van een technische ruimte.



Figuur 1

### 5.2 Eisen aan hoogspanningskabels.

1. De hoogspanningskabel dient de spoorbaan haaks te kruisen met een hoek  $\Psi$ , waarbij  $80 \leq \Psi \leq 100$  graden, zie figuur 1;
2. Een eerste orde kabelfout dient binnen maximaal 100 ms afgeschakeld te zijn;
3. Niet kruisende hoogspanningskabels met een nominale spanning van  $\geq 35$  kV:
  - a. Niet kruisende hoogspanningskabels met een nominale spanning van  $\geq 35$  kV mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van 700 m vanaf het hart van het buitenste spoor;
  - b. In afwijking van punt 3a geldt een afstand van 11 meter bij geëlektrificeerde sporen met een tractiespanning van 25 kV, 50 Hz;

4. Niet kruisende drie-aderige hoogspanningskabels met een nominale spanning < 35 kV mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van 11 m vanaf het hart buitenste spoor;
5. Niet kruisende enkelfasige hoogspanningskabels in driehoek ligging met een nominale spanning van < 35 kV mogen niet aanwezig zijn in het gebied binnen een afstand van 11 m vanaf het hart buitenste spoor;
6. Hoogspanningskabels mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van 20 m gemeten vanaf de dichtst bij zijnde gevel van een technische ruimte;
7. Kabels dienen in een elektrisch geïsoleerde buis onder het spoor doorgevoerd te worden;
8. Binnen een afstand van ten minste 31 m uit het hart buitenste spoor (20+ 11) mogen zich geen aardpunten of moffen bevinden.

### **5.3 Modelstudie**

Indien de hoogspanningslijnen, c.q. de hoogspanningskabels niet aan de bovengenoemde eisen voldoen, dan dient een lokatiespecifieke studie plaats te vinden. De studie dient conform de uitgangspunten van de modellering van Hoofdstuk 6 plaats te vinden. De uitkomsten dienen te worden beoordeeld op basis van Hoofdstuk 7. Indien de hoogspanningsverbinding niet aan de beoordelingscriteria voldoet, dient nader overleg plaats te vinden tussen betrokken partijen over de verdere maatregelen. Hierbij kan sprake zijn van bijvoorbeeld een tracéwijziging of het verhogen van de immuniteit van de ProRail installaties voor de EM-velden.

Resultaten uit de modelstudie dienen aannemelijk te worden gemaakt. Maatregelen worden als opties gepresenteerd en de voorgestelde maatregelen dienen te worden afgestemd met ProRail bij voorkeur na advies van een ingenieurs bureau dat door ProRail erkend is voor zowel werkzaamheden aan de beveiliging als werkzaamheden aan tractievoeding.

Indien de resultaten van de modelstudie na maatregelen minder dan 50% van de meest bepalende susceptibiliteitsniveau bedraagt dienen de resultaten aannemelijk te worden gemaakt door deze te vergelijken met een referentie studie.

Indien de resultaten van de modelstudie tussen de 50% en 80% van de susceptibiliteitsniveau bedraagt dienen de resultaten aannemelijk te worden gemaakt door middel van een tweede ingenieursbureau dat in een vergelijkende studie de resultaten kan reproduceren waarbij alleen verklaarbare verschillen over mogen blijven. Hogere niveaus kunnen bij verwachte langzame opbouw en permanent monitoren van zowel het spoor als de hoogspanningsverbinding.

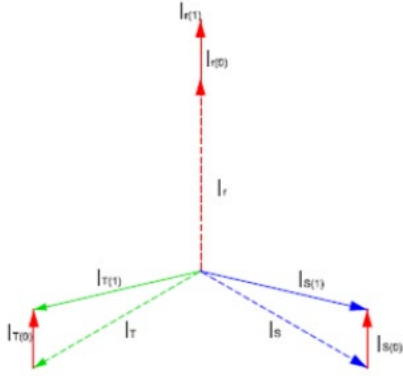
## 6 Uitgangspunten ten behoeve van modellering

### 6.1 Algemeen

Nr.	Uitgangspunt	Bron, achtergrond en toelichting
G1	Elektrakabels mogen geen elektromagnetische invloed hebben op de veilige exploitatie van de hswi.	Witte Boekje Art 52: Elektrakabels mogen geen elektromagnetische invloed hebben op de veilige exploitatie van de spoorweg.
G2	Indien een nieuwe hoogspanningsverbinding een bijdrage levert van maximaal 20% van het beoordelingscriterium voor alle bedrijfstoestanden, uitgezonderd kortsluitingen, behoeven niet alle bestaande verbindingen te worden gemodelleerd. Bij hogere bijdrage moeten ook de bestaande verbindingen binnen een afstand van 1x de indringdiepte in de grond worden meegenomen in de berekeningen.	Hier is gekozen voor 20% conform Ontwerp-NEN3654;2012 Bijlage D. [B] De indringdiepte wordt geacht 700 meter te zijn.
G3	Drie-aderige hoogspanningskabels <35kV mogen buiten beschouwing gelaten worden, indien het technisch onmogelijk is dat er een homopolaire stroom loopt.	Bijvoorbeeld indien het een drie aderige kabel betreft, waarbij ten minste één zijde van de kabel in driehoek is geschakeld.
G4	Capacitieve beïnvloeding: Dit wordt niet berekend.	Capacitieve beïnvloeding is geregeld in de overige ProRail regelgeving, zowel ten aanzien van de werkvoorschriften onder en in de omgeving van hoogspanningsverbindingen, als voor de ontwerpvoorschriften voor het plaatsen van geleidende objecten onder en in de omgeving van hoogspanningsverbindingen. [A]

### 6.2 Modellering Hoogspanningsverbinding

Nr.	Uitgangspunt	Bron, achtergrond en toelichting
T1	De hoogspanningslijn/kabel wordt gemodelleerd volgens het werkelijke mastbeeld/werkelijke kabelbed.	
T2	<p>Bij hoogspanningslijnen dient voor het bepalen van de elektrische en magnetische velden bij een spoorlijn, rekening gehouden te worden met de minimale hoogten van de geleiders volgens het ontwerp. De minimale hoogte van de geleiders is gebaseerd op de hoogste temperatuur, de hoogten van de masten en de afstand tussen de masten.</p> <p>Voor de mechanische beïnvloeding dient met breuk in één van de velden in een vak, niet zijnde het kruisende veld, rekening te worden gehouden met een grotere zeeg. Toepassing van speciale ophangingen (halfverankeringen) of afspanningen aan beide zijden van de kruising kunnen het extra doorhangen van de geleiders bij breuk in een ander veld verkleinen. De minimale afstand boven spoorstaven bij breuk dient te voldoen aan NEN-EN 50341-3, art. 5.4.5.3. [C].</p> <p>Voor het berekenen van de inductieve beïnvloeding van een hoogspanningslijn wordt de hoogte van de geleiders berekend door de gemiddelde ophanghoogte van een geleider aan beide zijden van het veld te verminderen met 2/3 deel van de maximale zeeg.</p>	Bij geleiderbreuk wordt de hoogspanningslijn direct (normaliter binnen 100 msec) afgeschakeld. In de praktijk wordt hier voor wat betreft de elektrische beïnvloeding dan ook geen rekening mee gehouden. Voor mechanische beïnvloeding (minimale afstand boven de spoorstaven en boven het bovenleidingsstelsel) moet er echter wel rekening mee worden gehouden.
T3	<p>Bij de berekening van lijnen en kabels dient minimaal rekening worden gehouden met:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>De maximale stroombelasting bij normaal bedrijf per circuit;</li> <li>De maximale stroombelasting bij afwijkend bedrijf per circuit (onderhoud);</li> <li>De maximale één- en driefasen kortsluitstromen.</li> </ul>	<p>Onder onderhoud wordt verstaan de situatie dat bij het uitschakelen van een verbinding het totale vermogen wordt overgenomen door de overblijvende verbinding(en).</p> <p>Opmerking: Indien de netbeheerder de stroom/het kortsluitvermogen laat toenemen boven de berekende waarden, dan dient deze situatie opnieuw bij ProRail aangemeld te worden.</p>

	Kortsluitingen in grondkabels ten gevolge van werkzaamheden worden niet gemodelleerd.	
T4	<p>Bij de berekening dient minimaal rekening worden gehouden met 10% homopolaire stroom bij:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bij normaal bedrijf per circuit;</li> <li>• Bij afwijkend bedrijf per circuit (onderhoud).</li> </ul> <p>Als uitgangspunt voor de homopolaire stroom wordt 10% van de maximale stroom gehanteerd.</p> <p>De homopolaire stroom dient op alle drie de stroomvectoren te worden injecteert om deze zonder inverse component in het circuit aan te brengen.</p> 	<p>Op basis van het dossier Hoogeveen Beilen is 9% gedefinieerd als maximale onbalans.</p> $(I_R + I_S + I_T) / (3I_B) \quad [1].$ <p>10% Homopolaire stroom hoeft niet te worden meegenomen als dit door de netwerktopologie fysiek onmogelijk is bijvoorbeeld door het tenminste niet aarden sterpunt aan één zijde van de verbinding. Netwerkbeheerder dient hiervoor onafhankelijk getoetste onderbouwing te leveren.</p>
T5	De gebieden dienen te worden gespecificeerd waar een eerste orde lijn- of kabelfout niet binnen 100 msec afgeschakeld wordt.	<p>Hierbij dient rekening gehouden worden met het type hoofdbeveiliging, of er communicatie tussen de stations aanwezig is en of deze redundant is. Daarnaast dient rekening gehouden te worden met de eigen tijd van de vermogensschakelaar.</p> <p>De kans op falen van de vermogensschakelaar/relais tijdens een kortsluiting wordt voldoende klein geacht.</p>

### 6.3 Faalwijzen Hoogspanningsverbinding/kabel

Nr.	Uitgangspunt	Bron, achtergrond en toelichting
FT1	<p>Bij kortsluitingen dient rekening te worden gehouden met:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 fase kortsluitingen;</li> <li>• 3 fasen kortsluitingen.</li> </ul>	De aanvrager dient aan te geven welke faalwijzen van toepassing zijn.

### 6.4 Modelling Railinfrastructuur

Nr.	Uitgangspunt	Bron, achtergrond en toelichting
P1	<p>De minimale afstand (clearance) van de hoogspanningslijn tot de bovenleiding dient te voldoen aan NEN-EN 50341-3 [C].</p> <p>Bovenleiding systeem geleider configuratie: zie bijlage 1.</p>	Voor de modelling wordt bovenleidingsysteem B1 toegepast.
P2	Locaties van onder- en schakelstations dienen conform vigerende OR bladen te worden gemodelleerd.	OR bladen kunnen opgevraagd worden bij de Servicedesk Infra Informatie via 088-231 2990 of <a href="mailto:infra informatie@prorail.nl">infra informatie@prorail.nl</a> .
P3	Locaties van dwarsverbindingen dienen conform vigerende OR bladen te worden gemodelleerd.	OR bladen kunnen opgevraagd worden bij de Servicedesk Infra Informatie via 088-231 2990 of <a href="mailto:infra informatie@prorail.nl">infra informatie@prorail.nl</a> .

## Beleid elektromagnetische beïnvloeding van hoogspanningsverbindingen op de hswi

P4	Afleidweerstand van spoorstaven: beschouwd worden configuraties met een spoorstaaf-aarde weerstand van 100, 10 en 2.5 $\Omega$ km.	Genoemde waarden zijn per spoorstaaf.
P5	Retour van DC baanvakken worden afgesloten met een karakteristieke impedantie van: $Z_{\text{afsluit}} = \sqrt{(R_{\text{afleid}} \times Z_{\text{langs}})}$	$Z_{\text{langs}}$ (voor 50Hz) berekenen uit de som van de parallelle impedantie van de spoorstaven en het retourpad aarde waarbij: <ul style="list-style-type: none"> <li>Impedantie spoorstaven: 0,044 <math>\Omega</math>/km per spoorstaaf</li> <li>retour pad aarde bij 50Hz: (0,050 + j 0,880) <math>\Omega</math>/km (nog te onderbouwen in een volgende uitgave)</li> </ul> Modellering van $Z_{\text{langs}}$ mag ook op basis van meetwaarden.
P6	De minimale 50 Hz onderstationsimpedantie (tussen bovenleiding en spoorstaven) op het 1500 VDC-baanvak is: (0,007 + j0,082) $\Omega$ .	Zie [2]
P7	Bij het recuperen van een trein (energie terug leveren) kan de gelijkrichter in een onderstation sperren.	Voor 50Hz stromen, gedraagt het onderstation zich dan als een open verbinding; de 50Hz spanning tussen bovenleiding en spoor is dan maximaal.
P8	Voor de afstand van het kabelbed tot het hart van het buitenspoor dient 4.5m meter te worden gehanteerd.	
P9	Het kabelbed bij parallelloop bevat: 3kV 75 Hz kabel (2x16) met een aardscherm van 16 mm <sup>2</sup> . De 3kV kabel is tweezijdig geaard bij de onderstations. De totale DC weerstand van de kabelmantel en twee aardverspreidingsweerstand is 7,5 $\Omega$ . IB-kabel (62 x 0,8 aderig), zwevend uitgevoerd. IT kabel: Gearmeerde PIWY-IT-kabel met een kabelscherm van 30 mm <sup>2</sup> , zwevend uitgevoerd.	Conform [2], [3]. Voor de modellering wordt de 3kV kabel geacht te lopen van OS naar OS. Voor de modellering worden de IB en IT kabel geacht te lopen van RH naar RH. De totale DC weerstand van de kabelmantel en twee aardverspreidingsweerstand kan variëren van 5 tot 10 $\Omega$ . De berekeningen hoeven slechts te worden uitgevoerd met 7,5 $\Omega$ . Omdat de mantel van de 3kV kabel verbonden is met de metalen HS kast is deze spanning voor generiek publiek toegankelijk.
P10	Voor de diepte van de kabelgeul dient 1,2m onder BS (0,6 m onder maaiveld) te worden gehanteerd. Hierin liggen de IB en IT kabel. De 3kV kabel dient hier 0.3 m onder worden verondersteld.	De feitelijke diepte van de kabelgeul is: tussen de 0,9m en de 1,5m onder BS. Voor de modellering wordt het gemiddelde toegepast. Uitgegaan wordt van een maximale breedte van de geul van 60 cm.
P11	DM spanning kabels De magnetische beïnvloeding bij circuitaders in één kabel mag verwaarloosbaar worden verondersteld.	Circuitaders in gescheiden kabels worden buiten beschouwing gelaten.
P12	CM spanning kabels Om de worst case spanning te verkrijgen, dienen in de modellering de kabelcircuits aan één zijde te worden geaard.	Indien het scherm of de ader van een kabelcircuit aan één zijde aan aarde ligt, zal de hoogste spanning tussen een ader van de IB-kabel en aarde of tussen het scherm van de IT-kabel en aarde komen te staan.

## 6.5 Faalwijzen Railinfrastructuur

Opmerking: Daar waar mogelijk dient gebruik gemaakt te worden van een Worst Case benadering.

Nr.	Uitgangspunt	Bron, achtergrond en toelichting
FP1	Er bevindt zich een defecte VLD-O <sup>4</sup> in de railinfrastructuur. Bij een defect ontstaat hier een verbinding spoorstaaf aarde met een afleidweerstand van 0.25 $\Omega$ .	Bij kruisingen moet de 50 Hz stroom via aarde lokaal binnentreden. Een aardfout is hierbij maatgevend.  Een VLD-O wordt toegepast bij kunstwerken en kan een zeer lage afleidweerstand hebben. Bij aanwezigheid stalen bruggen, betonnen kunstwerken doorrekenen met 0.25 $\Omega$ .
FP2	Er bevindt zich een defecte paalspoorstaafverbinding. Bij een defect ontstaat hier een verbinding spoorstaaf aarde met een afleidweerstand van 2.5 $\Omega$ . Gerekend dient te worden met 4 defecte paalspoorstaafverbindingen behorende bij 4 opeenvolgende bovenleidingpalen.	Bij afwezigheid van een VLD-O zullen paalspoorstaafverbindingen maatgevend zijn. Paalspoorstaafverbindingen worden bij elk metalen portaal van een bovenleidingveld toegepast. Deze gaan echter veelvuldig defect en als deze defect gaan betreft het vaak meerdere velden achter elkaar. Daarom wordt uitgegaan van 4 defecte paalspoorstaafverbindingen.
FP3	Er bevindt zich een tweede defecte VLD-O (zie FP1) op afstand met een afleidweerstand van 0.25 $\Omega$ (modelleren als lopende aardfout).	Bij parallelloop kan een verder gelegen aardfout een hefboompje vormen waarmee de spanning omhoog gaat. Ook hier is de VLD-O maatgevend. Een aardfout op afstand komt in de praktijk altijd voor. Deze 0.25 $\Omega$ aardfout is aanwezig in de parallel lopende spoorbaan.

## 6.6 Modelleren van de koppelweg

Nr.	Uitgangspunt	Bron, achtergrond en toelichting
K1	De soortelijke weerstand van de grond bedraagt vanaf 30m diepte 70 $\Omega$ m.  Indien meetwaarden bekend zijn van de grond tot op indringdiepte, dan kunnen deze meetwaarden worden gehanteerd.	Er wordt met een homogeen bodemmodel gerekend, identiek aan het HSL uitgangspunten document [3].
K2	De soortelijke weerstand $\rho E$ van de toplaag kan variëren tussen de 10 $\Omega$ m en 1000 $\Omega$ m.	Onder toplaag wordt verstaan tot 30m diepte.

<sup>4</sup> Voltage Limiter Device type O, Zie NEN-EN50122-1[E]

## 7

## Beoordelingscriteria

Nr.	Uitgangspunt	Bron, achtergrond en toelichting
B1	<p>CM beoordeling railinfra (Spoorstroomlopen: type Enkelbenig zijn bepalend).</p> <p>Beoordelingscriterium voor continue verschijnselen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Max 20 <math>V_{CM}</math>;</li> <li>Max 58 <math>A_{CM}</math>.</li> </ul>	<p>Continue verschijnselen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>20V OVS60111-2 hoofdstuk 5.5 (Oud OV231.116 blad 2) 700m op basis van 2A criterium met 10<math>\Omega</math> aardfout [uitzoeken];</li> <li>58A OVS60111-3 hoofdstuk 3.3 (Oud OV231.112 blad 4) 700m op basis van 2A. Zie [4].</li> </ul> <p>Let op: Voor 50 Hz spoorstroomlopen (OVS60111-6,7) geldt een criterium van 0,5 A.</p> <p>Kortere spoorstroomlopen mogen worden beoordeeld op de immuniteit behorende bij de lengte van de spoorstroomloop conform Bijlage 2 "50Hz immuniteit enkelbenige spoorstroomlopen" mits met de beheerder overeen gekomen is dat dit ook in de toekomst is geborgd en op de OR bladen een parallelloop met een hoogspanningslijn is gemarkeerd.</p>
	<p>CM beoordeling railinfra (Spoorstroomlopen: type Enkelbenig zijn bepalend).</p> <p>Beoordelingscriterium voor kortsluitverschijnselen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Max 65 <math>V_{CM}</math> voor verschijnselen &gt;100 msec en <math>\leq</math>500 msec;</li> <li>Max 58 <math>A_{CM}</math> voor verschijnselen &gt;100 msec en <math>\leq</math>500 msec.</li> </ul> <p>Indien beveiliging staat op een clearance time <math>\leq</math>100msec dan hoeven kortsluitingen ten behoeve van EB spoorstroomlopen niet te worden beoordeeld.</p>	<p>Kortsluitverschijnselen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>OVS60111-2 hoofdstuk 5.5 (Oud OV231.116 blad 2) op maximale lengte 600m heeft deze een immuniteit van 65V. Zie [5];</li> <li>58A OVS60111-3 hoofdstuk 3.3 (Oud OV231.112 blad 4) 700m op basis van 2A criterium (nog te onderbouwen). Zie [5].</li> </ul>
B2	<p>CM beoordeling railinfra (voor baanvakken met alleen dubbelbenige spoorstroomlopen):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Max 65 <math>V_{CM}</math> voor verschijnselen langer dan 100 msec;</li> <li>Max 250 <math>A_{CM}</math> voor verschijnselen langer dan 100 msec.</li> </ul>	<p>Zie [6]</p> <p>Indien beveiliging staat op een clearance time <math>\leq</math>100msec dan hoeven kortsluitingen ten behoeve van dubbelbenige spoorstroomlopen niet te worden beoordeeld.</p>
B3	<p>CM spanning anders railinfra apparatuur:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>150V continue;</li> <li>650V 100 msec.</li> </ul>	<p>NEN-EN 50124-1:2001, inclusief aanvullingen en correcties [D].</p>
B4	<p>Psomometrische stoorspanning op modemverbindingen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Maximaal -45dBm voor dataverbindingen;</li> <li>Maximaal 10Ap in bovenleiding.</li> </ul> <p>Definities conform NEN-EN 50121-3-1, Annex A [J].</p>	<p>Telecom verbindingen kunnen worden beïnvloed door geïnduceerde spanningen. CM spanning die op aderen worden geïnduceerd vertalen zich via kleine asymmetrieën in de apparatuur [7]. In eerste benadering kan worden aangenomen dat de LCL van de apparatuur -46dB is.</p> <p>Ook is bij toelating van treinen altijd geëist dat de psometrische stroom onder de 10Ap ligt. Telecom verbindingen verdwijnen (invoering GSM en verglazing) maar deze waarden geven ook een bescherming tegen netresonantie en beïnvloeding van lussen.</p> <p>Voor normale verbindingen is deze eis nooit maatgevend; echter wanneer deze verbinding aansluit op een HVDC verbinding of een grootverbruiker met veel vermogenslektronica, (bijvoorbeeld een aluminium fabriek, hoogovens, e.d.) wordt een nadere toetsing verwacht.</p>
B5	<p>50Hz spanningscomponent in de 1500 VDC tractiespanning:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Maximaal 16V/40V (&gt;1s) (beschikbaarheid/veiligheid).</li> </ul>	<p>Rijdend materieel kan bij een 50 Hz spanningscomponent in de 1500V DC tractiespanning, problemen in de railinfrastructuur veroorzaken. In de RIS is opgenomen dat materieel bij een</p>

		<p>50V<sub>50Hz</sub> spanning onder de 5.3A<sub>75Hz</sub> blijft. Voor bestaand materieel is dit vastgelegd in [3].</p> <p>Voor enkelbenige spoorstroomlopen wordt een grenswaarde van 1.7A/4.25A ( <math>T &gt; 1.8s</math> ) (beschikbaarheid/veiligheid) gehanteerd. Wanneer deze lineair worden geschaald (aanname), dan komt men uit op een spanning van 16V/40V.</p> <p>1s tijd is gebaseerd op aanwezigheid TPR.</p>
B6	Aanraakspanning kabelmantel-aarde en spoorstaven-aarde conform NEN-EN 50122-1:2011, inclusief aanvullingen en correcties [E]	NEN-EN 50122 deel 3 wordt in het kader van deze berekeningen niet gehanteerd. Volstaan wordt met de waarden genoemd in NEN-EN 50122-1 [12].
B7	<p>Magneetvelden conform:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>NEN-EN 50121-4 [F]</li> <li>NEN-EN 50121-5 [G]</li> </ul> <p>Maximale Power Frequency Magnetic Field dient een factor 10 lager te zijn dan de immuniteitswaarden uit de norm.</p>	Risico oudere apparatuur is niet getest. Er zijn geen aanwijzingen dat dit een probleem hoeft te zijn. Aangenomen wordt dat alle apparatuur aan de norm voldoet.
B8	Elektrische velden van een hoogspanningslijn mogen tot een hoogte van ten minste 1 m boven het hoogste punt van een spoorlijn niet groter zijn dan 10 kV/m, rekening houdend met de nominale spanning van de hoogspanningslijn, vermeerderd met 10% (hoogste systeemspanning) en rekening houdend met de maximale asymmetrie van 1%.	<p>Voor blootstelling van werknemers aan 50 Hz elektrische velden is in richtlijn 2004/40/EG [8] van het Europees Parlement en de Raad een actiewaarde van 10 kV/m gegeven. Om zonder aanvullende maatregelen toch werkzaamheden te kunnen uitvoeren in en nabij een spoorlijn, moet in het gebied waarbinnen zich tijdens uitvoering van werkzaamheden mensen kunnen begeven, het elektrische veld kleiner zijn dan deze actiewaarde.</p> <p>Uit praktische overwegingen wordt ervan uitgegaan dat zich tot een hoogte van 1 m boven het hoogste punt van onderdelen van de spoorlijn mensen kunnen bevinden.</p> <p>De Netcode Elektriciteit van 4 maart 2012 verwijst voor de kwaliteit van de transportdienst naar NEN 50160:2000 [9]. Hieruit is af te leiden dat de spanning in het hoogspanningsnet maximaal 10% hoger kan zijn dan de nominale spanning. De asymmetrie (spanning) is beperkt tot 1% (inverse component <math>\leq 1\%</math> van de normale component gedurende 99,9% van de over 10 minuten gemiddelde waarden gedurende een beschouwingsperiode van een week).</p>
B9	100 $\mu$ T op 1 m boven maaiveld.	<p>Volgens de ICNIRP richtlijn voor Limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz – 100 kHz), gepubliceerd in Health Physics 99(6):818-836; 2010 [10] moet voor algemene bevolking rekening worden gehouden met een grenswaarde van 200 <math>\mu</math>T en voor beroepsbevolking (occupational exposure) 500 <math>\mu</math>T.</p> <p>IN NEN-EN 50341-3 (art. 5.6.1) [C] is aanbevolen om op 1 m boven maaiveld een grenswaarde te hanteren van 100 <math>\mu</math>T.</p>



**Bijlage 1: B1 bovenleiding systeem geleider configuratie**

Zie ook OVS000024-5.1 [H].

1500 Vdc-sporen	Weerstand [Ω/km]	Diameter [mm]	x coördinaat [m]	y coördinaat [m]
spoorstaaf 1 spoor 1	0.044	9.60	-2,72	0.05
spoorstaaf 2 spoor 1	0.044	9.60	-1,28	0.05
draagkabel spoor 1	0.121	1.36	-2	8.50
rijdraad 1 spoor 1	0.183	1.20	-2,02	5.50
rijdraad 2 spoor 1	0.183	1.20	-1,98	5.50
versterkingsgeleider spoor 1	0.121	1.36	-5,22	8.50
spoorstaaf 1 spoor 2	0.044	9.60	2,72	0.05
spoorstaaf 2 spoor 2	0.044	9.60	1,28	0.05
draagkabel spoor 2	0.121	1.36	2	8.50
rijdraad 1 spoor 2	0.183	1.20	2,02	5.50
rijdraad 2 spoor 2	0.183	1.20	1,98	5.50
versterkingsgeleider spoor 2	0.121	1.36	5,22	8.50

**Bijlage 2: 50Hz immuniteit enkelbenige spoorstroomlopen**

Spoorstroomlopen in ATB gebied mogen worden beoordeeld op de maximale lengte met ATB volgens OV231.101 mits:

- De daadwerkelijke lengte korter is dan maximale lengte.

*Tabel 1: maximale toegestane spoorstroomloop lengtes bij nieuwbouw.*

		Zonder ATB			Met ATB					
					Normaal			Met condensator		
					Code			Code		
		norm. sectie	ovw sectie	met condensator	V+R zijde	V zijde	R zijde	V+R zijde	V zijde	R zijde
Max. sectie-lengte (m)	normaal	≤ 620	≤ 55	≤ 700	≤ 300	≤ 400	≤ 340	≤ 300	≤ 600	≤ 550
	nabij O.S.	≤ 350	≤ 55	≤ 700	≤ 150	≤ 200	≤ 170	≤ 300	≤ 600	≤ 550
OV 231. blad		111	111	115	112	112	112	116	116	116
		2	3	2	2	3	4	B1-1	B1-2	B1-3

Kortere spoorstroomlopen mogen worden beoordeeld op de immuniteit behorende bij de daadwerkelijke lengte van de spoorstroomloop conform mits:

- Dit met de beheerder overeen gekomen is zodat dit ook in de toekomst is geborgd en
- Op de OR bladen een parallelloop met een hoogspanningslijn is gemarkeerd.

De lengte afhankelijk immuniteit is voor de common mode stroom gegeven in tabel 2 en spoorstaaf aarde spanning in tabel 3.

Voor kortsluitingen langer dan 100ms maar korter dan 500ms mag worden gerekend met de immuniteiten volgens tabel 4 voor de stromen door de spoorstaven en tabel 5 voor de spoorstaaf aarde spanning.

Tabel 2: Berekende 50Hz stoorstroom immuniteit EB spoorstroomlopen [A] (max. stoorstroom door relais 2A)

OV Blad	231.111 2	231.111 3	231.112 2	231.112 3	231.112 4	231.115 -	231.116 B-1	231.116 B-2	231.116 B-3
Lengte (m)	I <sub>max</sub> , 50Hz, door tractiebeen (A)								
0-25	2113	1006	1405	2113	1405	1839	1346	1886	1346
25-50	1057	504	661	1057	703	920	673	943	673
50-75	705	336	469	705	469	613	449	629	449
75-100	529	253	352	529	352	460	337	472	337
100-125	423		302	423	282	368	270	378	270
125-150	353		251	353	235	307	225	315	225
150-175	303		216	303	202	263	193	270	193
175-200	265		189	265	176	230	169	236	169
200-225	235		191	235	157	205	150	210	150
225-250	212		172	212	141	184	135	189	135
250-275	193		156	193	129	168	123	172	123
275-300	177		143	177	118	154	113	158	113
300-325	163		141	163	117	142		146	104
325-350	152		131	152	108	132		135	97
350-375	142		122	142	101	123		126	90
375-400	133		114	133	95	116		118	85
400-425	101		114		89	109		111	80
425-450	95		108		84	103		105	76
450-475	90		102		80	97		100	72
475-500	86		97		76	93		95	68
500-525	82		92		72	88		90	65
525-550	78		88		69	84		86	62
550-575	75		84		66	81		82	
575-600	72		81		63	77		79	
600-625	69		78		65	74			
625-650	66		75		63	71			
650-675	64		72		60	69			
675-700	62		70		58	66			

Tabel 3: Berekende 50Hz immuniteit EB spoorstroomlopen spoorstaaf aarde spanning [V] bij 10Ω aardfout en 2.5Ωkm afleidweerstand (bij 2A stoorstroom door TR relais)

lengte	231.111 bl2	231.111 bl3	231.112 bl2	231.112 bl3	231.112 bl4	231.115	231.116 bl b1-1	231.116 bl b1-2	231.111 bl3
25	62,1	58,6	51,4	33,4	44,1	53,5	38,3	48,5	62,4
50	58,7	54,5	48,1	31,4	41,5	51,7	36,5	45,7	61,4
75	55,7	51,0	45,4	29,6	39,3	50,2	35,1	43,4	60,4
100	53,2	48,0	42,8	28,1	37,3	48,9	32,6	37,7	59,5
125	51,0		40,9	26,8	35,7	47,8	31,5	36,1	58,6
150	49,1		39,1	25,7	34,2	46,8	30,6	34,6	57,7
175	47,5		37,6	24,7	33,0	45,9	29,8	33,4	56,8
200	46,0		36,2	23,8	31,8	45,1	27,9	28,9	56,0
225	44,6		35,1	23,0	30,8	44,4	27,3	28,0	55,2
250	43,4		34,1	22,3	29,9	43,8	26,7	27,1	54,5
275	42,3		33,2	21,7	29,1	43,2	26,1	26,4	53,7
300	41,3		33,6	21,7	28,9	42,7	25,7	24,1	53,0
325	40,4		32,9	21,2	28,2	42,3	25,2	23,5	52,3
350	39,6		32,2	20,6	27,6	41,8	24,8	23,0	51,7
375	38,8		31,6	20,2	27,1	41,4	24,4	22,5	51,0
400	33,4		31,9	19,7	26,5	41,1	24,1	22,0	50,4
425	32,8		31,4		26,0	40,7	23,8	21,5	49,8
450	32,2		30,9		25,6	40,4	23,5	21,1	49,2
475	31,7		30,4		25,2	40,1	23,2	20,8	48,6
500	31,2		30,6		24,8	39,9	23,0	20,4	48,0
525	30,7		30,2		24,4	39,6	22,7	20,1	
550	30,3		29,8		24,1	39,4	22,5	19,8	
575	29,9		29,4		23,8	39,2	22,3	19,5	
600	29,5		30,0		25,2	38,9	22,1	19,2	
625	29,1		29,6		24,9	38,7	21,9	18,9	
650	28,8		29,3		24,6	38,6	21,7	18,7	
675	28,4		28,9		24,4	38,4	21,6	18,5	
700	28,1		28,6		24,1	38,2	21,4	18,2	

Tabel 4: Berekende 50Hz stoorstroom immuniteit EB spoorstroomlopen [A] in faalbedrijf (max. stoorstroom door relais 2A)

OV Blad	231.111 2	231.111 3	231.112 2	231.112 3	231.112 4	231.115 -	231.116 B-1	231.116 B-2	231.116 B-3
Lengte (m)	I <sub>max</sub> , 50Hz, door tractiebeen (A)								
0-25	2113	1006	1405	2113	1405	1839	1346	1886	1346
25-50	1057	504	661	1057	703	920	673	943	673
50-75	705	336	469	705	469	613	449	629	449
75-100	529	253	352	529	352	460	337	472	337
100-125	423		302	423	282	368	270	378	270
125-150	353		251	353	235	307	225	315	225
150-175	303		216	303	202	263	193	270	193
175-200	265		189	265	176	230	169	236	169
200-225	235		191	235	157	205	150	210	150
225-250	212		172	212	141	184	135	189	135
250-275	193		156	193	129	168	123	172	123
275-300	177		143	177	118	154	113	158	113
300-325	163		141	163	117	142		146	104
325-350	152		131	152	108	132		135	97
350-375	142		122	142	101	123		126	90
375-400	133		114	133	95	116		118	85
400-425	101		114		89	109		111	80
425-450	95		108		84	103		105	76
450-475	90		102		80	97		100	72
475-500	86		97		76	93		95	68
500-525	82		92		72	88		90	65
525-550	78		88		69	84		86	62
550-575	75		84		66	81		82	
575-600	72		81		63	77		79	
600-625	69		78		65	74			
625-650	66		75		63	71			
650-675	64		72		60	69			
675-700	62		70		58	66			

Tabel 5: Berekende 50Hz immuniteit EB spoorstroomlopen spoorstaaf aarde spanning [V] bij 2.5Ωkm afleidweerstand voor kortsluiting.

lengte	231.111 bl2	231.111 bl3	231.112 bl2	231.112 bl3	231.112 bl4	231.115	231.116 bl b1-1	231.116 bl b1-2	231.111 bl3
25	490,1	555,4	447,8	285,5	369,2	430,9	334,2	391,3	2738,3
50	255,3	282,4	230,1	147,1	190,7	231,2	175,8	203,2	1374,1
75	177,0	191,4	157,6	101,0	131,2	164,7	123,0	140,5	919,3
100	137,9	145,9	118,3	77,9	101,5	131,4	93,7	101,1	691,8
125	114,4		97,3	64,1	83,7	111,5	78,2	83,5	555,4
150	98,8		83,3	54,9	71,8	98,2	67,9	71,7	464,4
175	87,6		73,3	48,3	63,3	88,7	60,6	63,4	399,4
200	79,2		63,3	43,3	56,9	81,6	53,1	52,0	350,6
225	72,7		58,0	39,5	52,0	76,0	48,9	47,5	312,7
250	67,5		53,7	36,4	48,0	71,6	45,6	43,8	282,4
275	63,2		50,2	33,9	44,8	68,0	42,9	40,9	257,6
300	59,6		48,8	33,0	42,5	65,0	40,6	36,4	236,9
325	56,6		46,3	31,1	40,2	62,5	38,6	34,3	219,4
350	54,0		44,2	29,5	38,3	60,3	37,0	32,6	204,4
375	51,8		42,3	28,1	36,7	58,4	35,6	31,1	191,4
400	44,6		41,6	26,9	35,2	56,7	34,3	29,8	180,0
425	42,9		40,2		33,9	55,3	33,2	28,6	170,0
450	41,5		38,9		32,8	54,0	32,2	27,6	161,1
475	40,2		37,8		31,7	52,8	31,3	26,7	153,1
500	39,0		37,7		30,8	51,8	30,5	25,8	145,9
525	37,9		36,7		30,0	50,9	29,8	25,1	
550	36,9		35,8		29,2	50,0	29,2	24,4	
575	36,1		35,0		28,6	49,2	28,6	23,8	
600	35,2		35,6		30,1	48,5	28,0	23,2	
625	34,5		34,9		29,5	47,8	27,5	22,7	
650	33,8		34,2		28,9	47,2	27,1	22,2	
675	33,2		33,6		28,3	46,7	26,7	21,8	
700	32,6		33,0		27,8	46,1	26,3	21,3	