

**Gaia LV network design**

**Negengeleiderloadflow**

o6-161 pmo

7 november 2006

© Phase to Phase BV, Arnhem, Nederland. Alle rechten voorbehouden.

Dit document bevat vertrouwelijke informatie. Overdracht van de informatie aan derden zonder schriftelijke toestemming van of namens Phase to Phase BV is verboden. Hetzelfde geldt voor het kopiëren van het document of een gedeelte daarvan.

Phase to Phase BV is niet aansprakelijk voor enige directe, indirecte, bijkomstige of gevolgschade ontstaan door of bij het gebruik van de informatie of gegevens uit dit document, of door de onmogelijkheid die informatie of gegevens te gebruiken.

**INHOUD**

1	Inleiding .....	4
2	Modelling .....	5
3	Model van de LS-combikabel .....	7
4	Structuur geïntegreerd OV-net .....	8
5	Conclusies .....	14

## 1 INLEIDING

## Onderhoud en ontwikkeling

- 1995
  - Veiligheidsberekeningen met fase, nul, aarde
- 2003
  - Introductie vijfgeleiderloadflow
- 2007
  - Introductie negengeleiderloadflow
  - Rekenen aan geïntegreerde OV-netten
  - Veiligheid en spanningshuishouding
  - Belastbaarheid blijft bepaald door hoofdaders

In 1995 is Gaia begonnen met een model voor één fase, een nul en een afscherming voor de aardingsveiligheidsberekening.

In het kabelmodel was al rekening gehouden met de asymmetrie van de LS-kabel. Later is de netbelastingsberekening daaraan toegevoegd.

In 2003 is de vijfgeleiderloadflow geïntroduceerd. Deze uitbreiding had geen invloed op de aardingsveiligheidsberekening en de netbelastingsberekening, maar er werd een nieuwe loadflowberekening toegevoegd voor netten met asymmetrische belastingen. Later zijn daar de kortsluit- en spanningsvastheidsberekeningen aan toegevoegd.

In 2007 wordt hard gewerkt aan de ontwikkeling van de negengeleiderloadflow. Dit maakt het mogelijk berekeningen uit te voeren aan LS-netten met een geïntegreerd OV-net.

Diverse klanten hebben in het verleden methodes bedacht om te rekenen aan OV. De meeste aandacht gaat daarbij uit naar veiligheid en spanningshuishouding. Om aan de OV-netten te kunnen rekenen werden speciale kabels gemodelleerd om de hulpaders te representeren. Met de negengeleiderloadflow is het niet langer nodig voor berekening aan OV een net te ontwerpen met kabels die alleen uit hulpaders bestaan.

De belastbaarheid is bij combikabels in de praktijk geen probleem. De optimalisatie blijft zich richten op de hoofdaders.

- De negengeleiderloadflow is nog steeds een driefasenloadflow
  - Drie fasengeleiders
  - Nul
  - Afscherming
  - Vier hulpaders
- Nieuw kabelmodel
- Nieuwe invoer en presentatie van resultaten

De negengeleiderloadflow is rekentechnisch voor de loadflow, kortsluit- en veiligheidsberekeningen geen nieuwe uitdaging. Het blijven berekeningen aan drie fasen en een retour. De netten met drie fasengeleiders, nul en afscherming worden uitgebreid met vier hulpaders. Alle negen geleiders beïnvloeden elkaar doordat zij in één gecombineerde kabel voorkomen. De moeilijkheid zit in het nieuwe kabelmodel en de vele combinatiemogelijkheden en hun invloed op de invoer en de presentatie van resultaten.

## Nieuw kabelmodel

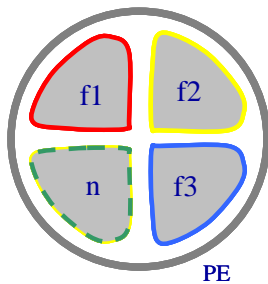
- Combinatie LS-kabels
  - Aluminium geleiders: 50, 95, 150 mm<sup>2</sup>
  - Koperen hulpaders: 2½, 6 mm<sup>2</sup>
- Specifieke OV-kabels



De gebruikelijke LS-kabel met vier aders en een eventuele afscherming wordt uitgebreid met vier hulpaders. De hulpaders moeten op de knooppunten worden gekoppeld aan de fasen. De OV kan op de hulpaders en de nul worden aangesloten.

Naast deze combikabel wordt ook de mogelijkheid ingebouwd om de OV verlichting op een eigen OV-kabel aan te sluiten.

## Model van de LS-kabel

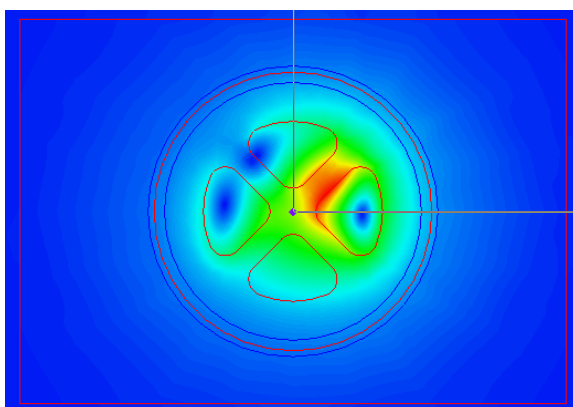


$Z_{f_1}$	$Z_{f_1 f_2}$	$Z_{f_1 f_3}$	$Z_{f_1 n}$	$Z_{f_1 PE}$
$Z_{f_2 f_1}$	$Z_{f_2}$	$Z_{f_2 f_3}$	$Z_{f_2 n}$	$Z_{f_2 PE}$
$Z_{f_3 f_1}$	$Z_{f_3 f_2}$	$Z_{f_3}$	$Z_{f_3 n}$	$Z_{f_3 PE}$
$Z_{n f_1}$	$Z_{n f_2}$	$Z_{n f_3}$	$Z_n$	$Z_{n PE}$
$Z_{PE f_1}$	$Z_{PE f_2}$	$Z_{PE f_3}$	$Z_{PE n}$	$Z_{PE}$

- Modelling aders in de LS-kabel:
  - Impedanties van de fasen
  - Impedantie van de nul is gelijk aan die van de hoofdader
  - Mutuele koppelingen tussen de aders onderling en met afscherming

De oorspronkelijke LS-kabel bestaat uit vier gelijke geleiders voor de drie fasen en de nul. De eigenschappen van deze kabel zijn verzameld in een 5x5 matrix. Op de diagonaal staan de zelfimpedanties van de geleiders en de afscherming. Naast de diagonaal staan de mutuele impedanties tussen de geleiders onderling en tussen de geleiders en de afscherming. De zelfimpedanties van de fasengeleiders zijn alle gelijk. De zelfimpedantie van de nulgeleider is gelijk aan de zelfimpedantie van de fasengeleiders. In de mutuele koppelingen is verschil tussen de impedantie van twee naast elkaar gelegen geleiders en de impedantie tussen twee tegenover elkaar gelegen geleiders.

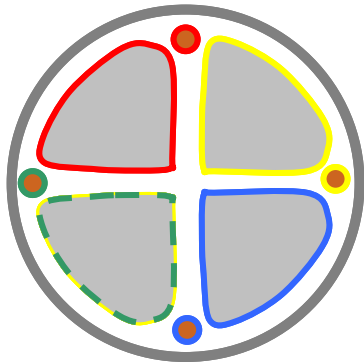
## Veldsterkte bij 5 geleiders



De berekeningen van de impedantiematrix van de kabels is uitgevoerd met een programma voor magnetische veldsterktes. Uit de onderlinge elektromagnetische beïnvloeding van de geleiders en afscherming wordt de magnetische veldsterkte bepaald. Hieruit kan de impedantiematrix worden berekend.

De magnetische veldsterkte binnen een kabel wisselt met de frequentie. De afbeelding geeft hoe groot de magnetische veldsterkte tussen twee fasengeleiders op een bepaald tijdstip is.

3 MODEL VAN DE LS-COMBIKABEL



$Z_{f1}$	$Z_{f1f2}$	$Z_{f1f3}$	$Z_{f1n}$	$Z_{f1PE}$	$Z_{f1h1}$	$Z_{f1h2}$	$Z_{f1h3}$	$Z_{f1h4}$
$Z_{f2f1}$	$Z_{f2}$	$Z_{f2f3}$	$Z_{f2n}$	$Z_{f2PE}$	$Z_{f2h1}$	$Z_{f2h2}$	$Z_{f2h3}$	$Z_{f2h4}$
$Z_{f3f1}$	$Z_{f3f2}$	$Z_{f3}$	$Z_{f3n}$	$Z_{f3PE}$	$Z_{f3h1}$	$Z_{f3h2}$	$Z_{f3h3}$	$Z_{f3h4}$
$Z_{nf1}$	$Z_{nf2}$	$Z_{nf3}$	$Z_n$	$Z_{nPE}$	$Z_{nh1}$	$Z_{nh2}$	$Z_{nh3}$	$Z_{nh4}$
$Z_{PEf1}$	$Z_{PEf2}$	$Z_{PEf3}$	$Z_{PEn}$	$Z_{PE}$	$Z_{PEh1}$	$Z_{PEh2}$	$Z_{PEh3}$	$Z_{PEh4}$
$Z_{h1f1}$	$Z_{h1f2}$	$Z_{h1f3}$	$Z_{h1n}$	$Z_{h1PE}$	$Z_{h1}$	$Z_{h1h2}$	$Z_{h1h3}$	$Z_{h1h4}$
$Z_{h2f1}$	$Z_{h2f2}$	$Z_{h2f3}$	$Z_{h2n}$	$Z_{h2PE}$	$Z_{h2h1}$	$Z_{h2}$	$Z_{h2h3}$	$Z_{h2h4}$
$Z_{h3f1}$	$Z_{h3f2}$	$Z_{h3f3}$	$Z_{h3n}$	$Z_{h3PE}$	$Z_{h3h1}$	$Z_{h3h2}$	$Z_{h3}$	$Z_{h3h4}$
$Z_{h4f1}$	$Z_{h4f2}$	$Z_{h4f3}$	$Z_{h4n}$	$Z_{h4PE}$	$Z_{h4h1}$	$Z_{h4h2}$	$Z_{h4h3}$	$Z_{h4}$

Het oorspronkelijke kabelmodel kon worden beschreven met een 5x5 matrix. Het model van de combikabel moet worden beschreven met een 9x9 matrix. De waarden van de impedanties en de mutuele koppelingen kunnen worden berekend indien de constructie van de kabel bekend is.

In het datamodel van Gaia wordt opgenomen:

- $Z_f = R_f + j X_f$  : zelfimpedantie van een geleider
- $Z_{fn} = R_{fn} + j X_{fn}$  : mutuele koppeling naast elkaar gelegen geleiders
- $Z_{ft} = R_{ft} + j X_{ft}$  : mutuele koppeling tegenover elkaar gelegen geleiders
- $Z_{PE} = R_{PE} + j X_{PE}$  : zelfimpedantie van de afscherming
- $Z_{fPE} = R_{fPE} + j X_{fPE}$  : mutuele koppeling geleider en afscherming
  
- $Z_h = R_h + j X_h$  : zelfimpedantie van een hulpader
- $Z_{hnn} = R_{hnn} + j X_{hnn}$  : mutuele koppeling geleider en naastgelegen hulpader
- $Z_{hnt} = R_{hnt} + j X_{hnt}$  : mutuele koppeling geleider en tegenovergelegen hulpader
- $Z_{hnn} = R_{hnn} + j X_{hnn}$  : mutuele koppeling naast elkaar gelegen hulpaders
- $Z_{ht} = R_{ht} + j X_{ht}$  : mutuele koppeling tegenover elkaar gelegen hulpaders
- $Z_{hPE} = R_{hPE} + j X_{hPE}$  : mutuele koppeling hulpader en afscherming

## Nieuwe invoer

- Diverse koppelmogelijkheden
  - Combikabel aan LS-rek
  - Doorgaande verbinding
  - Parallelschakeling hulpaders
  - Aftakking naar een OV-net
- Diverse aansluitmogelijkheden
  - Op eigen OV-net (f-f of f-n)
  - Op combikabel (h-n)

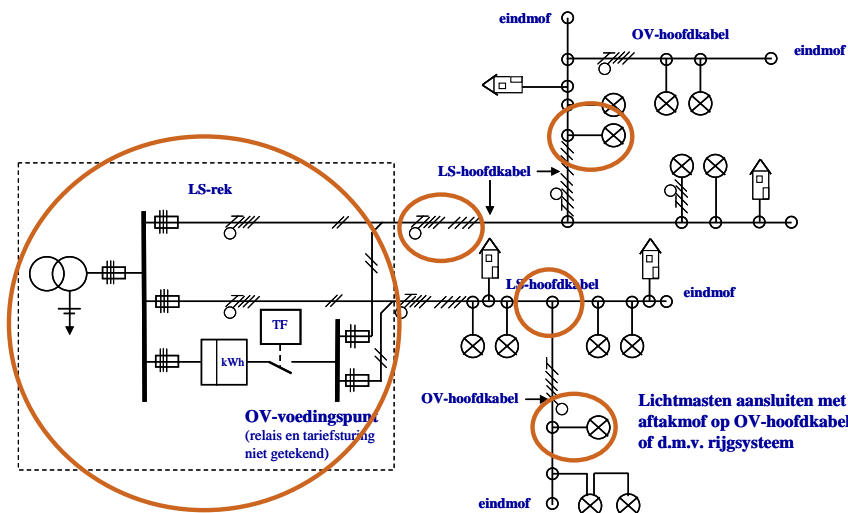
De invoer wordt uitgebreid omdat er veel meer koppel- en aansluitmogelijkheden zijn. Overal in het net kunnen hulpaders aan de hoofdaders worden gekoppeld. Hiermee is het mogelijk om:

- een combikabel op een LS-rek aan te sluiten,
- een doorgaande verbinding te maken, zelfs met verwisseling van de hulpaders,
- hulpaders parallel te schakelen en
- aftakkingen naar een eigen OV-net te modelleren.

Het aantal aansluitmogelijkheden is in de praktijk veel minder dan theoretisch mogelijk. De OV belasting kan in een eigen OV-net worden aangesloten tussen een fase en de nul en tussen twee fasen. Bij een combikabel kan de OV-belasting alleen tussen een hulpader en de nul worden aangesloten.

Voor diegenen, die niet met OV willen werken is er de mogelijkheid om de OV in- en uitvoer te onderdrukken.

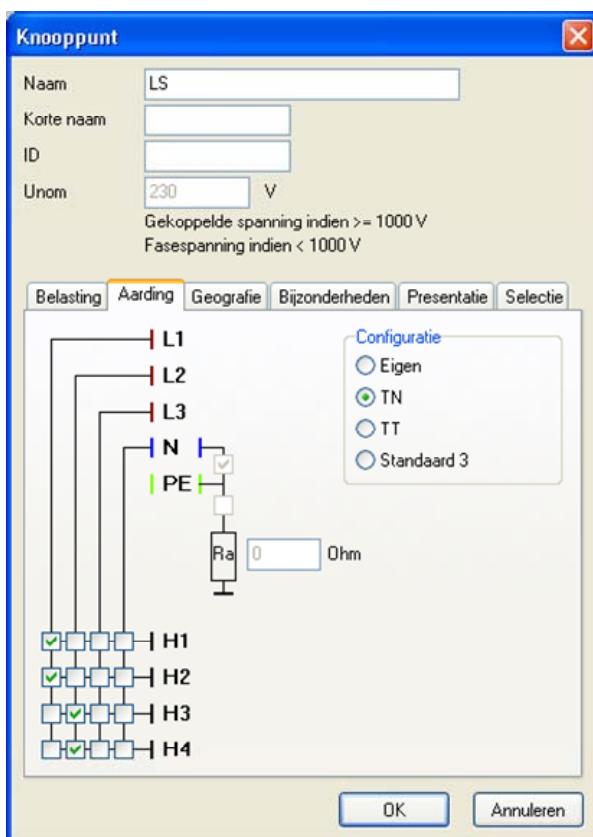
### 4 STRUCTUUR GEÏNTEGREERD OV-NET





In de illustratie is de structuur van een geïntegreerd OV-net weergegeven. Zichtbaar is de aansluiting op het LS-rek. Hiervan is de separate beveiliging zichtbaar. De beveiliging van de hoofdaders en de hulpaders wordt ook in Gaia apart gespecificeerd. Een doorverbinding kan worden gemaakt. Per kabel kunnen schakelaars in aders en hulpaders worden geopend en gesloten. Een aftakking van een combikabel naar een eigen OV-net kan worden gerealiseerd door de hulpaders van de combikabel op de hoofdaders van het OV-net te koppelen. Eveneens zichtbaar zijn de verschillende uitvoeringsvormen van aansluiten van de lichtmasten op het net. Er komt voorlopig geen voorziening voor het rijgsysteem.

## Koppeling combikabel op LS-rek

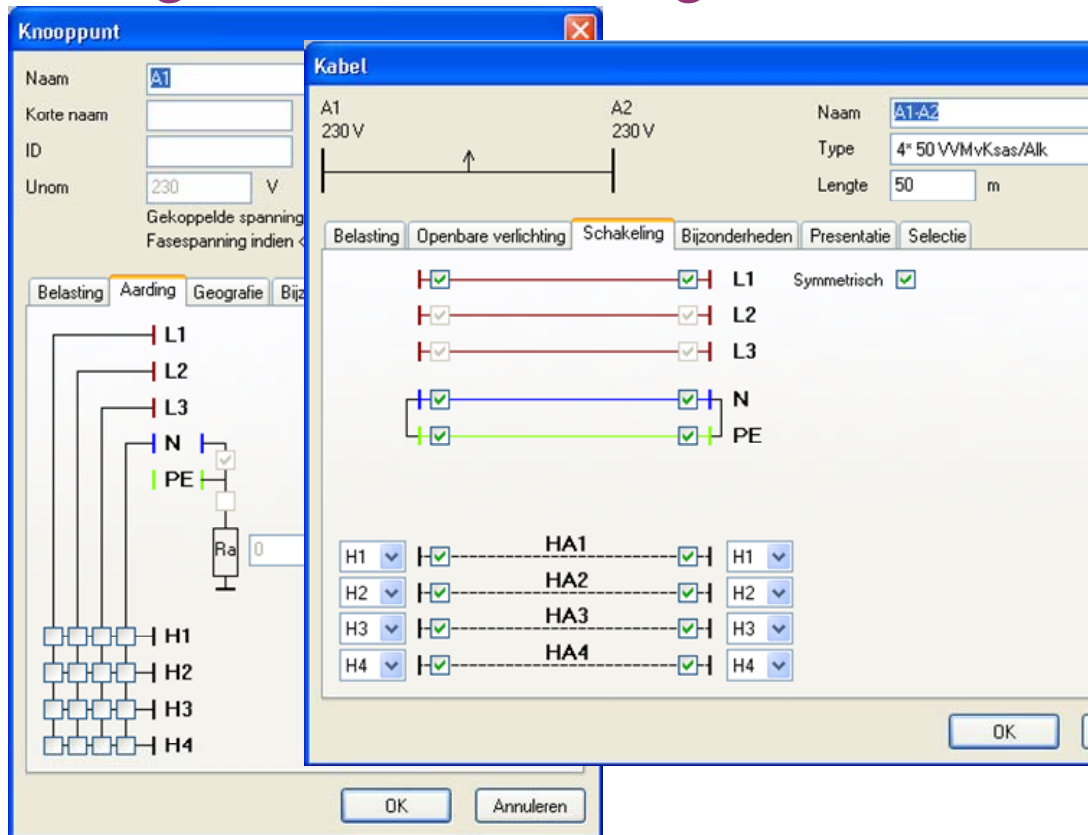


- In dit voorbeeld:
  - hulpaders H1 en H2 parallel op fase L1
  - hulpaders H3 en H4 parallel op fase L2

De aansluiting van een combikabel op een LS-rek kan worden gerealiseerd door in het knooppunt, dat het LS-rek voorstelt, de hulpaders te koppelen op de fasen. Dat gebeurt door het matrixje met checkboxes, linksonder in het formulier, in te vullen. In dit voorbeeld worden de hulpaders H1 en H2 parallel geschakeld en beide aangesloten op fase L1. Ook worden de hulpaders H3 en H4 parallel geschakeld en beide aangesloten op fase L2.

Het is niet mogelijk om een hulpader op twee hoofdaders aan te sluiten. Een moedwillige kortsluiting op het knooppunt wordt hierdoor uitgesloten. Wel blijft het mogelijk de hulpaders op separate knooppunten op verkeerde hoofdaders aan te sluiten, waardoor in het net een kortsluiting ontstaat. Hierop wordt niet gecontroleerd. De verantwoordelijkheid voor een juiste aansluiting ligt volledig bij de gebruiker.

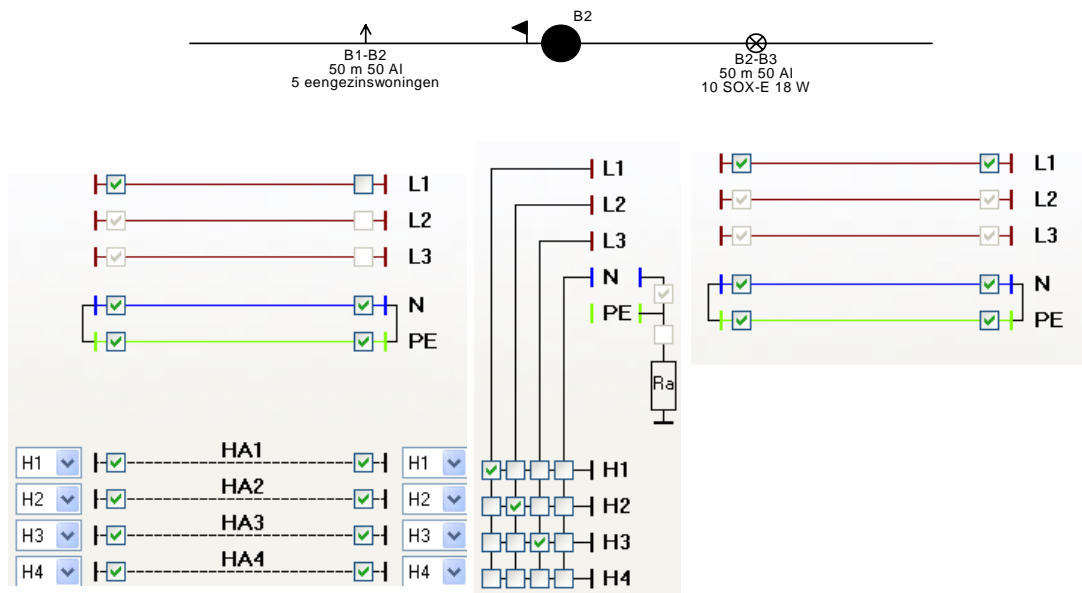
# Doorgaande verbinding



Een doorgaande verbinding behoeft geen invoer voor de knooppunten. Alle checkboxen van de fasen naar de hulpaders blijven leeg.

Van de kabels kunnen schakelaars in alle aders naar believen geopend en gesloten worden. Bij een normale doorgaande verbinding blijven alle checkboxen gesloten. De pull-down lijstjes aan weerszijden van de hulpaders verwijzen naar de hulpknooppunten van het knooppunt waar de kabel op is aangesloten.

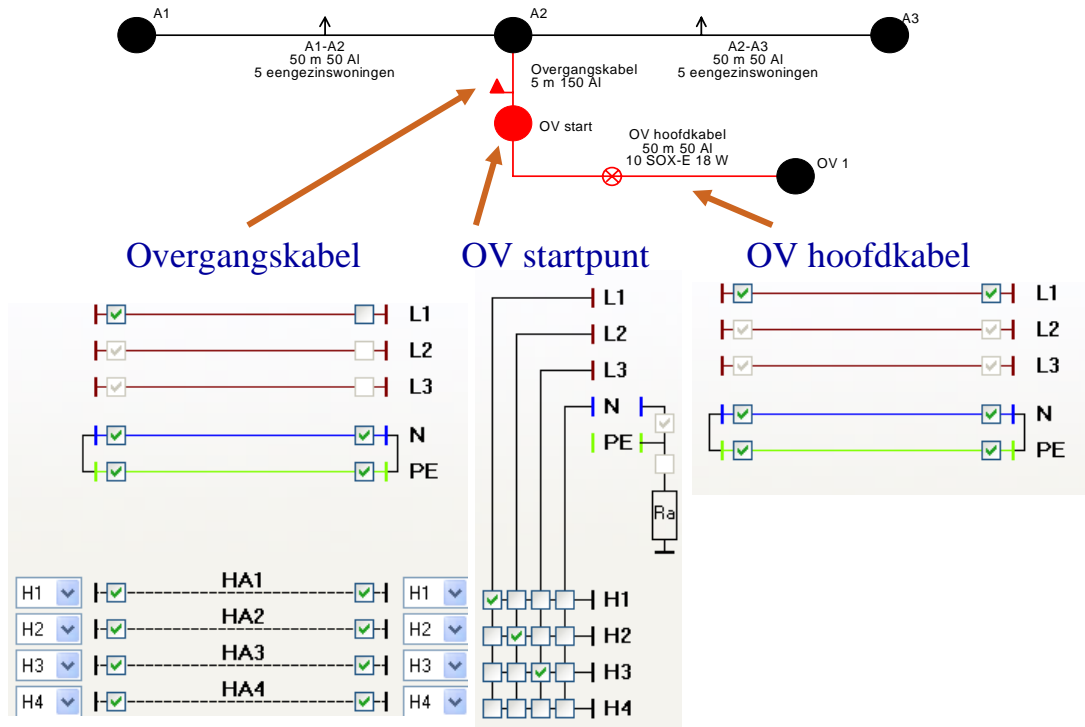
# Overgang naar een OV-net



Bij een overgang naar een OV-net gaat het systeem met hoofdaders en hulpaders over in een systeem met alleen hoofdaders. Van de kabel waar de overgang plaatsvindt worden bij de eindmof (het knooppunt in bovenstaande illustratie) de schakelaars in de fasen geopend. De hulpaders lopen wel door naar het knooppunt.

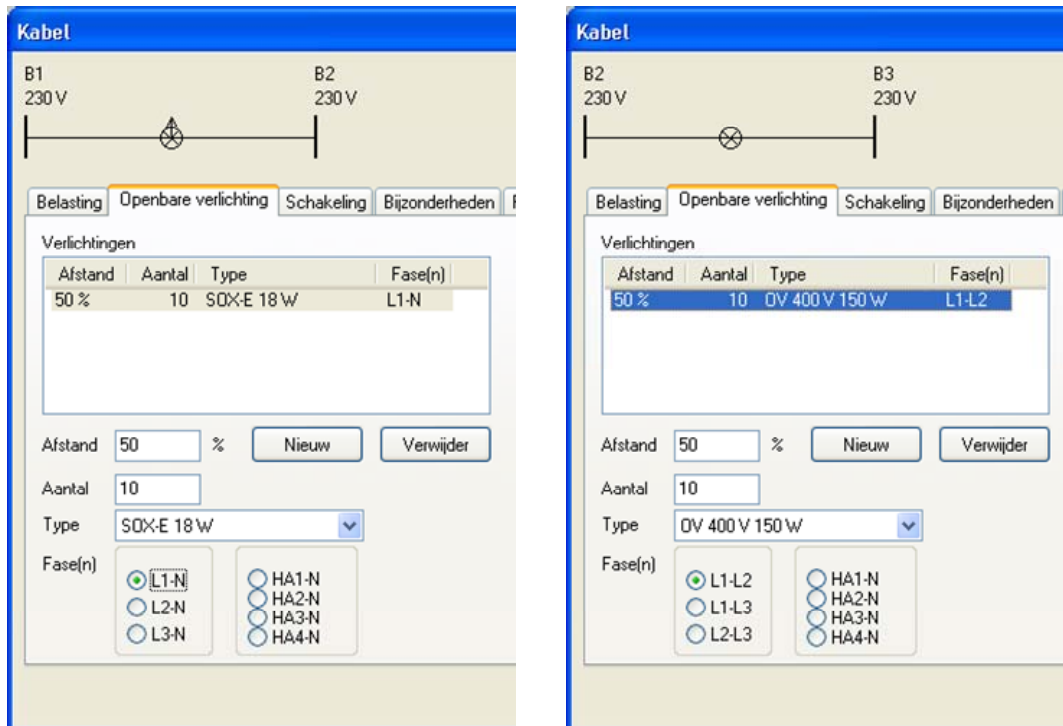
In het knooppunt worden de hulpaders verbonden met de hoofdader-knooppunten L1, L2 en L3. Van de OV-kabel worden dan de aders gewoon verbonden met de hoofdader-knooppunten van het knooppunt.

# Aftakking naar een OV-net



In het geval van een aftakking, is een hulpknooppunt en een link (een stukje overgangskabel) nodig. Vanaf de overgangskabel is de procedure gelijk aan de overgang van een gecombineerd net naar een eigen OV-net.

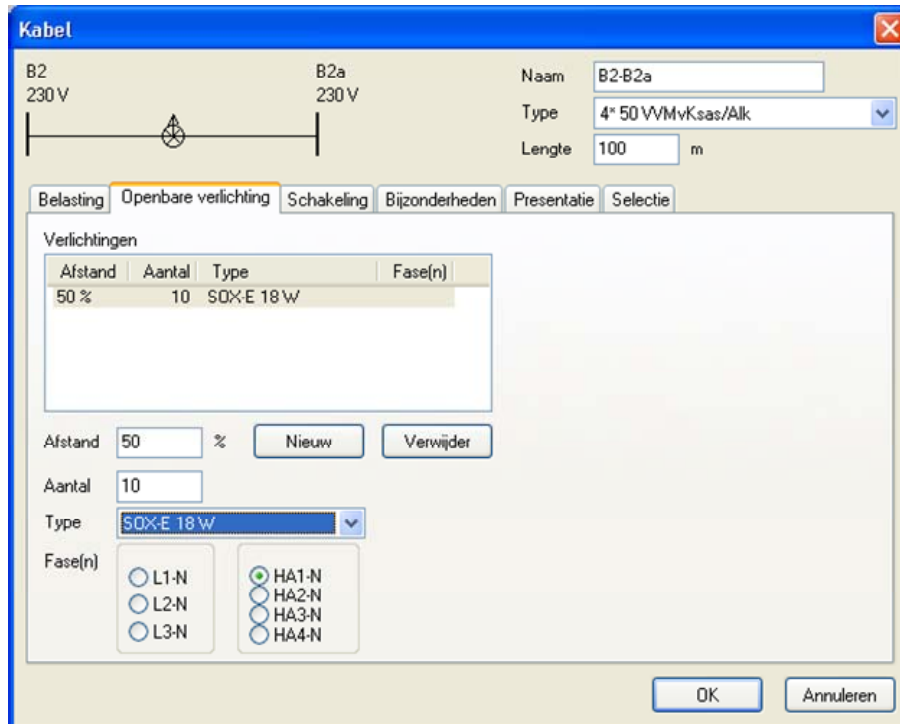
## Aansluiting op een eigen OV-net



In een eigen OV-net kan een lichtmast op de fase en de nul worden geschakeld. Bovenstaand voorbeeld toont de aansluiting op L1 en N.

Indien de lamp een 400 V type is, wordt de lichtmast tussen twee fasen geschakeld. Doordat deze lamp een hogere nominale spanning heeft, past het formulier zich aan en kan gekozen worden uit drie aansluitmogelijkheden tussen de fasen. In bovenstaand voorbeeld is dat tussen de fasen L1 en L2.

## Aansluiting op een combikabel



In een geïntegreerd OV-net worden de lichtmasten aangesloten op de hulpaders en de nul. In bovenstaand voorbeeld zijn 10 lichtmasten aangesloten op hulpader 1 en de nul.

### 5 CONCLUSIES

- Het negengeleidersysteem wordt ontwikkeld
- Toepassing: berekeningen LS-netten met een geïntegreerd OV-net
- Nieuw kabelmodel
- Nieuwe invoer en presentatie
- Veiligheid en spanningshuishouding
- Belastbaarheid blijft bepaald door hoofdadere