

30101024-Consulting 10-0935

## Geluidsproductie van het Wintrack ontwerp

reg.nr.: 10022615	
zaak nr.	111
kode nr.	562.8
13 JULI 2010	
aan: J. Jurriens	par.
cc.	

Arnhem, 26 april 2010

Auteurs P.J. Kolmeijer, C.S. Engelbrecht

In opdracht van TenneT

auteur : P.J. Kolmeijer  
B 20 blz.

bijl.

26-04-2010

beoordeeld : T. vd Wekken

goedgekeurd : K.J. van Oeveren

*O.v.d.W. 26/4/10*  
*bijl. R.W.*



© KEMA Nederland B.V., Arnhem, Nederland. Alle rechten voorbehouden.

Het is verboden om dit document op enige manier te wijzigen, het opsplitsen in delen daarbij inbegrepen. In geval van afwijkingen tussen een elektronische versie (bijv. een PDF bestand) en de originele door KEMA verstrekte papieren versie, prevaleert laatstgenoemde.

KEMA Nederland B.V. en/of de met haar gelieerde maatschappijen zijn niet aansprakelijk voor enige directe, indirecte, toekomstige 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.

De inhoud van dit rapport mag slechts als één geheel aan derden kenbaar worden gemaakt, voorzien van bovengenoemde aanduidingen met betrekking tot auteursrechten, aansprakelijkheid, aanpassingen en rechtsgeldigheid.

## INHOUD

	blz.
1 Inleiding .....	5
2 Normen.....	6
3 Limietwaarden voor geluidsproductie .....	6
4 Ontwerp met betrekking tot geluidsproductie .....	8
4.1 Introductie.....	8
4.2 Geluidsproductie door de fasegeleiders .....	8
4.3 Geluidsproductie van isolatorcomponenten.....	14
5 Corona testen .....	16
5.1 Testopstelling.....	16
5.2 Uitgevoerde proeven.....	16
6 Conclusies .....	19
7 Referenties .....	20

## **SAMENVATTING**

KEMA heeft berekeningen en metingen uitgevoerd om de geluidsproductie van het Wintrack-ontwerp als gevolg van elektrische ontladingen te verifiëren. Op basis van de resultaten kan worden geconcludeerd dat het ontwerp voldoet aan de geluidseisen die door TenneT zijn gesteld.

De eisen van TenneT zijn een maximale geluidsproductie van 45 dB(A) op een afstand van 37 m uit het hart van de hoogspanningslijn bij natte condities en 30 dB(A) bij droge condities. Aan deze eis voldoet het Wintrack-ontwerp.

Slechts in uitzonderlijke gevallen (<L5 weersomstandigheden) kan het geluidsniveau de 45dBA overschrijden, maar dan alleen in het hart van de hoogspanningslijn.

De toegepaste meet- en rekenmethoden zijn internationaal erkende methoden. De geluidsproductie van de hoogspanningslijn kan gedurende een beperkte periode (1 tot 2 jaar) hoger zijn dan waarvoor hij ontworpen is. Naarmate de geleiders verouderen neemt deze geluidsproductie af.

De geluidsproductie van de hoogspanningslijn kan gedurende een beperkte periode (1 tot 2 jaar) hoger zijn dan waarvoor hij ontworpen is. Naarmate de geleiders verouderen neemt deze geluidsproductie af.

## 1 INLEIDING

Bij het ontwerpen van hoogspanningslijnen zijn er vele parameters waar rekening mee gehouden dient te worden. Het veranderen van één parameter heeft vaak ook invloed op andere parameters. Het vergroten van bijvoorbeeld de veldlengte zal bij gelijkblijvende trekspanning in de geleiders tot gevolg hebben dat de masten groter dienen te worden. Ook zal bij een grotere veldlengte de fase - fase afstand tussen de geleiders vergroot moeten worden. Deze veranderingen zullen tot gevolg hebben dat de magneetvelden, en dus ook de specifieke magneetveldzone veranderen.

Bij Wintrack is het minimaliseren van de specifieke magneetveldzone onder de lijn als het belangrijkste ontwerpcriterium aangemerkt. Daarnaast blijven alle voor een hoogspanningslijn geldende ontwerpcriteria van toepassing. Een tweede ontwerpparameter waar de aandacht naar uitgegaan is de bundelconfiguratie. De bundelconfiguratie en samenstelling van de bundel zijn bepalend voor het rendement van de lijn (verliezen die optreden bij het transport van elektriciteit). Ook zijn de bundelconfiguratie en de geleiderkeuze bepalend voor de elektrische randveldsterkte van de bundel. Deze randveldsterkte is een van de hoofdparameters voor de geluidsproductie van de hoogspanningslijn.

Dit rapport geeft aan hoe in het ontwerpproces van Wintrack rekening is gehouden met de geluidsproductie (engels: audible noise) ten gevolge van elektrische ontladingen.

De uitgangspunten van het ontwerp zijn vastgelegd in het TenneT document: Basic requirements HV-towers revision 4.2, document referentie TI=TOP 06-350a, dd 2006-10-04. In het betreffende document zijn de standaard eisen voor hoogspanningslijnen ten aanzien van geluid opgenomen (zie ook hoofdstuk 2 en 3).

Na bepaling van de mastconfiguratie, de bundelafmetingen en de toe te passen geleider is er getoetst of het ontwerp voldeed aan de eisen in dit document ten aanzien van geluidsproductie. Ook zijn er proeven uitgevoerd om de toegepaste rekenmethodiek te toetsen. Een uiteenzetting van de resultaten van de toetsing en de uitgevoerde proeven is weergegeven in dit rapport.

## 2 NORMEN

De op het Wintrack-ontwerp van toepassing zijnde normen, die effect hebben op het mastbeeld en de bundelconfiguratie, zijn voorzover van belang in relatie tot geluid hieronder opgesomd:

- NEN – EN 50341 series: Bovengrondse elektrische lijnen boven 45 kV wisselspanning
- Deel 1: Algemene eisen – Gemeenschappelijke specificaties
  - Deel 2: Register van nationale normatieve aspecten
  - Deel 3: Verzameling van nationale normatieve aspecten.
- NEN – EN 50110: Bedrijfsvoering van elektrische installaties.

## 3 LIMIETWAARDEN VOOR GELUIDSPRODUCTIE

De NEN 50341 bestaat uit 3 delen. Deel 1 heeft internationale gelding en is gelijk voor alle aangesloten landen waar deze van toepassing is. Deel 2 verwijst naar de voor een land specifieke normen en deel 3 bevat de voor dat land specifieke bepalingen.

Hoofdstuk 5.5.2 van deel 1 gaat specifiek over geluidsproductie. Zie Figuur 1 voor de tekst uit de norm. Deze zegt dat de limiet waarden aangegeven dienen te worden in deel 3.

### 5.5.2.3 *Noise limit*

Maximum permissible levels of audible noise may be given by national or local authorities and specified in NNAs or the Project Specification, preferably as a weighted noise level in dB above the background noise level at a specified distance from the line.

**Figuur 1 - Hoofdstuk 5.5.2.3. uit NEN - EN 50341**

In deel 3 van de NEN – EN 50341, die voor Nederland van toepassing is, is geen limietwaarde opgegeven voor de geluidsproductie van hoogspanningslijnen. De limietwaarden voor de geluidsproductie die TenneT hanteert zijn terug te vinden in het eerder genoemde Basic Requirements document van TenneT (zie figuur 2).

Corona induced audible noise in the frequency range 1 – 10 kHz, of the conductors, spacers and insulators together, shall be below 45 dB(A) measured during mist or light rain conditions and below 30 dB(A) under dry conditions.

Total immission at 37m from the centre line above these limits must be avoided, the design must demonstrate to have included all efforts to reach the target values of the table.

The audible noise spectrum shall not contain tert peaks which are more than 6dB(A) above the average noise level of two adjacent octaves.

All levels apply on the 37 meter perimeter of the line an 1 meter height.

#### **Figuur 2 - Geluidsbepalingen TenneT Basic Requirements**

De waarde van 37 meter, zoals genoemd in Figuur 2, is de afstand tot het hart van de hoogspanningslijn en is gerelateerd aan de waarde van de zakelijke rechtstrook die van toepassing is op conventionele 380 kV hoogspanningslijnen.

## 4 ONTWERP MET BETREKKING TOT GELUIDSPRODUCTIE

### 4.1 Introductie

In dit hoofdstuk is het proces voor de evaluatie en verificatie van het Wintrack-ontwerp beschreven.

Geluid van hoogspanningslijnen kan worden veroorzaakt door elektrische ontladingen. Geluid dat door de elektrische eigenschappen van de lijn wordt veroorzaakt kan een resultaat zijn van:

- **de fasegeleiders, als gevolg van corona ontladingen.** Corona treedt op wanneer de lucht rondom geladen objecten ioniseert als gevolg van hoge elektrische velden. De coronaprestaties van een lijn worden meestal bepaald op basis van het geproduceerde geluid, radio interferentie en elektrische verliezen. De mate van corona activiteit (en dus de geluidsproductie) wordt bepaald op basis van de configuratie van de fase- en bliksemdraadgeleiders in de hoogspanningslijn en de weersomstandigheden.
- **de isolatoren, als gevolg van ontladingen langs het oppervlak.** Oppervlakte-ontladingen bij isolatoren treden over het algemeen op wanneer het oppervlak van de isolator geleidend wordt als gevolg van vervuiling. Vooral in de kustregio kunnen isolatoren vervuild worden door de neerslag van zoutdeeltjes uit de lucht. Dit kan ontladingen veroorzaken die geluid kunnen produceren. De intensiteit van ontladingen is afhankelijk van de vervuilingsgraad (hoeveelheid neergeslagen zout), weersomstandigheden en de oppervlakte-eigenschappen van de isolator. De bevestiging van de isolatoren en bijbehorende componenten kunnen de geluidsproductie verhogen wanneer ze onjuist bevestigd of toegepast worden.

In de volgende paragrafen wordt toegelicht hoe er met deze aspecten is omgegaan.

### 4.2 Geluidsproductie door de fasegeleiders

De coronaproductie van een hoogspanningslijn is afhankelijk van de lijnconfiguratie en de weersomstandigheden. De geluidsproductie is erg variabel en is daarom moeilijk te voorspellen. Om deze reden is het niet mogelijk het geluidsniveau met een enkele waarde aan te geven [2], maar wordt deze uitgedrukt met statistische variabelen voor verschillende weersomstandigheden. Voor deze weersomstandigheden wordt onderscheid gemaakt tussen droog weer en nat weer [1]:

- **Droog weer** is gedefinieerd als weersomstandigheden waarbij er geen (meteorologische) neerslag is en de geleiders droog zijn. Dit wordt met de lage coronawaarde aangegeven.



- **Nat weer** wordt gedefinieerd als weersomstandigheden waarbij neerslag voorkomt en de geleider nat worden. Deze omstandigheden veroorzaken over het algemeen de hoogste geluidsproductie als gevolg van corona.

Opgemerkt dient te worden dat de werkelijke geluidsproductie van een hoogspanningslijn een combinatie is van de productie bij droog én nat weer. Hierbij zal rekening moeten worden gehouden met de verdeling tussen droog en nat weer, dit is locatieafhankelijk. In de ontwerpfase worden deze twee weersomstandigheden apart behandeld. Dit is tevens opgenomen in de het ontwerpdocument "Basic Requirements" van TenneT.

Er zijn enkele betrouwbare methodes beschikbaar voor het evalueren van de geluidsproductie van hoogspanningslijnen. Vanwege de statistische aard van dit fenomeen zijn dit semi-empirische methodes, gebaseerd op experimentele informatie die is verkregen uit een grote hoeveelheid onderzoeken verricht met testopstellingen en bestaande hoogspanningslijnen. De twee bekendste methoden zijn de BPA-methode en de EPRI-methode [3]. Deze zijn toegepast om de geluidsproductie van het Wintrack-ontwerp te bepalen.

Bij beide methoden is het geluidsniveau uitgedrukt in termen van de elektrische veldsterkte op het oppervlakte van de geleiders, het aantal geleiders en de afmetingen van de geleiders. Aangezien het geluidsniveau afneemt als gevolg van de afstand wordt dit meestal berekend langs een profiel loodrecht op de hoogspanningslijn.

#### Berekende randveldsterkten:

De randveldsterkte is berekend voor twee verschillende Wintrack-configuraties, (1) een dubbelcircuit 380kV hoogspanningslijn en (2) een viercircuits 380/150kV hoogspanningslijn (2x150kV en 2x380kV). Voor het Wintrack-ontwerp zijn er standaard mastconfiguraties ontwikkeld voor spanvelden van zowel 350 meter als 400 meter. Omdat de fase – fase afstanden voor een spanveldlengte van 350 meter kleiner is dan bij 400 meter zal de veldsterkte groter zijn. De berekeningen zijn daarom uitgevoerd voor de mastconfiguratie die geschikt is voor een spanveldlengte van 350 meter.

De fasecoördinaten en overige invoergegevens zijn in Tabel 1 opgenomen voor de dubbelcircuit-variant en in Tabel 2 voor de viercircuit-variant. De resultaten worden weergegeven in respectievelijk

Tabel 3 en Tabel 4. In de tabellen worden de bliksemraden aangeduid met SW (Shield wire) en de fasen met spanningsniveau (380 of 150), circuit (1 of 2) en fase (A, B of C).

**Tabel 1: Geleiderconfiguratie voor de 2x380 kV Wintrack-mast (350 m Span) "W2S350"**

Geleider	Horizontale positie	Verticale positie	Doorhang	Min. hoogte	Gem. hoogte	Aantal geleiders	Geleider diameter	Bundel afstand
SW 1	-9,65	45,283	9,31	35,973	39,076	1	21,8 mm	--
SW 2	9,65	45,283	9,31	35,973	39,076	1	21,8 mm	--
380 C1 Ph A	-3,785	40,000	11,02	28,980	32,653	4	32,4 mm	500
380 C1 Ph B	-3,711	31,500	11,02	20,480	24,153	4	32,4 mm	500
380 C1 Ph C	-3,637	23,000	11,02	11,980	15,653	4	32,4 mm	500
380 C2 Ph C	3,785	40,000	11,02	28,980	32,653	4	32,4 mm	500
380 C2 Ph B	3,711	31,500	11,02	20,480	24,153	4	32,4 mm	500
380 C2 Ph A	3,637	23,000	11,02	11,980	15,653	4	32,4 mm	500

**Tabel 2: Geleiderconfiguratie voor de 2x150/2x380 kV Wintrack-mast (350 m Span) "W4S350"**

Geleider	Horizontale positie	Verticale positie	Doorhang	Min. hoogte	Gem. hoogte	Aantal geleiders	Geleider diameter	Bundel afstand
SW 1	-9,653	49,248	9,31	39,938	43,041	1	21,8 mm	--
SW 2	9,653	49,248	9,31	39,938	43,041	1	21,8 mm	--
380 C1 Ph A	-3,747	41,000	11,02	29,980	33,653	4	32,4 mm	500
380 C1 Ph B	-3,662	32,500	11,02	21,480	25,153	4	32,4 mm	500
380 C1 Ph C	-3,577	24,000	11,02	12,980	16,653	4	32,4 mm	500
380 C2 Ph C	3,747	41,000	11,02	29,980	33,653	4	32,4 mm	500
380 C2 Ph B	3,662	32,500	11,02	21,480	25,153	4	32,4 mm	500
380 C2 Ph A	3,577	24,000	11,02	12,980	16,653	4	32,4 mm	500
150 C1 Ph C	-11,277	41,000	11,02	29,980	33,653	1	32,4 mm	--
150 C1 Ph B	-11,362	32,500	11,02	21,480	25,153	1	32,4 mm	--
150 C1 Ph A	-11,447	24,000	11,02	12,980	16,653	1	32,4 mm	--
150 C2 Ph A	11,277	41,000	11,02	29,980	33,653	1	32,4 mm	--
150 C2 Ph B	11,362	32,500	11,02	21,480	25,153	1	32,4 mm	--
150 C2 Ph C	11,447	24,000	11,02	12,980	16,653	1	32,4 mm	--

**Tabel 3: Berekende randveldsterkten voor de 2x380 kV Wintrack-mast (350 m Span) "W2S350"**

Invoergegevens			Berekende waarden	
Geleider	Spanning	Fasehoek	Gemiddeld	Max
	[kV]	[Graden]	[kV/cm]	[kV/cm]
SW 1	0	--	4,16	4,24
SW 2	0	--	4,16	4,24
380 C1 Ph A	242,5	0	11,15	13,21
380 C1 Ph B	242,5	-120	10,01	11,67
380 C1 Ph C	242,5	120	11,22	13,29
380 C2 Ph C	242,5	120	11,15	13,21
380 C2 Ph B	242,5	-120	10,01	11,67
380 C2 Ph A	242,5	0	11,22	13,29

**Tabel 4: Berekende randveldsterkten voor de 2x150/2x380 kV Wintrack-mast (350 m Span) "W4S350"**

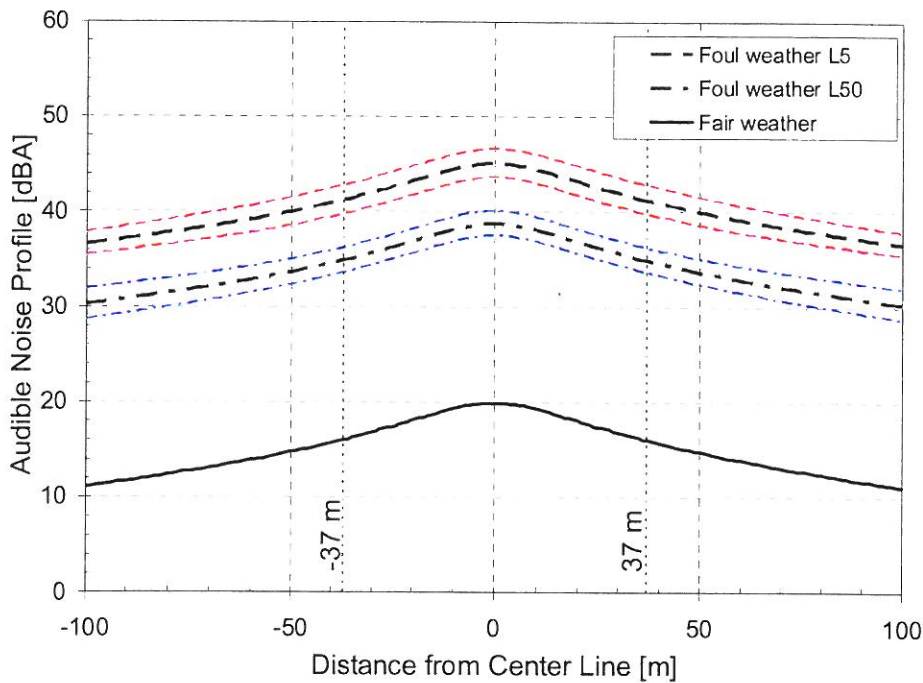
Invoergegevens			Berekende waarden	
Geleider	Spanning	Fasehoek	Gemiddeld	Max
	[kV]	[Graden]	[kV/cm]	[kV/cm]
SW 1	0	--	2,90	2,94
SW 2	0	--	2,90	2,94
380 C1 Ph A	242,5	0	11,4	13,42
380 C1 Ph B	242,5	-120	9,86	11,47
380 C1 Ph C	242,5	120	11,48	13,53
380 C2 Ph C	242,5	120	11,4	13,42
380 C2 Ph B	242,5	-120	9,86	11,47
380 C2 Ph A	242,5	0	11,48	13,53
150 C1 Ph C	98,1	120	11,45	11,52
150 C1 Ph B	98,1	-120	7,89	7,99
150 C1 Ph A	98,1	0	11,55	11,64
150 C2 Ph A	98,1	0	11,45	11,52
150 C2 Ph B	98,1	120	7,89	7,99
150 C2 Ph C	98,1	-120	11,55	11,64

Uit de bovenstaande waarden blijkt dat de hoogste randveldsterkte 13,6 kV/cm is. Deze waarde ligt beneden de door TenneT gespecificeerde waarde van 17 kV/cm. Ook ligt deze waarde ruim beneden de corona-ontsteekwaarde van het elektrische veld van 19,3 kV/cm.

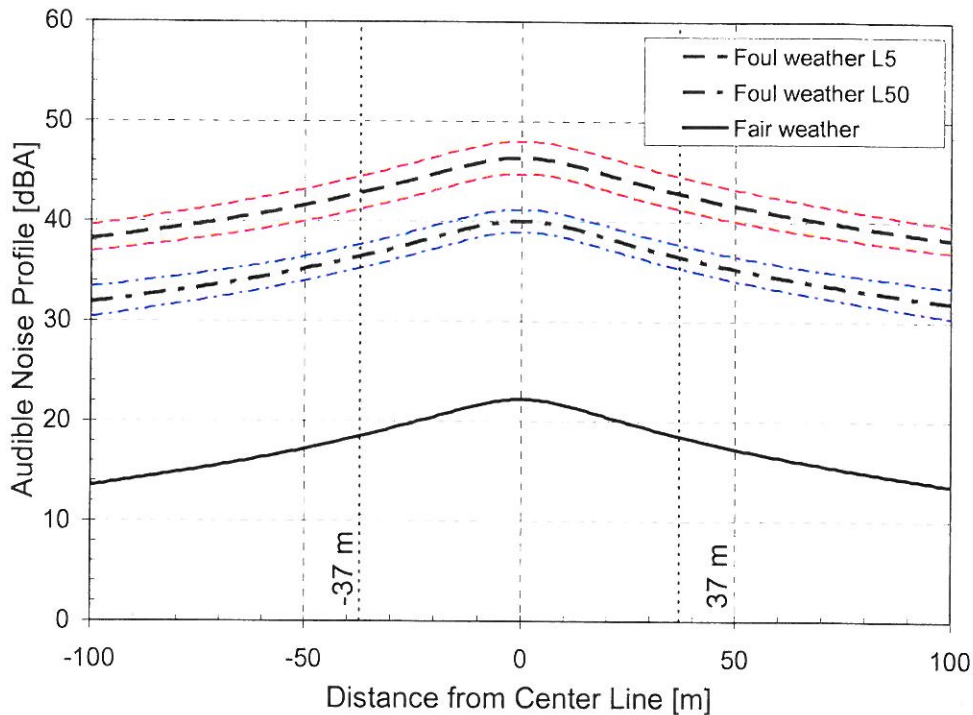
De randveldsterkte van de geleider varieert over de oppervlakte van de geleider. Deze variatie wordt veroorzaakt door de bundel en de circuit configuratie. In bovenstaande tabel zijn zowel de gemiddelde waarde als de maximale waarde van de veldsterkte op het oppervlakte van de geleider weergegeven.

Berekende geluidsniveaus:

De berekende waarden voor de voorspelde geluidsniveaus voor de dubbelcircuit-variant en de viercircuit-variant zijn weergegeven in respectievelijk figuur 3 en 4.



**Figuur 3 - Berekend profiel voor de geluidsniveaus van de 2x380 kV Wintrack-mast (350 m Span) "W2S350"**



Figuur 4 - Berekend profiel voor de geluidsniveaus van de 2x150/2x380 kV Wintrack-mast (350 m Span) "W4S350"

In de figuren worden drie curven gegeven:

- De onderste curve is de voorspelde bovengrens van de geluidsniveaus voor **droge weersomstandigheden**. Deze geldt voor de situatie met droge geleiders. Op een afstand van 37 meter tot het hart van de hoogspanningslijn geldt een berekende waarde van 16 dBA en 18,5 dBA voor respectievelijk de dubbelcircuit-variant en de viercircuit-variant. Beide waarden liggen lager dan de vereiste maximale waarde in het ontwerpdocument van TenneT van 30 dBA.
- De bovenste twee curven geven de geluidsniveaus aan voor **natte weersomstandigheden**. Hierbij geeft de L50 curve het geluidsniveau dat 50% van de tijd overschreden zal worden en de L5 curve het geluidsniveau dat 5% van de tijd overschreden zal worden. Omdat de resultaten van de twee toegepaste methoden een klein onderling verschil weergeven zijn de curven in een smalle band weergegeven. Voor de definitieve geluidsniveaus als gevolg van corona is het gemiddelde van de twee methoden, die van BPA en EPRI, toegepast. De berekende waarde op 37 meter van het hart van de hoogspanningslijn bedraagt voor de L5 curve 41,3 dBA en 42,9 dBA voor respectievelijk de dubbelcircuit-variant en de viercircuit-variant. Beide waarden liggen

lager dan de vereiste maximale waarde in het ontwerpdocument van TenneT van 45 dBA.

Een belangrijk uitgangspunt voor de bovenstaande berekeningen is dat zij gebaseerd zijn op metingen bij geleiders die een a twee jaar in bedrijf zijn. Het is bekend dat de geluidproductie als gevolg van corona van nieuwe geleiders hoger is dan die van geleiders die al enige tijd in gebruik zijn [3]. Bij nieuwe geleiders kan zich (waterafstotende) vet op het oppervlak bevinden vanwege de toegepaste smeermiddelen en corrosiebeschermende vetten die tijdens de vervaardiging van de geleider worden toegepast. Bij nieuwe geleiders zullen (onder natte weersomstandigheden) de waterdruppels door de waterafstotende eigenschappen parelvormig zijn terwijl bij oudere geleiders de druppels door de geleider langs de tiren (de afzonderlijke draden waaruit de geleiders zijn opgebouwd) zullen wegvloeien. Op basis van ervaring bij voorgaande projecten blijkt dat het ontvetten van de geleiders niet goed uitvoerbaar is zonder het vet aan de binnenzijde van de geleiders aan te tasten. Het aantasten van het vet zal de levensduur van de geleider negatief beïnvloeden [5].

Het resultaat is dat bij dezelfde randveldsterkte bij een nieuwe geleider meer corona zal ontstaan en tevens het geluidsniveau sterker zal zijn, vergeleken met een oudere geleider onder dezelfde omstandigheden. Metingen tonen aan dat het ongeveer 1 tot 2 jaar duurt voordat de daadwerkelijk optredende corona en geluidsniveaus gelijk zijn aan de ontwerpwaarden.

Met behulp van metingen aan bestaande hoogspanningslijnen is aangetoond dat het geluidsniveau van geleiders die reeds enige tijd in bedrijf zijn 8-10 dBA lager zijn dan nieuwe geleiders. Een jaar na ingebruikname zal het geluidsniveau ongeveer 5 dBA afnemen. In de daarop volgende 2 jaar zal er wederom een reductie van 4-5 dBA plaatsvinden. Deze metingen zijn beschreven in hoofdstuk 10 van het Red Book. [3]

#### **4.3 Geluidsproductie van isolatorcomponenten**

Er treedt enkel geluidsproductie op bij vervuilde isolatoren tijdens natte weersomstandigheden of bij een hoge luchtvochtigheid (relatieve luchtvochtigheid hoger dan 75%) waardoor het isolatoroppervlak nat genoeg wordt voor het geleiden van stroom langs het oppervlak.

De ontladingen die dit tot gevolg kan hebben resulteren in een knetterend geluid dat men kan onderscheiden van het achtergrondgeluid [4]. Geluidsproductie heeft in het verleden

geleid tot klachten van omwonenden op locaties waar de hoogspanningslijn bewoonde gebieden doorkruist.[5] en [6]

Geluidsproductie van vervuilde isolatoren kan worden gereduceerd op verschillende manieren. Een mogelijkheid is het toepassen van isolatoren die gemaakt zijn van siliconenrubber. Het oppervlak van deze isolatoren heeft de eigenschap om water af te stoten [5] en [6] dat voorkomt dat er een geleidende laag op het oppervlak gevormd kan worden. Dit voorkomt ontladingen en de bijbehorende geluidsproductie. In het Wintrack-ontwerp worden uitsluitend dit soort waterafstotende isolatoren toegepast, waardoor geluidsproductie door ontladingen op het isolatoroppervlak niet verwacht wordt.

In het ontwerp is rekening gehouden met de geluidsproductie door corona op de isolatoren en bijbehorende componenten door strikte waarden op te nemen in de ontwerpeisen met betrekking tot de optredende elektrische velden rondom de isolatoren. Dit heeft ertoe geleid dat coronaringen worden toegepast op de uiteinden van de isolatoren waardoor de verdeling van het elektrische veld voldoet aan de gestelde eisen. Tevens zijn laboratoriumproeven verricht om te verifiëren dat de isolatoren en de bijbehorende componenten vrij zijn van corona (zie hoofdstuk 5).

## 5 CORONA TESTEN

Er zijn laboratoriumproeven uitgevoerd om te verifiëren dat de corona-prestaties van de hoogspanningslijn, inclusief de isolatoren en bijbehorende componenten, voldoen aan de eisen die zijn gesteld door TenneT. De testresultaten dienen tegelijkertijd als verificatie van de berekeningsmethoden en resultaten.

### 5.1 Testopstelling

De coronatesten van het Wintrack-concept zijn uitgevoerd conform de vereisten uit de norm IEC 61284 "Overhead lines – Requirements and tests for fittings" Clause 14 [8]. De testopstelling is speciaal ontworpen om de randveldsterkte op de onder spanning staande componenten (hardware en geleiders) overeen te laten komen met de waarden die in het uiteindelijke ontwerp ook optreden.

De uiteindelijke testopstelling is opgebouwd uit twee fasegeleiders, geïnstalleerd in een verticale opstelling. Deze fasen zijn allebei tegelijkertijd onder spanning gezet met twee afzonderlijke enkel-fasige transformatoren met 120 graden faseverschil. De 50 Hz test spanning is aangepast om een specifieke randveldsterkte op de onderste fase te realiseren. Dit is gedaan conform de IEC 61284 "Voltage gradient method" [7]. Bij deze test is gebruik gemaakt van zogenaamde "corona calibrators" om zichtbaar te maken dat de vooraf bepaalde randveldsterkte is bereikt.

### 5.2 Uitgevoerde proeven

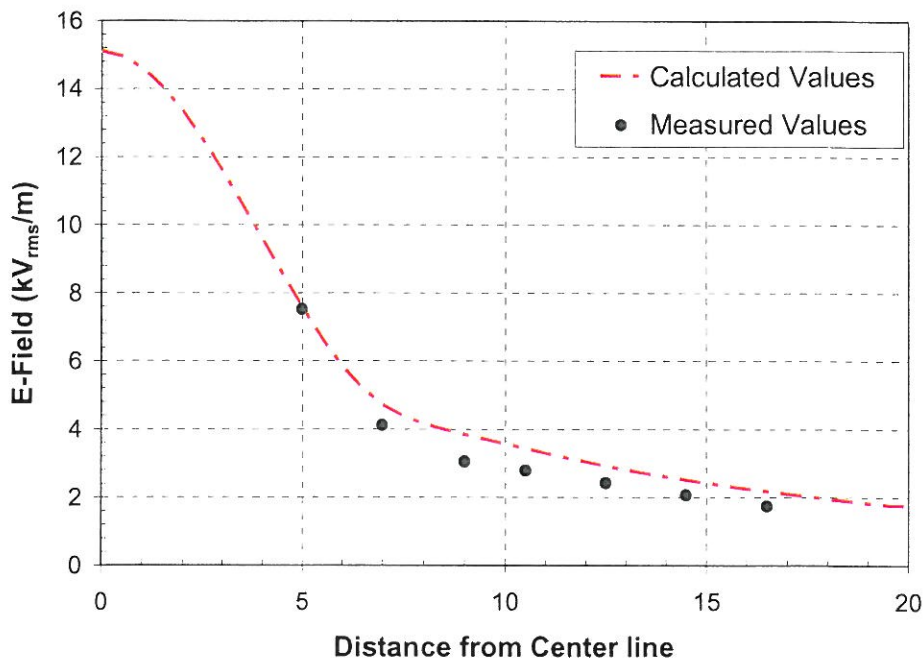
#### Verificatie dat alle componenten vrij van corona zijn:

Tijdens de test is gebruik gemaakt van een speciale corona-camera die het mogelijk maakt om (bij daglicht) te controleren of alle geleiders, isolatoren met bijbehorende coronaringen en andere componenten vrij zijn van corona. De resultaten van deze test hebben geleid tot een aanpassing van de coronaringen, waardoor de doelstelling (geen corona) uiteindelijk is gehaald.

#### Verificatie van de berekende elektrische randveldsterkte:

De elektrische veldsterkte op maaiveldniveau is gemeten en vergeleken met de berekende theoretische waarden om te verifiëren dat de berekeningsmethode correct is toegepast. Zoals Figuur 5 laat zien komen deze waarden overeen, wat ondersteuning biedt voor de toegepaste berekeningsmethode.



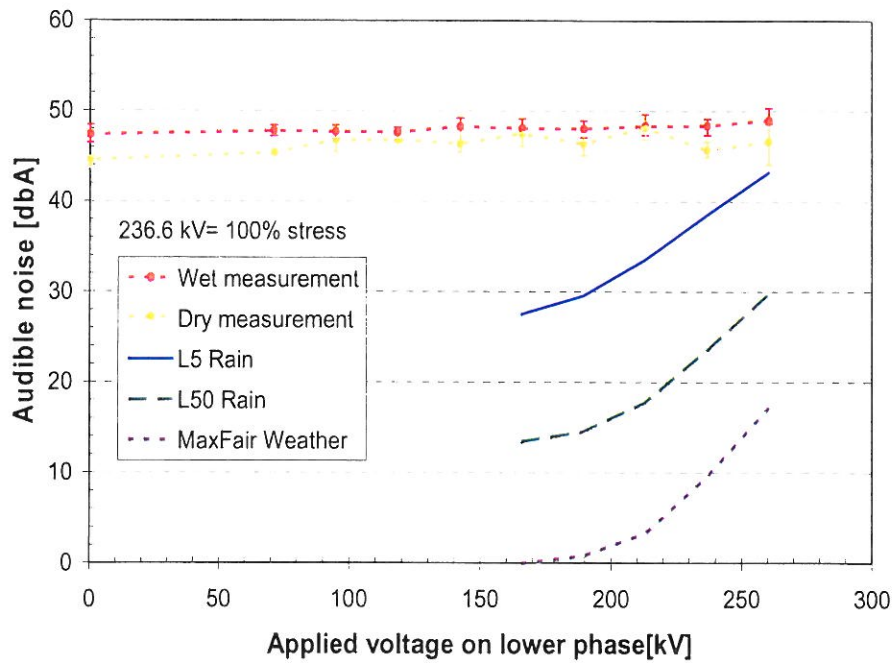


**Figuur 5 - Vergelijking tussen de gemeten en berekende waarden van de elektrische randveldsterkte voor de twee-fasige opstelling.**

Verificatie geluidsniveaus:

Een gekalibreerde en geïntegreerde geluidsniveaumeter is toegepast om metingen te verrichten voor een reeks van testspanningen onder droge en natte condities. De gemeten geluidsniveaus zijn gemeten op 1 meter boven maaiveld op een afstand van 6,5 meter vanuit het hart van de testopstelling. De gemeten niveaus zijn omgerekend naar dBA. De meetwaarden geven het gezamenlijke geluidsniveau weer van de achtergrondgeluiden en de coronageluiden.

De resultaten, weergegeven in Figuur 6, laten zien dat het niveau van de achtergrondgeluiden aanzienlijk hoger is dan de voorspelde niveaus van de coronageluiden. De lichte verhoging die zichtbaar is bij hogere spanningswaarden wordt toegeschreven aan de coronaontladingen die waargenomen zijn aan de uiteinden van de geleiders. De gemeten waarden zijn acceptabel en komen overeen met de berekende waarden bij hogere spanningsniveaus.



**Figuur 6 - Berekende en gemeten geluidsproductie van de testopstelling**

In Figuur 6 zijn de berekende en gemeten geluidsproductie van de hoogspanningslijn weergegeven zoals opgebouwd voor het testen. In testopstelling is gemeten op 6,5 meter afstand van de lijn. De gemeten geluidsproductie is een combinatie van achtergrondgeluid en coronageluid; de berekende waarden vertegenwoordigen het coronageluid.

## 6 CONCLUSIES

KEMA heeft metingen en berekeningen uitgevoerd om te verifiëren dat de geluidsproductie van het Wintrack-ontwerp, als gevolg van elektrische ontladingen, de ontwerpwaarde niet overschrijdt. De toegepaste meet- en rekenmethoden zijn internationaal erkende methoden.

Op basis van de resultaten van de uitgevoerde berekeningen en testen kan worden geconcludeerd dat het Wintrack-ontwerp voldoet aan de geluidseisen die door TenneT zijn gesteld

De eisen van TenneT zijn een maximale geluidsproductie van 45 dB(A) op een afstand van 37 m uit het hart van de hoogspanningslijn bij natte condities en 30 dB(A) bij droge condities.

Slechts in uitzonderlijke gevallen (<L5 weersomstandigheden) kan het geluidsniveau de ontwerpeis van 45 dBA overschrijden, maar dan alleen in het hart van de hoogspanningslijn.

De geluidsproductie van de hoogspanningslijn kan gedurende een beperkte periode (1 tot 2 jaar) hoger zijn dan waarvoor hij ontworpen is. Naarmate de geleiders verouderen neemt deze geluidsproductie af.

## 7 REFERENTIES

- [1] IEEE standard No. 539-1990, *IEEE Standard Definitions of Terms Related to Corona and field Effects of overhead Power lines*.
- [2] Maruvada, P S., "Corona performance of High-Voltage Transmission Lines", Book, Research Studies Press LTD. 2000, ISBN 0 86380 254 0.
- [3] EPRI AC Transmission Line Reference Book – 200 kV and Above, Third Edition. EPRI Palo Alto, CA: 2005. 1011974.
- [4] Looms J.S.T. "Insulators for High Voltages", Book, IET Power and Energy series 7, 1988, ISBN 0 86341 116 9.
- [5] KEMA document "Onderzoek geluidsreductie 150/380 kV-lijn Beverwijk-Oostzaan", 30720371-Consulting 07-0976, 31 mei 2007
- [6] Cigré Task Force 33.04.01. "Polluted insulators: A Review of Current Knowledge", Cigré Technical Brochure no 158, Paris, June 2000.
- [7] IEC standard 62073 "Guidance on the measurement of wettability of insulator surfaces"
- [8] IEC standard 61284 "Overhead lines – requirements and tests for fittings"

**Impact omvallende  
hoogspanningsmasten 380 kV op  
nabijgelegen bestaande  
gasleidingen**

ir. J.P. Pruiksma

1205314-000

**Titel**

Impact omvallende hoogspanningsmasten 380 kV op nabijgelegen bestaande gasleidingen

**Opdrachtgever**  
Gasunie**Project**  
1205314-000**Kenmerk**  
1205314-000-GEO-0014-  
jvm**Pagina's**  
17**Trefwoorden**

Gasunie, Gasleiding, Tracé Beverwijk-Wijngaarden, Omvallende hoogspanningsmast, 380 kV, maximaal toelaatbare plastische rek.

**Samenvatting**

Het bestaande aardgastransport leidingsysteem van de N.V. Nederlandse Gasunie ligt op drie plaatsen binnen de invloedssfeer van hoogspanningsmasten van de geplande Randstad 380 kV Noordring hoogspanningsverbinding.

Gasunie heeft Deltares gevraagd om voor mast 8 nabij de A-9 (Oostbroekerweg gemeente Velsen), mast 74 in de Hondsdijkse Polder (gemeente Rijnwoude) en mast 96 (ca 800 m ten oosten van de HSL lijn en ten noorden van de N209) de impact van het omvallen van een de hoogspanningsmast op de bestaande gasleidingen te berekenen.

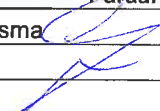


Het omvallen van de drie hoogspanningsmasten en de impact op de bestaande gasleidingen is uitgerekend met behulp van het software pakket ABAQUS. De optredende equivalente plastische rek in de gasleiding is berekend en is getoetst aan de maximaal toelaatbare waarde van 8%.

Het resultaat van de analyse is als volgt samen te vatten:

Mast 8 veroorzaakt bij omvallen 0 % equivalente plastische rek in de gasleiding, zodat geen ontoelaatbare schade zal optreden bij het omvallen van de hoogspanningsmast.

Mast 74 veroorzaakt bij omvallen 0.3 % equivalente plastische rek in de gasleiding, zodat geen ontoelaatbare schade zal optreden bij het omvallen van de hoogspanningsmast.

Mast 96 veroorzaakt bij omvallen 0 % equivalente plastische rek in de gasleiding, zodat geen ontoelaatbare schade zal optreden bij het omvallen van de hoogspanningsmast.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	mei 2012	ir. J.P. Pruiksmā		dr. H.M.G. Kruse		ir. J. van Ruijven	

**Status**

definitief

## Inhoud

<b>1 Inleiding</b>	<b>1</b>
<b>2 Uitgangspunten</b>	<b>3</b>
2.1 Wintrack masten	3
2.2 Gasleidingen en dekking	3
<b>3 Grondopbouw</b>	<b>5</b>
3.1 Mast 8	5
3.2 Mast 74	5
3.3 Mast 96	6
<b>4 Opzet berekeningen</b>	<b>9</b>
4.1 Model voor de masten en bepaling impactsnelheid	9
4.2 Model voor de leiding	10
4.3 Model voor de grond	11
4.4 Samengesteld model en randvoorwaarden	12
4.5 Berekeningsstappen en output	12
<b>5 Resultaten berekeningen</b>	<b>13</b>
<b>6 Conclusies</b>	<b>17</b>

## 1 Inleiding

Het bestaande aardgastransport leidingsysteem van de N.V. Nederlandse Gasunie ligt op drie plaatsen binnen de invloedssfeer van hoogspanningsmasten van de geplande Randstad 380 kV Noordring hoogspanningsverbinding.

Gasunie heeft Deltares gevraagd om voor mast 8 nabij de A-9 (Oostbroekerweg gemeente Velsen), mast 74 in de Hondsdijkse Polder (gemeente Rijnwoude) en mast 96 (ca 800 m ten oosten van de HSL lijn en ten noorden van de N209) de impact van het omvallen van een de hoogspanningsmast op de bestaande gasleidingen te berekenen.

In deze rapportage worden in hoofdstuk 2 de beschikbare gegevens van de masten beschreven en de uitgangspunten voor de berekeningen. In hoofdstuk 3 wordt de grondopbouw beschreven. In hoofdstuk 4 wordt de opzet van de berekeningen toegelicht. Tot slot worden de resultaten van de berekeningen beschreven in hoofdstuk 5, gevolgd door de samenvatting en conclusie.





## 2 Uitgangspunten

Hier worden de beschouwde 380 kV Wintrack masten beschreven, de impactsnelheid en gasleiding eigenschappen.

### 2.1 Wintrack masten

Twee typen Wintrack masten zijn beschouwd:

- Mast 8, type W2H400+5 – Tekening R380N-35-23-W2H400.
- Mast 74, type W4H400Z+5 – Tekening R380N-35-49-W4H400Z.
- Mast 96, type W4S400Z+5 – Tekening R380N-35-48 W4S400Z.

Mast 8 bevindt zich ten noorden van rijksweg A9, nabij de Oosterbroekerweg in de gemeente Velsen. Mast 74 bevindt zich in de Hondsdijkse Polder, gemeente Rijnwoude, net ten noorden van Moerkapelle. Mast 96 bevindt zich ten oosten van Benthuizen, ca 800 m ten oosten van de HSL en even ten noorden van de N209. De onderstaande tabel toont de relevante mastgegevens en berekende maximum impactsnelheden. Bij het bepalen van de impactsnelheid is aangenomen dat de mast omvalt door te breken bij de basis. Dit is volgens Tennet de meest maatgevende situatie. (zie hoofdstuk 4 voor de gebruikte rekenmethode voor het bepalen van de impactsnelheid).

Mast	Hoogte [m]	Diameter [m]		Massa [kg]	V <sub>max</sub> [m/s]
		voet	top		
mast 8 W2H400+5	62	2.4	0.5	52000	48
mast 74 W4H400Z+5	58	2.8	0.5	71204	50
mast 96 W4S400Z+5	58	1.88	0.5	27000	50

Tabel 2.1 Gegevens Wintrack mast 8, 74 en 96 met berekende impactsnelheden aan de top van de mast

### 2.2 Gasleidingen en dekking

Op de locaties van de masten 8, 74 en 96 zijn verschillende typen gasleidingen aanwezig. Onderstaande Tabel 2.2 toont de leidinggegevens en dekking.

Mast	Leiding type	Leidingdiameter [inch]	Wanddikte [mm]	Staalkwaliteit	Dekking [m]
mast 8	A-553	36	13.86	X60	2.0
mast 74	A-553/A-554	36	11.8	X60	2.7
mast 96	A-518	30	9.32	X56	2.0

Tabel 2.2 Gegevens bestaande leidingen nabij mast 8, 74 en 96 met leidingdekking. A-518 is de zwakste leiding ter plaatse van locatie mast 96

De vloeigrens van X60 staal is 413 N/mm<sup>2</sup>. De vloeigrens van X56 staal is 386 N/mm<sup>2</sup>. De rek waarbij insnoering optreedt voor deze staalsoorten zal ergens tussen 12 en 8 % in liggen. De rek bij breuk die de trekproeven aangeven bedraagt ca 20 %. Dit is inclusief het traject

waarbij insnoering optreedt. Echter vanwege onvolkomenheden in het materiaal en de las verbindingen (spiraal / langsnaad) en breuk van de wand, omdat de wanddikte als gevolg van insnoering te dun wordt, wordt deze waarde in het veld niet gehaald.

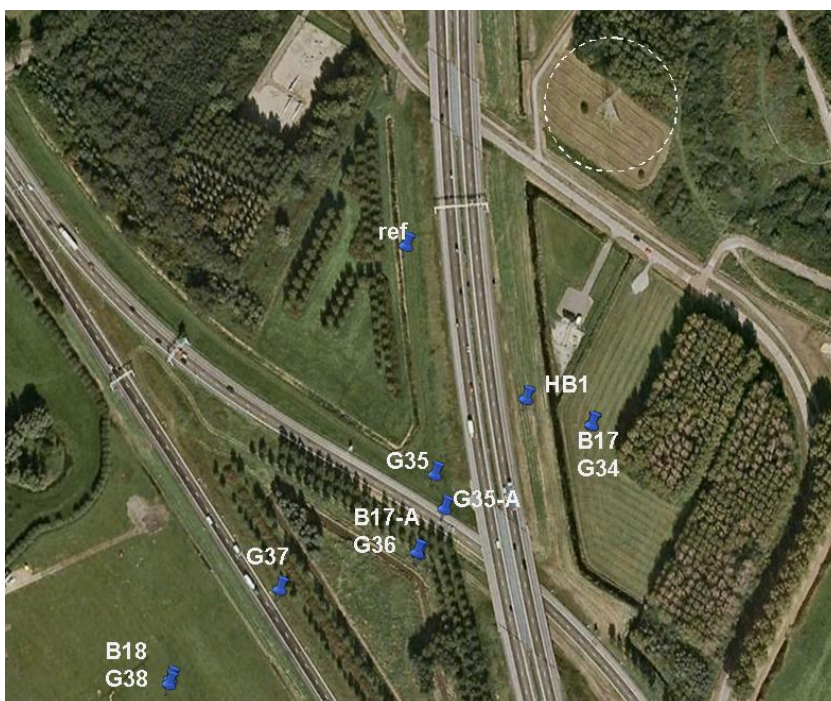
In de berekeningen wordt ervan uitgegaan dat de leiding niet kapot gaat als de equivalente plastische rek onder 8% blijft en dat de leiding kapot gaat als de rek erboven uitkomt. Deze grenswaarde c.q. maximaal toelaatbare waarde voor de equivalente plastische rek is door Gasunie aangegeven.

Binnenin de leiding is een gasdruk opgelegd van 50 bar, volgens Gasunie een conservatieve waarde, omdat de werkelijke druk tijdens de bedrijfsvoering van de leiding hoger is.

### 3 Grondopbouw

#### 3.1 Mast 8

Mast 8 bevindt zich in de nabijheid van het leidingtracé Beverwijk-Wijngaarden langs rijksweg A9, ten Noorden van knooppunt Velsen, nabij de kruising van de A9 met de Oostbroekerweg. Onderstaande figuur toont de locatie. De Wintrackmast is gepland ten westen van de bestaande hoogspanningmast die omcirkeld is. Beschikbare sonderingen en boringen in de omgeving zijn ook in de figuur weergegeven. Aan de hand van de resultaten van het grondonderzoek is de bodemopbouw bepaald.



Figuur 3.1 Locatie mast 8 en locatie sonderingen

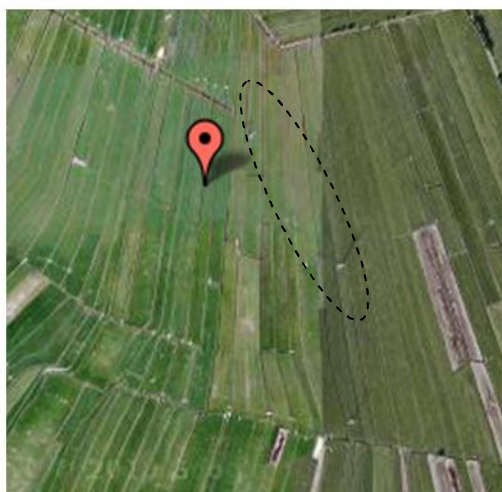
In de onderstaande Tabel 3.1 is de grondopbouw ter plaatse van mast 8 weergegeven.

Grondsoort	Dikte [m]
klei	2.6
zand, schelphoudend	3.4
zand, fijn met kleilaagjes	11.0

Tabel 3.1 Grondopbouw ter plaatse van mast 8

#### 3.2 Mast 74

Mast 74 bevindt zich in de Hondsdijkse Polder, gemeente Rijnwoude, net ten noorden van Moerkapelle. Figuur 3.2 toont de locatie (omcirkeld gebied). De stip in Figuur 3.2 geeft de locatie van de bodeminformatie uit het Dino-loket aan. Aan de hand daarvan is de bodemopbouw bepaald.



NITG-Nummer	B30F0710
OLGA-Nummer	
Rijksdriehoek coördinaten	99010, 462580
UTM31 ED50 coördinaten	607454, 5778933
Bepaling locatie	
Plaatsnaam	
Provincie	Zuid-Holland
Kaartblad	30F
Maaiveld (m t.o.v. NAP)	-1.40

Figuur 3.2 Locatie mast 74

In de onderstaande Tabel 3.2 is de grondopbouw ter plaatse van mast 74 weergegeven.

Grondsoort	Dikte [m]
Humeuze (venige) klei	4.2
Klei	6.2
Zand, kleilig	1.2

Tabel 3.2 Grondopbouw ter plaatse van mast 74

### 3.3 Mast 96

Mast 96 bevindt zich ten oosten van Benthuizen, ca 800 m ten oosten van de HSL en ten noorden van de N209. Figuur 3.3 toont de locatie (omlijnd gebied). De genummerde punten in Figuur 3.3 geven de locatie van beschikbare boringen en sonderingen aan. Aan de hand daarvan is de bodemopbouw ter plaatse van mast 96 bepaald.



Figuur 3.3 Locatie mast 96 en locatie sonderingen

In de onderstaande Tabel 3.3 is de grondopbouw ter plaatse van mast 96 weergegeven.

Grondsoort	Dikte [m]
Klei	1.3
Klei/Leem	5.1
Veen	1.5

Tabel 3.3 Grondopbouw ter plaatse van mast 96



## 4 Opzet berekeningen

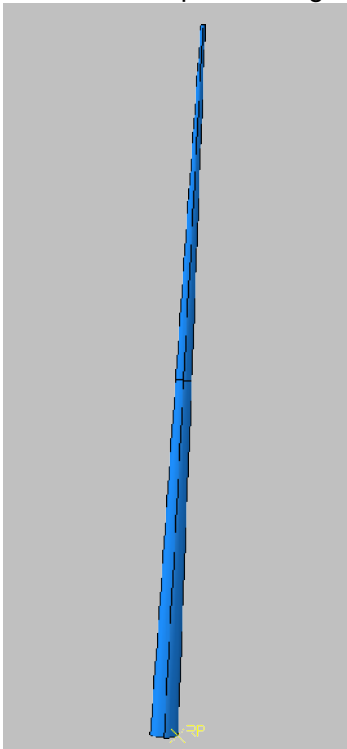
De berekeningen zijn gemaakt met het eindige elementenpakket ABAQUS. Dit pakket maakt het mogelijk om grote grondvervormingen te beschrijven. Het pakket maakt gebruik van speciale contactelementen om de interactie tussen mast-grond, grond-leiding en mast-leiding te beschrijven.

De berekening gaat uit van een expliciet dynamisch schema. De impact en interactie wordt volledig dynamisch doorgerekend. Dit betekent dat de massa-traagheid van de leiding en grond meegenomen wordt en dat er tijdens de impact voortplanting en reflectie van golven door de bodem en leiding plaatsvinden.

Hierna wordt het gebruikte model beschreven, met de keuze van materiaalparameters en aannames.

### 4.1 Model voor de masten en bepaling impactsnelheid

De masten zijn geschematiseerd volgens de parameters gegeven in Tabel 2.1. De masten hebben een diameter die van onder naar boven lineair afneemt. De masten zijn gemodelleerd als een star lichaam waaraan een massa is toegekend volgens de Tabel 2.1. In de praktijk heeft de mast uitsteeksels waaraan de hoogspanningskabels bevestigd worden. Deze uitsteeksels zijn niet gemodelleerd. Het is aangenomen dat deze uitsteeksels zullen breken bij impact en geen risico vormen voor de leiding. Bovendien is de trefkans bij het onverhoopt niet afbreken van de uitsteeksels vele malen lager vanwege de oriëntatie en afmeting. Als een mast met de uitsteeksels plat neervalt, heeft de mast juist meer weerstand in de grond en is de invloed op de leiding lager.

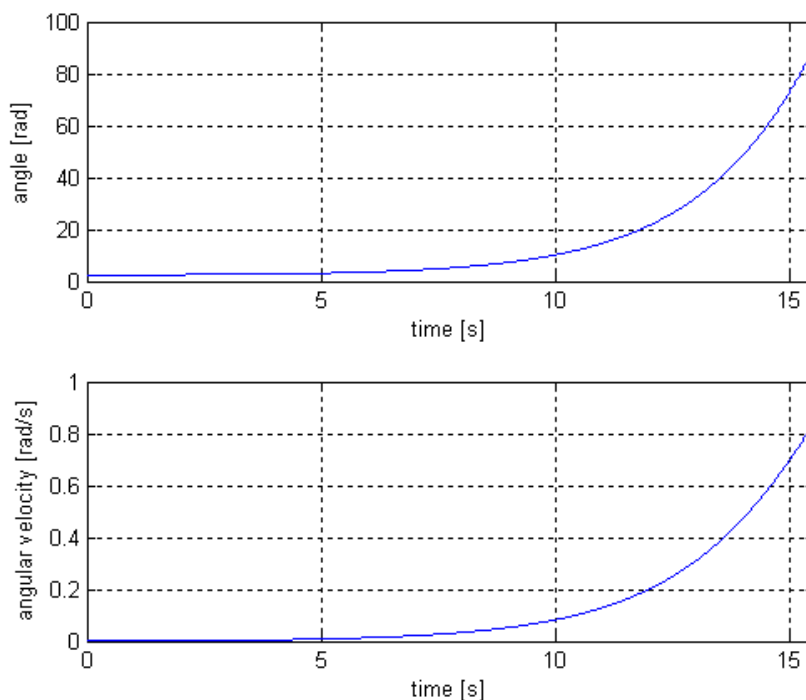


Figuur 4.1 Schematisatie van een hoogspanningsmast met een rotatiepunt (RP) bij de basis waarom de mast roteert tijdens de val



Eerst is de valsnelheid van de mast berekend. Volgens Tennet is de maatgevende situatie dat de mast breekt bij de basis en omvalt door rotatie om de basis. Dit is gemodelleerd in ABAQUS door de mast aan de basis aan een punt vast te houden en vervolgens zo ver te kantelen dat de mast onder zijn eigen gewicht omvalt. Figuur 4.1 toont de geometrie, scheefstand en het rotatiepunt aan de basis aangeduid met RP.

Onder invloed van de zwaartekracht valt de mast om. De berekende rotatiehoek en rotatiesnelheid zijn voor mast 74 weergegeven in Figuur 4.2. Na 15.51 seconden bereikt de mast een hoek van 90 graden. Dan is de rotatiesnelheid 0.86 rad/s. De maximum snelheid aan de top van de mast bij impact is dan  $0.86 \cdot 58 = 50$  m/s.



Figuur 4.2 Resultaten berekening omvallen mast

De mast draait om het kantelpunt. Dit punt zelf verplaatst niet en de verticale snelheid van het kantelpunt bij impact is nul. De snelheid is maximaal aan de top van de mast. Het snelheidsverloop over de mast is lineair aangezien de mast als star lichaam is beschouwd.

In de impactberekening wordt de mast al onder een hoek van 90 graden met de verticaal geplaatst (parallel aan de grond). De berekende rotatiesnelheid (corresponderend met de snelheid juist voor impact) wordt opgelegd in het kantelpunt als beginvoorwaarde, waarna de impact doorgerekend wordt.

## 4.2 Model voor de leiding

De leiding is gemodelleerd met schaalementen, met eigenschappen volgens Tabel 2.2.

Het materiaal van de leiding, X56 en X60 staal, is gemodelleerd als een von Mises materiaal, met een rek afhankelijke vloeigrens. Bij X60 staal is bij een plastische rek van 0% de vloeigrens 413 MPa, bij een plastische rek van 10% is de vloeigrens gestegen tot 510 MPa, daarna daalt de vloeigrens weer. Bij X56 staal is bij een plastische rek van 0% de vloeigrens 386 MPa, bij een plastische rek van 10% is de vloeigrens gestegen tot 478 Mpa, daarna daalt

de vloeigrens weer. Deze functie is ingevoerd in het model samen met de gebruikelijke elastische eigenschappen van staal  $E=210$  GPa,  $\nu=0.2$  en  $\rho=7840$  kg/m<sup>3</sup>.

De rek waarbij insnoering optreedt voor dit staal zal ergens tussen 12 en 8 % in liggen. De rek bij breuk die trekproeven aangeven bedraagt ca 20 %. Dit is inclusief het traject waarbij insnoering optreedt. Echter vanwege onvolkomenheden in het materiaal en de las verbindingen (spiraal / langsnaad) en breuk van de wand omdat de wanddikte als gevolg van insnoering te dun wordt, wordt deze waarde in het veld niet gehaald.

In de berekeningen wordt ervan uitgegaan dat de leiding niet kapot gaat als de equivalente plastische rek onder 8% blijft en dat de leiding kapot gaat als de rek erboven uitkomt. De grenswaarde c.q. maximaal toelaatbare waarde voor de equivalente plastische rek is door Gasunie aangegeven.

#### 4.3 Model voor de grond

De grond is geschematiseerd in het model als een horizontaal gelaagd medium. Uit de beschikbare sonderingen is de grondopbouw afgeleid met parameters zoals weergegeven in onderstaande Tabel 4.1 voor de locatie van mast 8, Tabel 4.2 voor de locatie van mast 74 en Tabel 4.3 voor de locatie van mast 96.

Grondsoort	Dikte [m]	Dichtheid [kg/m <sup>3</sup> ]	Stijfheid [kPa]	Cohesie [kPa]	$\phi$ [graden]	K0 [-]
klei	2.6	1400	1000	2	17.5	0.70
zand, schelphoudend	3.4	1900	10000	0	27.5	0.54
zand, fijn met kleilaagjes	11.0	1900	10000	0	27.5	0.54

Tabel 4.1 Grondlagen en parameters voor de locatie van mast 8

Grond	Dikte [m]	Dichtheid [kg/m <sup>3</sup> ]	Stijfheid [kPa]	Cohesie [kPa]	$\phi$ [graden]	K0 [-]
Humeuze (venige) klei	4.2	1200	700	1	15.0	0.74
Klei	6.2	1600	1500	1	22.5	0.62
Zand, kleilig	1.2	1900	10000	0	27.5	0.54

Tabel 4.2 Grondlagen en parameters voor de locatie van mast 74

Grond	Dikte [m]	Dichtheid [kg/m <sup>3</sup> ]	Stijfheid [kPa]	Cohesie [kPa]	$\phi$ [graden]	K0 [-]
Klei	1.3	1600	1500	1	20.0	0.66
Klei/Leem	5.1	1800	2500	1	22.5	0.62
Veen	1.5	1200	750	3	15.0	0.74

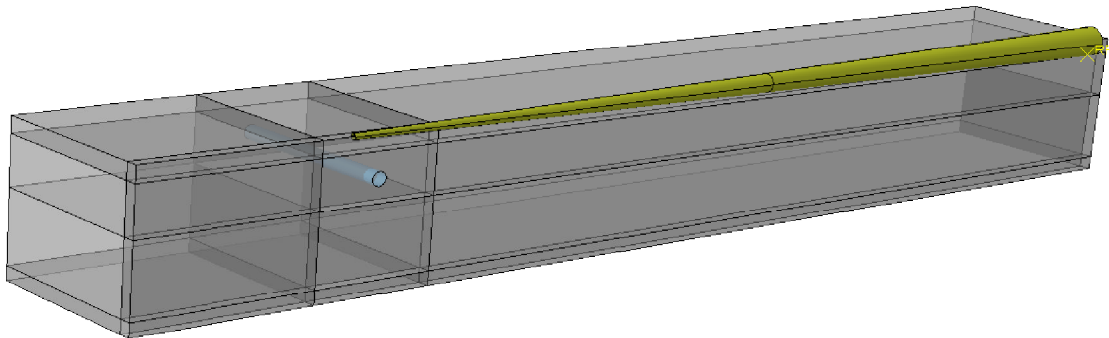
Tabel 4.3 Grondlagen en parameters voor de locatie van mast 96

Aangezien de grondwaterstand zich over het algemeen slechts enige decimeters onder maaiveld bevindt is als maatgevende grondwaterstand voor beide modellen het maaiveldniveau aangehouden.

Ter plaatse van de leiding is in het model de gasleiding gemodelleerd als een buiselement met een diameter volgens Tabel 2.2.

#### 4.4 Samengesteld model en randvoorwaarden

In Figuur 4.3 is het samengestelde model weergegeven bestaande uit de grond, de geschematiseerde hoogspanningsmast en de leiding. Het model heeft 3 grondlagen zoals hierboven aangegeven. In de figuur zijn vier lagen te zien, maar de toplaag is initieel leeg is. In deze laag kan grond instromen tijdens de impact. Dit is nodig voor het Euleriaans modeleren (grote vervormingen).



Figuur 4.3 Samengesteld model met hoogspanningsmast en leiding

De mast bevindt zich initieel parallel aan de grond (de centrale as is horizontaal). In het referentiepunt aan de basis is als beginvoorwaarde de rotatiesnelheid voor het impactmoment opgelegd. De mast penetreert dan op identieke wijze als wanneer deze vanaf de rechtopstaande positie omvalt en roteert om het referentiepunt, zoals hiervoor beschreven.

Het rotatiepunt verplaatst zich niet, en is in de drie (translatie) bewegingsrichtingen vastgehouden tijdens de berekening. De mast kan roteren om de as door het referentiepunt parallel aan de leiding. De andere 2 rotatierichtingen zijn vastgehouden. Vanwege de symmetrie is slechts de helft van het model gemodelleerd.

De leiding bevindt zich in de grond en maakt via contactelementen contact met de omringende grond. De verplaatsing van het uiteinde van de leiding loodrecht op het symmetrievlak is nul vanwege de symmetrie. Dit is opgelegd als randvoorwaarde. Binnenin de leiding is een gasdruk opgelegd van 50 bar, volgens Gasunie een conservatieve waarde, omdat de werkelijke druk tijdens de bedrijfsvoering van de leiding hoger is.

#### 4.5 Berekeningsstappen en output

De berekening verloopt volgens 4 stappen:

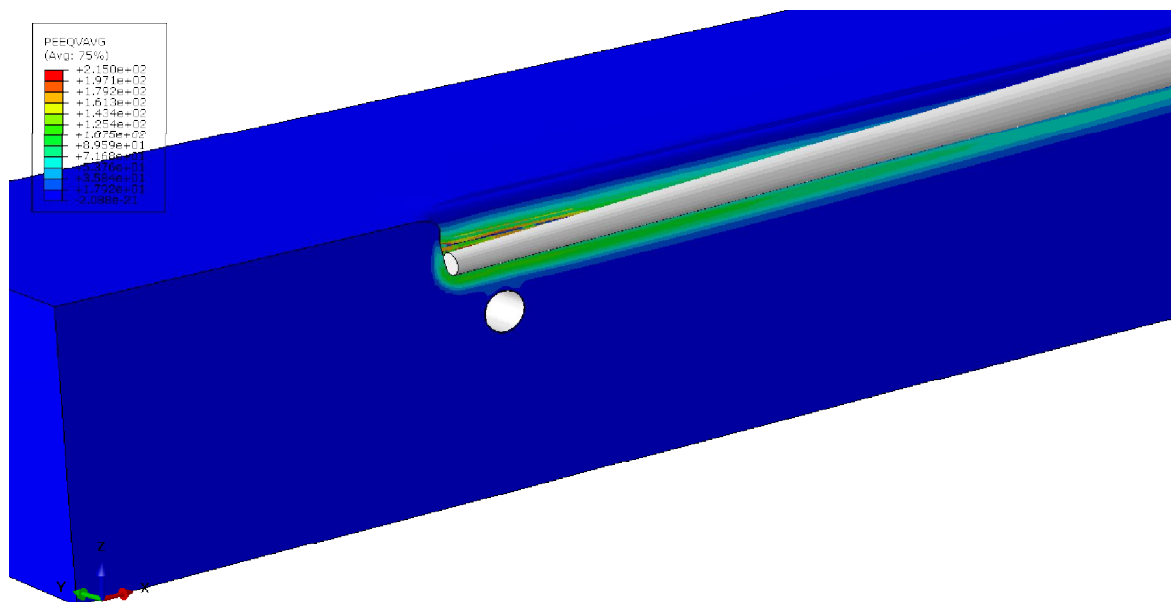
- 1 Aanbrengen initiële grondspanning met  $K_0$  waarde.
- 2 Evenwicht maken vanuit de initiële spanningstoestand met werkelijke belastingen.
- 3 De mast wordt een snelheid "boost" gegeven, door opgeven van de berekende rotatiesnelheid juist voor impact.
- 4 Berekenen van de impact door voortzetten van de berekening.

Als output wordt de equivalente plastische rek in de pijpleiding bepaald en getoetst aan het plastische rek criterium van 8 %.

## 5 Resultaten berekeningen

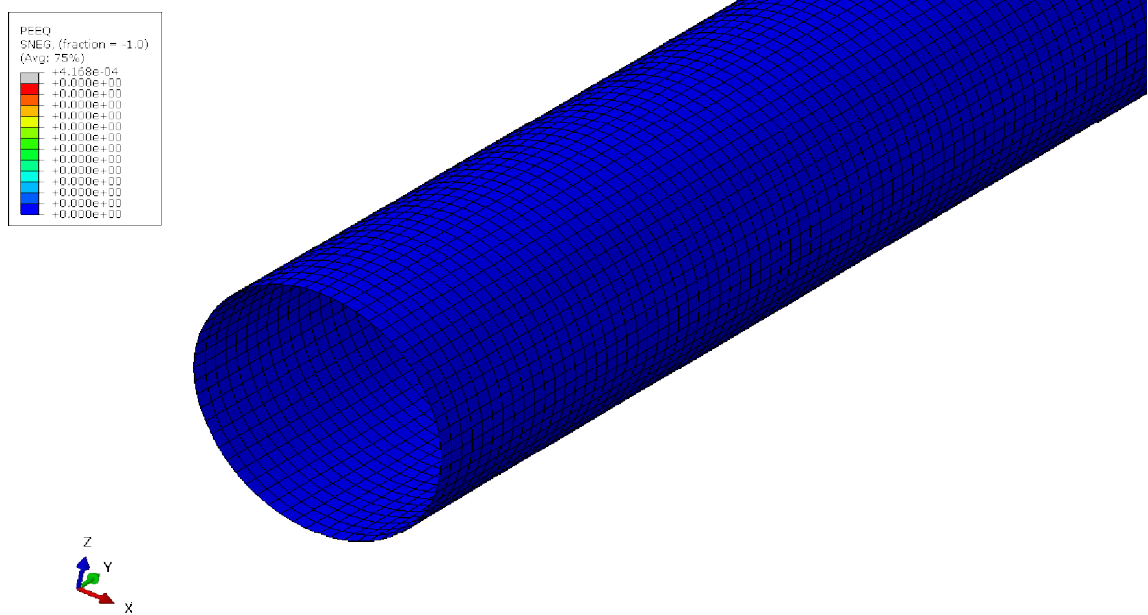
De berekeningen zijn uitgevoerd volgens de methode beschreven in het vorige hoofdstuk. De gebruikte dekking van de leiding is 2.0 m voor mast 8, 2.7 m voor mast 74 en 2.0 m voor mast 96.

Figuur 5.1 toont het eindresultaat van de berekening voor mast 8. De plastische rek in de grond is als contour weergegeven. Te zien is dat de rek sterk gelokaliseerd is in de buurt van de impact van de mast. De berekende equivalente plastische rek in de leiding is 0 %.



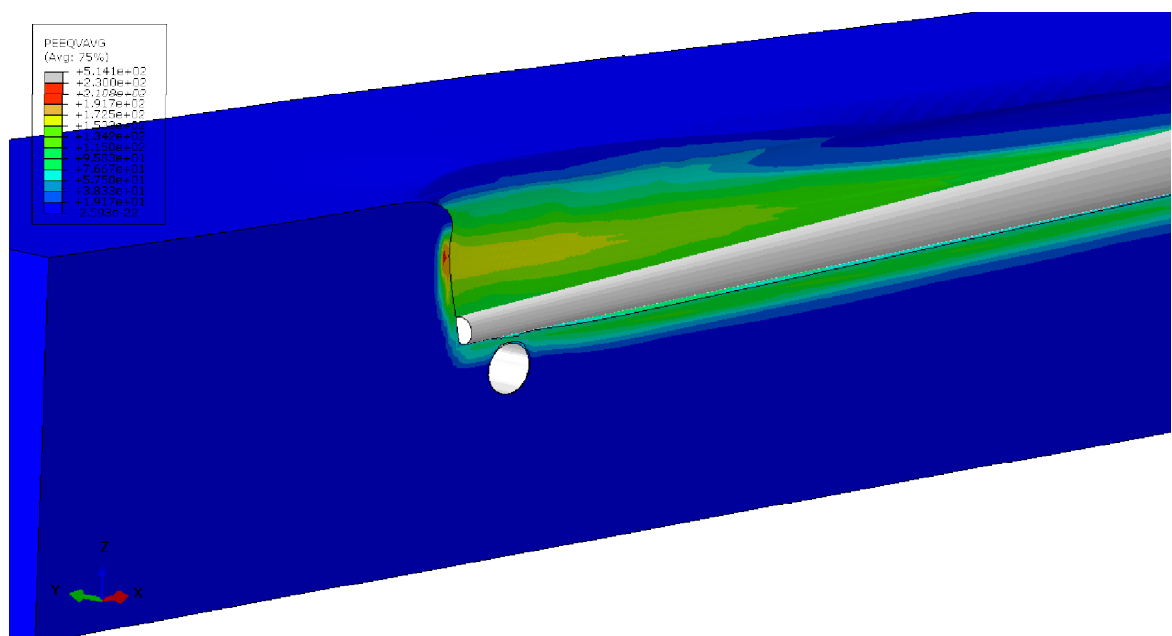
Figuur 5.1 Penetratie van mast 8, met contouren van de plastische rek in de grond. De indringdiepte van de mast is  $m$ . De plastische rek in de leiding is 0 %

Figuur 5.2 toont het eindresultaat voor de berekening voor mast 8. De grond is weggelaten om de plastische rek in de leiding zichtbaar te maken. De maximum equivalente plastische rek is 0 % en de vervorming is zuiver elastisch.



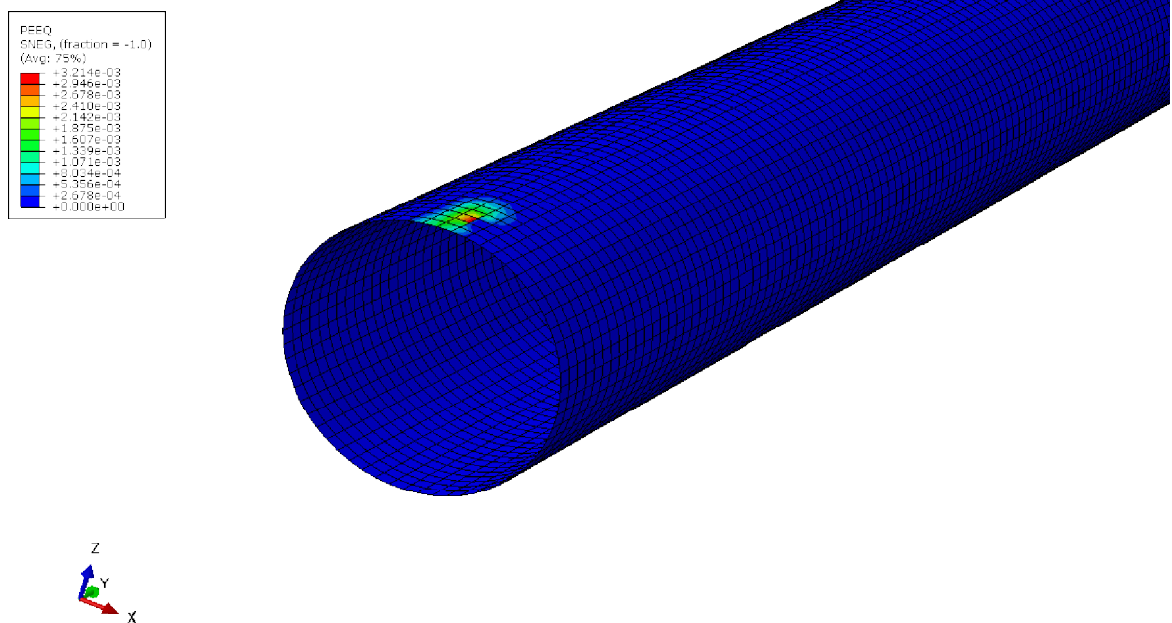
Figuur 5.2 Plastische rek in de leiding bij de berekening voor mast 8. De maximum rek is 0 %

Figuur 5.3 toont het eindresultaat van de berekening voor mast 74. De plastische rek in de grond is als contour weergegeven. Te zien is dat de rek sterk gelokaliseerd is in de buurt van de impact van de mast. De berekende equivalente plastische rek in de leiding is 0.3 %.



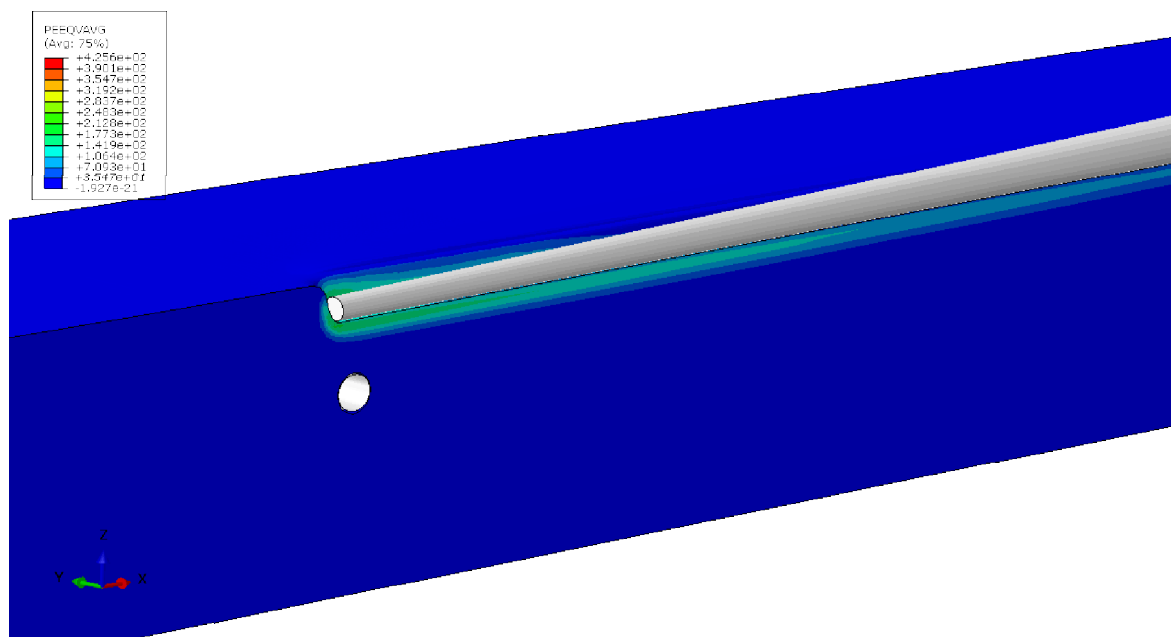
Figuur 5.3 Penetratie van mast 74, met contouren van de plastische rek in de grond. De indringdiepte van de mast is 2.5 m. De plastische rek in de leiding is 0.3 %

Figuur 5.4 toont het eindresultaat voor de berekening voor mast 74. De grond is weggelaten om de plastische rek in de leiding zichtbaar te maken. De maximum equivalente plastische rek is 0.3 %.



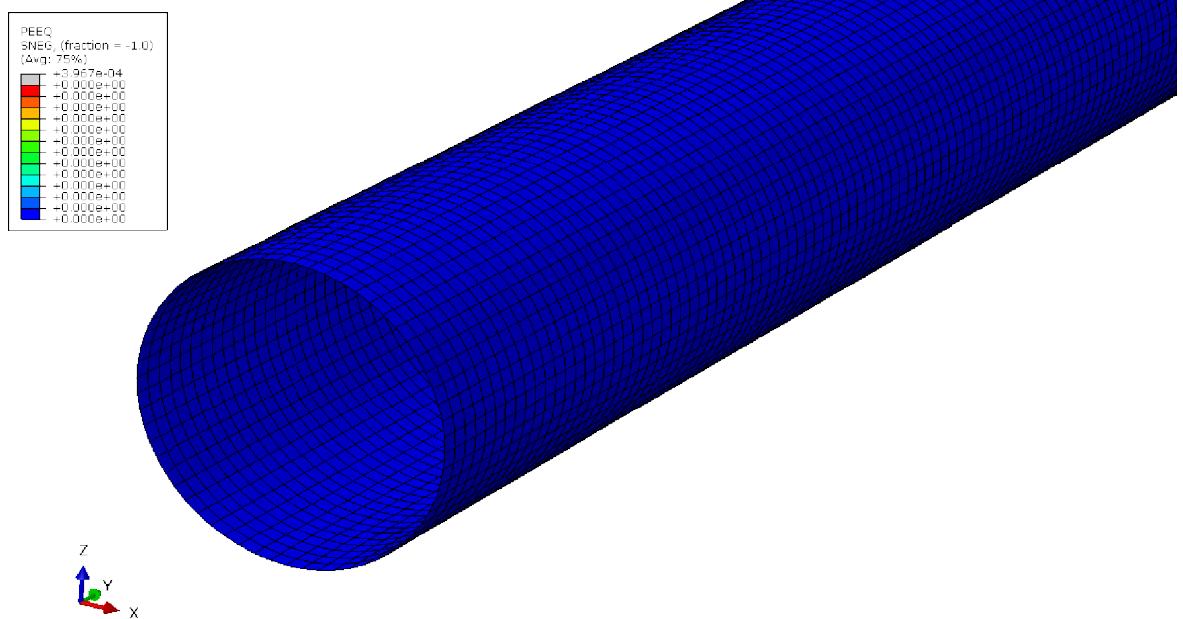
Figuur 5.4 Plastische rek in de leiding bij de berekening voor mast 74. De maximum rek is 0.3 %

Figuur 5.5 en Figuur 5.6 tonen het eindresultaat van de berekening voor mast 96. Figuur 5.5 toont het eindresultaat van de berekening voor mast 74. De plastische rek in de grond is als contour weergegeven. De berekende equivalente plastische rek in de leiding is 0 %. De vervorming van de leiding is zuiver elastisch.



Figuur 5.5 Penetratie van mast 96, met contouren van de plastische rek in de grond. De indringdiepte van de mast is m. De plastische rek in de leiding is 0%

Figuur 5.6 toont het eindresultaat voor de berekening voor mast 96. De grond is weggelaten om de plastische rek in de leiding zichtbaar te maken. De maximum equivalente plastische rek is 0 % en de vervorming is zuiver elastisch.



Figuur 5.6 Plastische rek in de leiding bij de berekening voor mast 96. De maximum rek is 0 %. De vervorming is zuiver elastisch

## 6 Conclusies

Het bestaande aardgastransport leidingsysteem van de N.V. Nederlandse Gasunie ligt op drie plaatsen binnen de invloedssfeer van hoogspanningsmasten van de geplande Randstad 380 kV Noordring hoogspanningsverbinding.

Gasunie heeft Deltares gevraagd om voor mast 8 nabij de A-9 (Oostbroekerweg gemeente Velsen), mast 74 in de Hondsdijkse Polder (gemeente Rijnwoude) en mast 96 (ca 800 m ten oosten van de HSL lijn en ten noorden van de N209) de impact van het omvallen van een de hoogspanningsmast op de bestaande gasleidingen te berekenen.

Het omvallen van de drie hoogspanningsmasten en de impact op de bestaande gasleidingen is uitgerekend met behulp van het software pakket ABAQUS. De optredende equivalente plastische rek in de gasleiding is berekend en is getoetst aan de maximaal toelaatbare waarde van 8%.

Het resultaat van de analyse is als volgt samen te vatten:

Mast 8 veroorzaakt bij omvallen 0 % equivalente plastische rek in de gasleiding, zodat geen ontoelaatbare schade zal optreden bij het omvallen van de hoogspanningsmast.

Mast 74 veroorzaakt bij omvallen 0.3 % equivalente plastische rek in de gasleiding, zodat geen ontoelaatbare schade zal optreden bij het omvallen van de hoogspanningsmast.

Mast 96 veroorzaakt bij omvallen 0 % equivalente plastische rek in de gasleiding, zodat geen ontoelaatbare schade zal optreden bij het omvallen van de hoogspanningsmast



# **Impact omvallende hoogspanningsmasten 380 kV op nabijgelegen gasleiding**

HS mast nabij de A-9 ( Oostbroekerweg gem. velsen)  
HS mast in de Hondsdijkse Polder ( gem. Rijnwoude)

ir. J.P. Pruiksma

1205314-000

**Titel**

Impact omvallende hoogspanningsmasten 380 kV op nabijgelegen gasleiding

<b>Opdrachtgever</b>	<b>Project</b>	<b>Kenmerk</b>	<b>Pagina's</b>
Gasunie	1205314-000	1205314-000-GEO-0010	15

**Trefwoorden**

Gasunie, Gasleiding, Tracé Beverwijk-Wijngaarden, Omvallende hoogspanningsmast, 380 kV, maximaal toelaatbare plastische rek.

**Samenvatting**

N.V. Nederlandse Gasunie is van plan een nieuw aardgastransport leidingsysteem aan te leggen, dat deel uitmaakt van het Nederlandse gas transportstelsel. Het nieuwe leiding tracé is gepland tussen Beverwijk en Wijngaarden. Dit tracé ligt op drie plaatsen binnen de invloedssfeer van hoogspanningsmasten van de geplande Randstad 380 kV Noordring hoogspanningsverbinding.




Voor twee van deze masten is uitgerekend wat de impact op de gasleiding is bij omvallen. Mast 8 nabij de A-9 (Oostbroekerweg gem. Velsen) en mast 74 in de Hondsdijkse Polder (gem. Rijnwoude).

Het omvallen van de twee hoogspanningsmasten en impact op de gasleiding is uitgerekend met behulp van het software pakket ABAQUS. De optredende equivalente plastische rek in de gasleiding is berekend en is getoetst aan de maximaal toelaatbare waarde van 8%.

Het resultaat van de analyse is als volgt samen te vatten:

Mast 8 veroorzaakt bij omvallen 0% equivalente plastische rek in de gasleiding, zodat geen ontoelaatbare schade zal optreden bij het omvallen van de HS mast.

Mast 74 veroorzaakt bij omvallen 1.4 % equivalente plastische rek in de gasleiding, zodat geen ontoelaatbare schade zal optreden bij het omvallen van de HS mast.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	mrt. 2012	ir. J.P. Pruiksmā		dr. H.M.G. Kruse		ir. J. van Ruijven	
2	apr. 2012	ir. J.P. Pruiksmā		dr. H.M.G. Kruse		ir. J. van Ruijven	

**Status**

definitief

## Inhoud

<b>1 Inleiding</b>	<b>1</b>
<b>2 Uitgangspunten</b>	<b>3</b>
2.1 Wintrack masten	3
2.2 Gasleiding en dekking	3
<b>3 Grondopbouw</b>	<b>5</b>
3.1 Mast 8	5
3.2 Mast 74	5
<b>4 Opzet berekeningen</b>	<b>7</b>
4.1 Model voor de masten en bepaling impactsnelheid	7
4.2 Model voor de leiding	8
4.3 Model voor de grond	9
4.4 Samengesteld model en randvoorwaarden	9
4.5 Berekeningsstappen en output	10
<b>5 Resultaten berekeningen</b>	<b>11</b>
<b>6 Conclusies</b>	<b>15</b>

## 1 Inleiding

N.V. Nederlandse Gasunie is van plan een nieuw aardgastransport leidingsysteem aan te leggen, dat deel uitmaakt van het Nederlandse gas transportstelsel. Het nieuwe leiding tracé is gepland tussen Beverwijk en Wijngaarden. Dit tracé ligt op drie plaatsen binnen de invloedssfeer van hoogspanningsmasten van de geplande Randstad 380 kV Noordring hoogspanningsverbinding.

Gasunie heeft Deltares gevraagd om voor mast 8 nabij de A-9 ( Oostbroekerweg gem. Velsen) en mast 74 in de Hondsdijkse Polder (gem. Rijnwoude) de impact van het omvallen op de gasleiding te berekenen.

In deze rapportage worden in hoofdstuk 2 de beschikbare gegevens van de masten beschreven en de uitgangspunten voor de berekeningen. In hoofdstuk 3 wordt de grondopbouw beschreven. In hoofdstuk 4 wordt de opzet van de berekeningen toegelicht. Tot slot worden de resultaten van de berekeningen beschreven in hoofdstuk 5, gevolgd door de samenvatting en conclusie.



## 2 Uitgangspunten

Hier worden de beschouwde 380 kV Wintrack masten beschreven, de impactsnelheid en gasleiding eigenschappen.

### 2.1 Wintrack masten

Twee typen Wintrack masten zijn beschouwd:

mast 8, type W2H400+5 – Tekening R380N-35-23-W2H400

mast 74, type W4H400Z+5 – Tekening R380N-35-49-W4H400Z

Mast 8 bevindt zich ten noorden van rijksweg A9, nabij de Oosterbroekerweg in de gemeente Velsen. Mast 74 bevindt zich in de Hondsdijkse Polder, gemeente Rijnwoude, net ten noorden van Moerkapelle. De onderstaande tabel toont de relevante mastgegevens en berekende maximum impactsnelheden. Bij het bepalen van de impactsnelheid is aangenomen dat de mast omvalt door te breken bij de basis. Dit is volgens Tennet de meest maatgevende situatie. (zie hoofdstuk 4 voor de gebruikte rekenmethode voor het bepalen van de impactsnelheid).

mast	hoogte [m]	diameter [m]		massa [kg]	V <sub>max</sub> [m/s]
		voet	top		
mast 8 W2H400+5	62	2.4	0.5	52000	48
mast 74 W4H400Z+5	58	2.8	0.5	71204	50

Tabel 2.1 Gegevens Wintrack mast 8 en 74 met berekende impactsnelheden aan de top van de mast.

### 2.2 Gasleiding en dekking

De leiding heeft een diameter van 48"=1.21 m. De wanddikte van de leiding is 15.9 mm. Het materiaal van de leiding is L485 staal, ook bekend als X70 staal.

De rek waarbij insnoering optreedt voor dit staal zal ergens tussen 12 en 8 % in liggen. De rek bij breuk die de trekproeven aangeven voor L485 bedraagt ca 20 %. Dit is inclusief het traject waarbij insnoering optreedt. Echter vanwege onvolkomenheden in het materiaal en de las verbindingen (spiraal / langsnaad) en breuk van de wand omdat de wanddikte als gevolg van insnoering te dun wordt, wordt deze waarde in het veld niet gehaald.

In de berekeningen wordt ervan uitgegaan dat de leiding niet kapot gaat als de equivalente plastische rek onder 8% blijft en dat de leiding kapot gaat als de rek erboven uitkomt. Deze grenswaarde c.q. maximaal toelaatbare waarde voor de equivalente plastische rek is door Gasunie aangegeven.

Binnenin de leiding is een gasdruk opgelegd van 50 bar, volgens Gasunie een conservatieve waarde, omdat de werkelijke druk tijdens de bedrijfsvoering van de leiding hoger is.

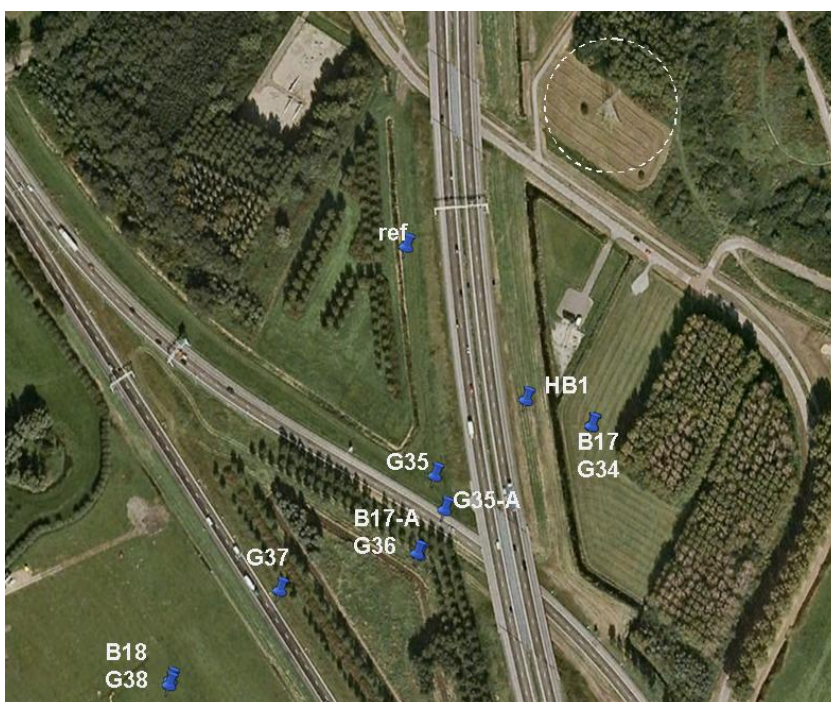
Voor het deel van het leidingtracé in de nabijheid van mast 8 is een dekking van mv – 1.5 m maatgevend. Bij mast 74 is dit mv - 2.5 m.



### 3 Grondopbouw

#### 3.1 Mast 8

Mast 8 bevindt zich in de nabijheid van het leidingtracé Beverwijk-Wijngaarden langs rijksweg A9, ten Noorden van knooppunt Velsen, nabij de kruising van de A9 met de Oostbroekerweg. Onderstaande figuur toont de locatie. De Wintrackmast is gepland ten westen van de bestaande hoogspanningmast die omcirkeld is. Beschikbare sonderingen in de omgeving zijn ook in de figuur weergegeven.



Figuur 3.1 Locatie mast 8 en locatie sonderingen.

In de onderstaande Tabel 3.1 is de grondopbouw ter plaatse van mast 8 weergegeven.

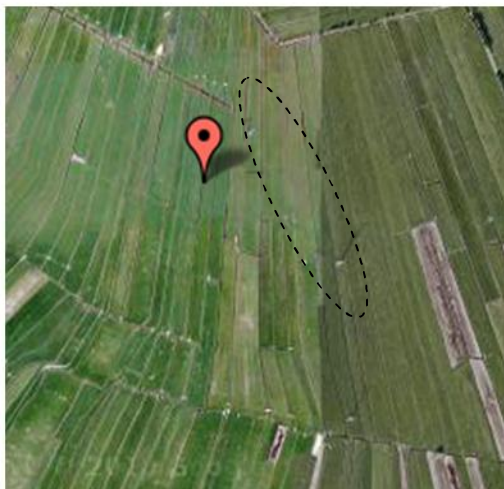
Grondsoort	Dikte [m]
klei	2.6
zand, schelphoudend	3.4
zand, fijn met kleilaagjes	11.0

Tabel 3.1 Grondopbouw ter plaatse van mast 8

#### 3.2 Mast 74

Mast 74 bevindt zich in de Hondsdijkse Polder, gemeente Rijnwoude, net ten noorden van Moerkapelle. Figuur 3.2 toont de locatie (omcirkeld gebied). De stip in Figuur 3.2 geeft de locatie van de bodeminformatie uit Dino-loket aan. Aan de hand daarvan is de bodemopbouw bepaald.





NITG-Nummer	B30F0710
OLGA-Nummer	
Rijksdriehoek coördinaten	99010, 462580
UTM31 ED50 coördinaten	607454, 5778933
Bepaling locatie	
Plaatsnaam	
Provincie	Zuid-Holland
Kaartblad	30F
Maaiveld (m t.o.v. NAP)	-1.40

Figuur 3.2 Locatie mast 74.

In de onderstaande Tabel 3.2 is de grondopbouw ter plaatse van mast 74 weergegeven.

Grondsoort	Dikte [m]
Humeuze (venige) klei	4.2
Klei	6.2
Zand, kleilig	1.2

Tabel 3.2 Grondopbouw ter plaatse van mast 74

## 4 Opzet berekeningen

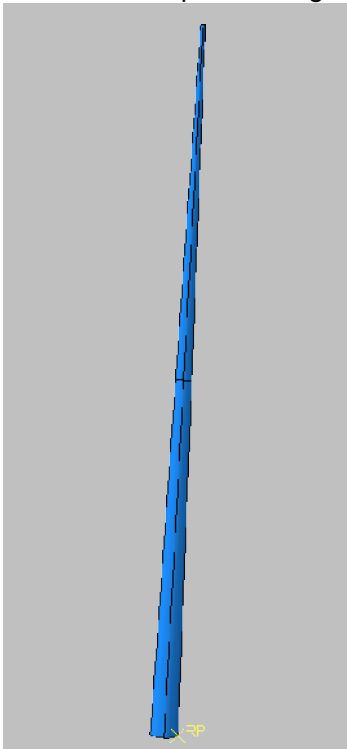
De berekeningen zijn gemaakt met het eindige elementenpakket ABAQUS. Dit pakket maakt het mogelijk om grote grondvervormingen te beschrijven. Het pakket maakt gebruik van speciale contactelementen om de interactie tussen mast-grond, grond-leiding en mast-leiding te beschrijven.

De berekening gaat uit van een expliciet dynamisch schema. De impact en interactie wordt volledig dynamisch doorgerekend. Dit betekent dat de massa-traagheid van de leiding en grond meegenomen wordt en dat er tijdens de impact voortplanting en reflectie van golven door de bodem en leiding plaatsvinden.

Hierna wordt het gebruikte model beschreven, met de keuze van materiaalparameters en aannames.

### 4.1 Model voor de masten en bepaling impactsnelheid

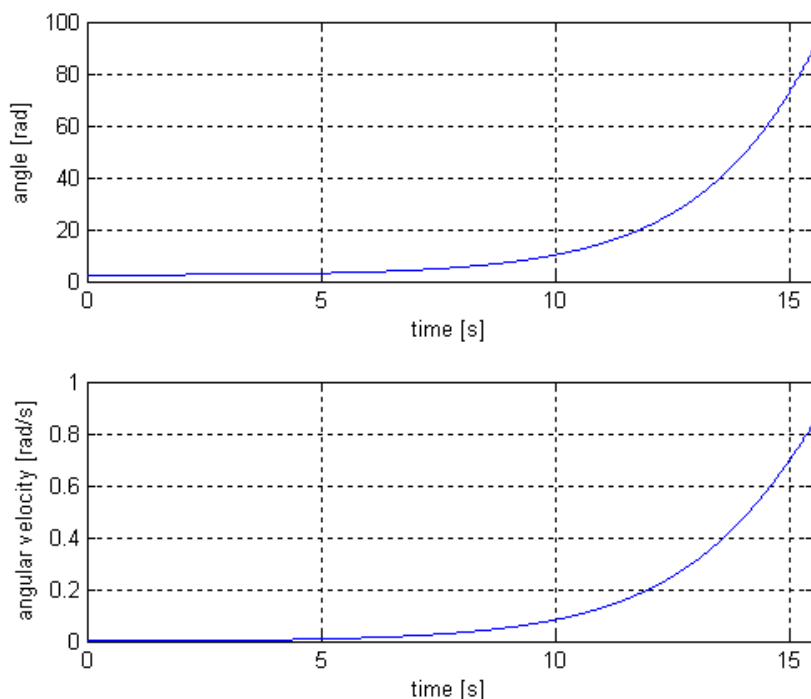
De masten zijn geschematiseerd volgens de parameters gegeven in Tabel 2.1. De masten hebben een diameter die van onder naar boven lineair afneemt. De masten zijn gemodelleerd als een star lichaam waaraan een massa is toegekend volgens de Tabel 2.1. In de praktijk heeft de mast uitsteeksels waaraan de hoogspanningskabels bevestigd worden. Deze uitsteeksels zijn niet gemodelleerd. Het is aangenomen dat deze uitsteeksels zullen breken bij impact en geen risico vormen voor de leiding. Bovendien is de trefkans bij het onverhoopt niet afbreken van de uitsteeksels vele malen lager vanwege de oriëntatie en afmeting. Als een mast met de uitsteeksels plat neervalt, heeft de mast juist meer weerstand in de grond en is de invloed op de leiding lager.



Figuur 4.1 Schematisatie van een hoogspanningsmast met een rotatiepunt (RP) bij de basis waarom de mast roteert tijdens de val.

Eerst is de valsnelheid van de mast berekend. Volgens Tennet is de maatgevende situatie dat de mast breekt bij de basis en omvalt door rotatie om de basis. Dit is gemodelleerd in ABAQUS door de mast aan de basis aan een punt vast te houden en vervolgens zo ver te kantelen dat de mast onder zijn eigen gewicht omvalt. Figuur 4.1 toont de geometrie, scheefstand en het referentiepunt aan de basis aangeduid met RP.

Onder invloed van de zwaartekracht valt de mast om. De berekende rotatiehoek en rotatiesnelheid zijn voor mast 74 weergegeven in Figuur 4.2. Na 15.51 seconden bereikt de mast een hoek van 90 graden. Dan is de rotatiesnelheid 0.86 rad/s. De maximum snelheid aan de top van de mast bij impact is dan  $0.86 \cdot 58 = 50$  m/s.



Figuur 4.2 Resultaten berekening omvallen mast.

De mast draait om het kantelpunt. Dit punt zelf verplaatst niet en de verticale snelheid van het kantelpunt bij impact is nul. De snelheid is maximaal aan de top van de mast. Het snelheidsverloop over de mast is lineair aangezien de mast als star lichaam is beschouwd.

In de impactberekening wordt de mast al onder een hoek van 90 graden met de verticaal geplaatst (parallel aan de grond). De berekende rotatiesnelheid (corresponderend met de snelheid juist voor impact) wordt opgelegd in het kantelpunt als beginvoorwaarde, waarna de impact doorgerekend wordt.

## 4.2 Model voor de leiding

De leiding is gemodelleerd met schaalementen en heeft een diameter van  $48'' = 1.21$  m. De wanddikte van de leiding is 15.9 mm.

Het materiaal van de leiding is L485 staal, ook bekend als X70 staal. Dit staal is gemodelleerd als een von Mises materiaal, met een rek afhankelijke vloeigrens. Bij een

plastische rek nul is de vloeigrens 485 MPa, bij een plastische rek van 10% is de vloeigrens gestegen tot 600 MPa, daarna daalt de vloeigrens weer. Deze functie is ingevoerd in het model samen met de gebruikelijke elastische eigenschappen van staal  $E=210$  GPa,  $\nu=0.2$  en  $\rho=7840$  kg/m<sup>3</sup>.

De rek waarbij insnoering optreedt voor dit staal zal ergens tussen 12 en 8 % in liggen. De rek bij breuk die de trekproeven aangeven voor L485 bedraagt ca 20 %. Dit is inclusief het traject waarbij insnoering optreedt. Echter vanwege onvolkomenheden in het materiaal en de las verbindingen (spiraal / langsnaad) en breuk van de wand omdat de wanddikte als gevolg van insnoering te dun wordt, wordt deze waarde in het veld niet gehaald.

In de berekeningen wordt ervan uitgegaan dat de leiding niet kapot gaat als de equivalente plastische rek onder 8% blijft en dat de leiding kapot gaat als de rek erboven uitkomt. De grenswaarde c.q. maximaal toelaatbare waarde voor de equivalente plastische rek is door Gasunie aangegeven.

#### 4.3 Model voor de grond

De grond is geschematiseerd in het model als een horizontaal gelaagd medium. Uit de beschikbare sonderingen is de grondopbouw afgeleid met parameters zoals weergegeven in onderstaande Tabel 4.1 voor de locatie van mast 8 en Tabel 4.2 voor de locatie van mast 74.

Grondsoort	Dikte [m]	Dichtheid [kg/m <sup>3</sup> ]	Stijfheid [kPa]	Cohesie [kPa]	$\phi$ [graden]	K0 [-]
klei	2.6	1400	1000	2	17.5	0.70
zand, schelphoudend	3.4	1900	10000	0	27.5	0.54
zand, fijn met kleilaagjes	11.0	1900	10000	0	27.5	0.54

Tabel 4.1 Grondlagen en parameters voor de locatie van mast 8.

Grond	Dikte [m]	Dichtheid [kg/m <sup>3</sup> ]	Stijfheid [kPa]	Cohesie [kPa]	$\phi$ [graden]	K0 [-]
Humeuze (venige) klei	4.2	1200	700	1	15.0	0.74
Klei	6.2	1600	1500	1	22.5	0.62
Zand, kleiig	1.2	1900	10000	0	27.5	0.54

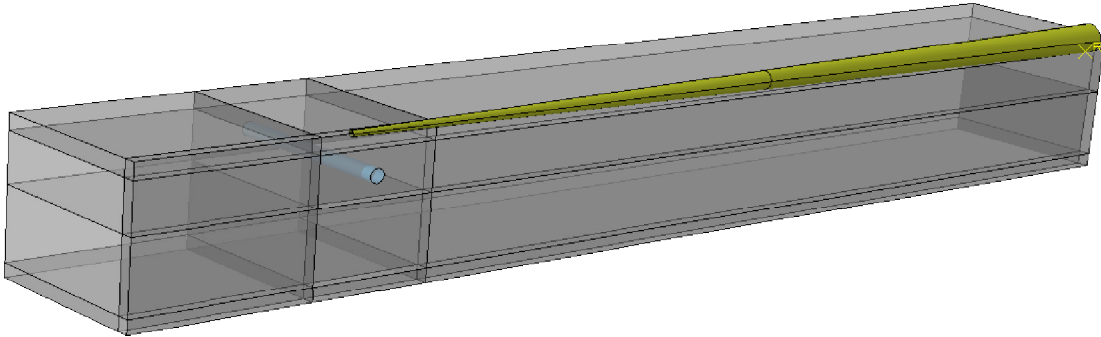
Tabel 4.2 Grondlagen en parameters voor de locatie van mast 74.

Aangezien de grondwaterstand zich over het algemeen slechts enige decimeters onder maaiveld bevindt is als maatgevende grondwaterstand voor beide modellen het maaiveldniveau aangehouden.

Ter plaatse van de leiding is in het model de gasleiding gemodelleerd als een buiselement met een diameter van 48" en een bijhorende wanddikte van 15.9 mm.

#### 4.4 Samengesteld model en randvoorwaarden

In Figuur 4.3 is het samengestelde model weergegeven bestaande uit de grond, de geschematiseerde hoogspanningsmast en de leiding. Het model heeft 3 grondlagen zoals hierboven aangegeven. In de figuur zijn vier lagen te zien, maar de toplaag is initieel leeg is. In deze laag kan grond instromen tijdens de impact. Dit is nodig voor het Euleriaans modeleren (grote vervormingen).



Figuur 4.3 Samengesteld model met hoogspanningsmast en leiding

De mast bevindt zich initieel parallel aan de grond (de centrale as is horizontaal). In het referentiepunt aan de basis is als beginvoorwaarde de rotatiesnelheid voor het impactmoment opgelegd. De mast penetreert dan op identieke wijze als wanneer deze vanaf de rechtopstaande positie omvalt en roteert om het referentiepunt, zoals hiervoor beschreven.

Het rotatiepunt verplaatst zich niet, en is in de drie (translatie) bewegingsrichtingen vastgehouden tijdens de berekening. De mast kan roteren om de as door het referentiepunt parallel aan de leiding. De andere 2 rotatierichtingen zijn vastgehouden. Vanwege de symmetrie is slechts de helft van het model gemodelleerd.

De leiding bevindt zich in de grond en maakt via contactelementen contact met de omringende grond. De verplaatsing van het uiteinde van de leiding loodrecht op het symmetrievlak is nul vanwege de symmetrie. Dit is opgelegd als randvoorwaarde. Binnenin de leiding is een gasdruk opgelegd van 50 bar, volgens Gasunie een conservatieve waarde, omdat de werkelijke druk tijdens de bedrijfsvoering van de leiding hoger is.

#### 4.5 Berekeningsstappen en output

De berekening verloopt volgens 4 stappen:

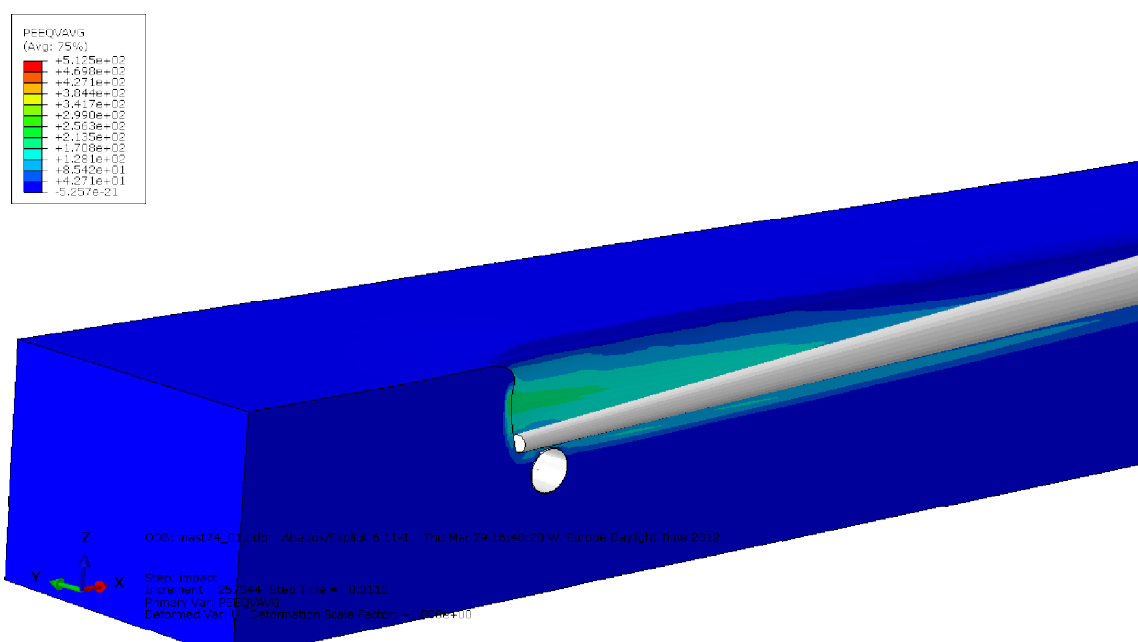
- 1 Aanbrengen initiële grondspanning met  $K_0$  waarde.
- 2 Evenwicht maken vanuit de initiële spanningstoestand met werkelijke belastingen.
- 3 De mast wordt een snelheid "boost" gegeven, door opgeven van de berekende rotatiesnelheid juist voor impact.
- 4 Berekenen van de impact door voortzetten van de berekening.

Als output wordt de equivalente plastische rek in de pijpleiding bepaald en getoetst aan het plastische rek criterium van 8 %.

## 5 Resultaten berekeningen

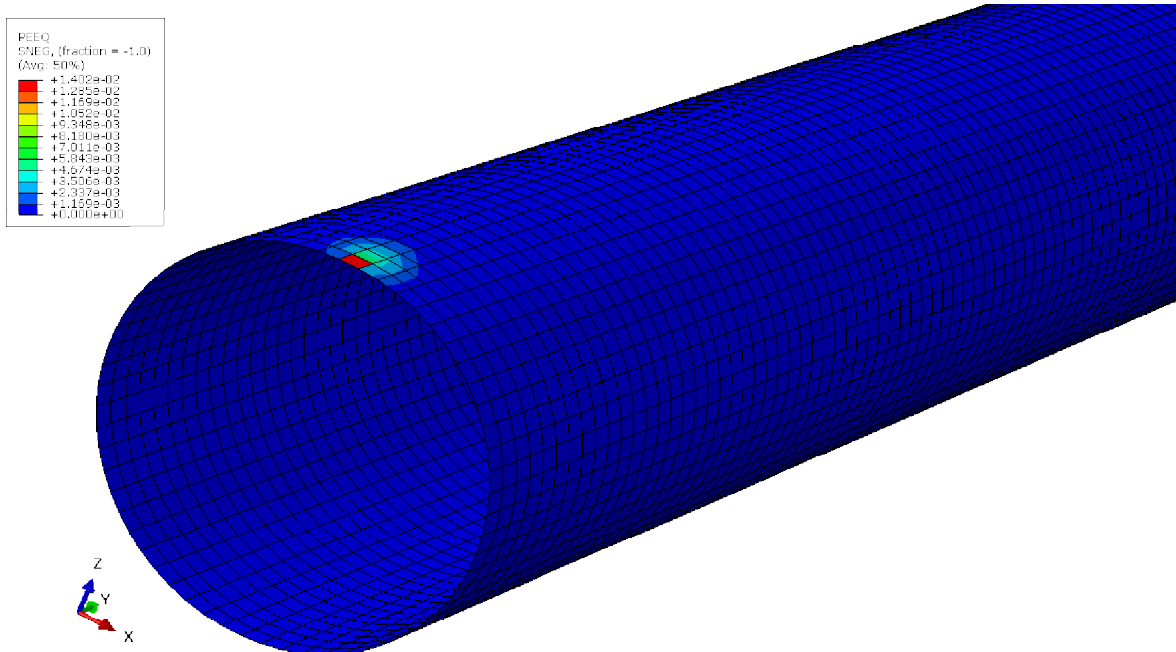
De berekeningen zijn uitgevoerd volgens de methode beschreven in het vorige hoofdstuk. De gebruikte dekking van de leiding is 1.5 m voor mast 8 en 2.5 m voor mast 74.

Figuur 5.1 toont het eindresultaat van de berekening voor mast 74. De plastische rek in de grond is als contour weergegeven. Te zien is dat de rek sterk gelokaliseerd is in de buurt van de impact van de mast. De maximale indringdiepte van de mast (treedt op ter plaatse van de leiding) is 2.4 m. De berekende equivalente plastische rek in de leiding is 1.4 %.



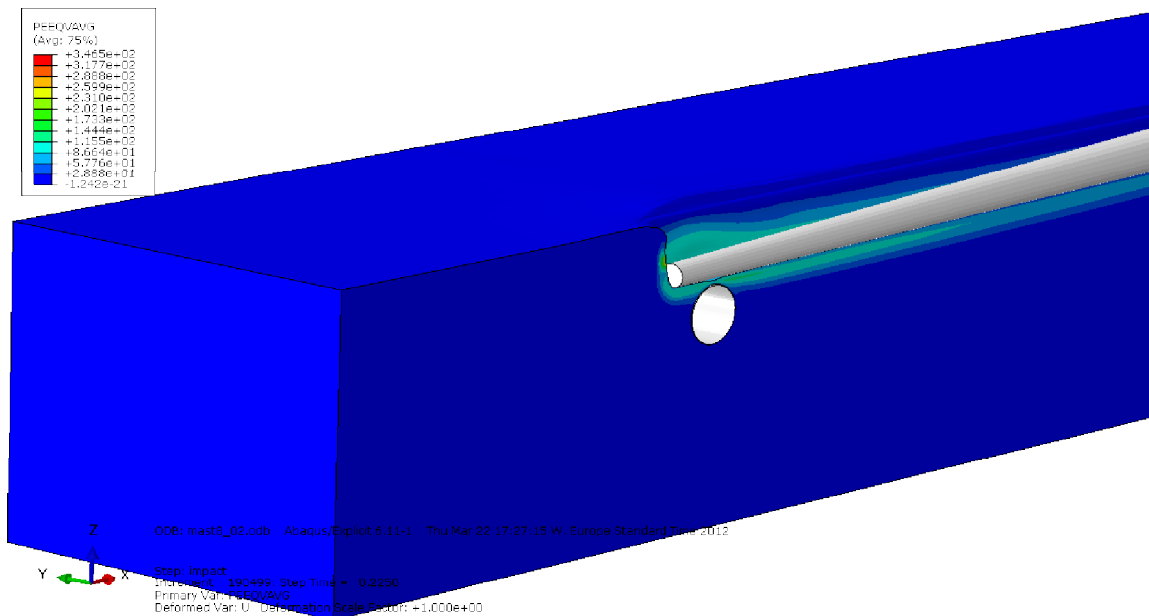
Figuur 5.1 Penetratie van mast 74, met contouren van de plastische rek in de grond. De indringdiepte van de mast is 2.4 m. De plastische rek in de leiding is 1.4 %.

Figuur 5.2 toont het eindresultaat voor de berekening voor mast 74. De grond is weggelaten om de plastische rek in de leiding zichtbaar te maken. De maximum equivalente plastische rek is 1.4 %.



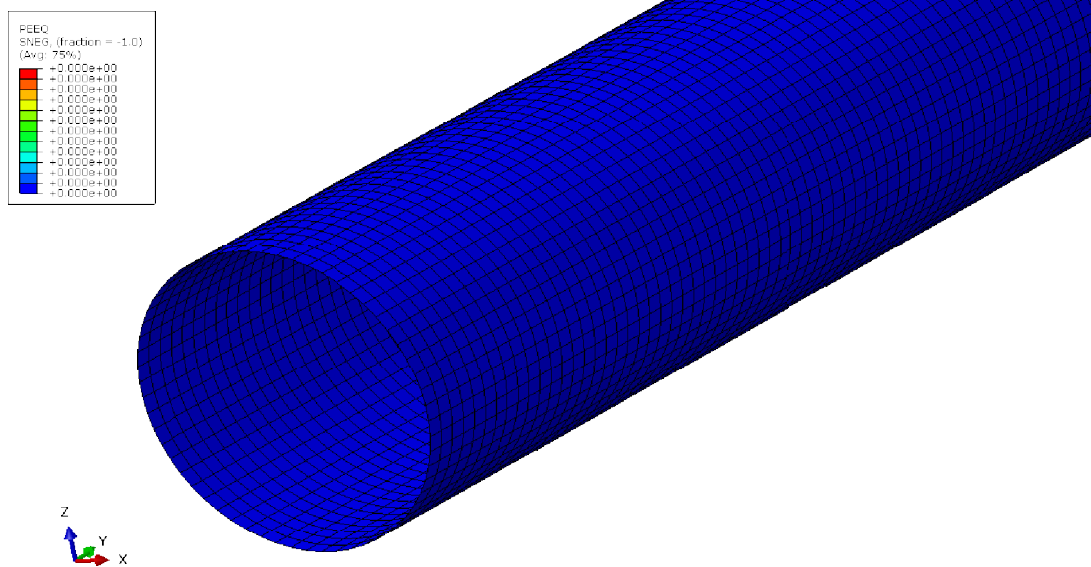
Figuur 5.2 Plastische rek in de leiding bij de berekening voor mast 74. De maximum rek is 1.4%

Figuur 5.13 toont het eindresultaat van de berekening voor mast 8. De plastische rek in de grond is als contour weergegeven. Te zien is dat de rek sterk gelokaliseerd is in de buurt van de impact van de mast. De maximale indringdiepte van de mast (treedt op ter plaatse van de leiding) is 1.3 m. De berekende equivalente plastische rek in de leiding is 0 %.



Figuur 5.3 Penetratie van mast 8, met contouren van de plastische rek in de grond. De indringdiepte van de mast is 1.3 m. De plastische rek in de leiding is 0%.

Figuur 5.24 toont het eindresultaat voor de berekening voor mast 8. De grond is weggelaten om de plastische rek in de leiding zichtbaar te maken. De maximum equivalente plastische rek is 0%.



Figuur 5.4 Plastische rek in de leiding bij de berekening voor mast 8. De maximum rek is 0 %. De vervorming is zuiver elastisch.



## 6 Conclusies

N.V. Nederlandse Gasunie is van plan een nieuw aardgastransport leidingsysteem aan te leggen, dat deel uitmaakt van het Nederlandse gas transportstelsel. Het nieuwe leiding tracé is gepland tussen Beverwijk en Wijngaarden. Dit tracé ligt op drie plaatsen binnen de invloedssfeer van hoogspanningsmasten van de geplande Randstad 380 kV Noordring hoogspanningsverbinding.

Voor twee van deze masten is uitgerekend wat de impact op de gasleiding is bij omvallen. Mast 8 nabij de A-9 ( Oostbroekerweg gem. Velsen) en mast 74 in de Hondsdijkse Polder (gem. Rijnwoude).

Het omvallen van de twee hoogspanningsmasten en impact op de gasleiding is uitgerekend met behulp van het software pakket ABAQUS. De optredende equivalente plastische rek in de gasleiding is berekend en is getoetst aan de maximaal toelaatbare waarde van 8%.

Het resultaat van de analyse is als volgt samen te vatten:

Mast 8 veroorzaakt bij omvallen 0% equivalente plastische rek in de gasleiding, zodat geen ontoelaatbare schade zal optreden bij het omvallen van de HS mast. De maximale indringdiepte van de mast is 1.3 m.

Mast 74 veroorzaakt bij omvallen 1.4 % equivalente plastische rek in de gasleiding, zodat geen ontoelaatbare schade zal optreden bij het omvallen van de HS mast. De maximale indringdiepte van de mast is 2.4 m.



Ministerie van ELI  
DG Energie, Telecom en Mededinging  
t.a.v. Mevr. Mr. Drs. J.H. Brouwer  
Postbus 20401  
2500 EK DEN HAAG


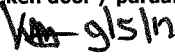

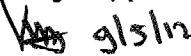
**IVW Staf**  
Luchtvaart  
Vergunningverlening  
Infrastructuur  
Saturnusstraat 50  
Hoofddorp  
Postbus 575  
2130 AN Hoofddorp

**Contactpersoon**  
H.J. Stikfort

minuut

Verklaring van geen bezwaar ex art. 8.9 Wet Luchtvaart,  
Randstad 380kv Noordring

T 070-4563190  
F 070-4563009  
henk.stikfort@ilent.nl

<b>Getypt door / paraaf</b> STH  09/05/2012	<b>Vervolg op</b> IENM/ILT-2011/	<b>Datum</b> 9 mei 2012
<b>Vergeleken door / paraaf</b> MON 	<b>Rappeldatum</b> -	<b>Ons kenmerk</b> IENM/ILT-2012/14567
<b>Verzonden door / paraaf</b>	<b>Verzenddatum</b> 9 mei 2012	<b>Uw kenmerk</b>
<b>Ondertekening door / paraaf</b> STH  09/05/2012	<b>Verzendwijze</b>	
<b>Medewerking van / paraaf</b> MON 	<b>Na verzending retour aan</b>	
<b>Afschrift aan</b> DIV STH (122)	<b>Adres</b>	

Luchtverkeersleiding Nederland  
Afd. vergunningen en Ontheffingen  
t.a.v. mevrouw D. Matakana  
Postbus 75200  
1117 ZT Luchthaven Schiphol

Amsterdam Airport Schiphol:  
Regt\_A@schiphol.nl  
Grovenstein\_E@schiphol.nl.

G:\IVW\_Luchtvaart\Vergunning  
verlenen\VI\Luchthavens\Vergunningen\Aangewezen\EHAM\LIB  
8.9\2012\Randstad 380kv Noordring\12. Verklaring van geen bezwaar Randstad  
380kv Noordring.STH docx



> Retouradres Postbus 575 2130 AN Hoofddorp

Ministerie van ELI  
DG Energie, Telecom en Mededinging  
t.a.v. Mevr. Mr. Drs. J.H. Brouwer  
Postbus 20401  
2500 EK DEN HAAG

**IVW Staf**  
Luchtvaart  
Vergunningverlening  
Infrastructuur  
Saturnusstraat 50  
Hoofddorp  
Postbus 575  
2130 AN Hoofddorp

**Contactpersoon**  
H.J. Stikfort  
T 070-4563190  
F 070-4563009  
henk.stikfort@ilent.nl

Datum 9 mei 2012  
Betreft Verklaring van geen bezwaar ex art. 8.9 Wet Luchtvaart,  
Randstad 380kv Noordring

**Ons kenmerk**  
IENM/ILT-2012/14567

**Uw kenmerk**  
DGETM/12051844

Geachte mevrouw Brouwer,

In uw brief, per e-mail ontvangen op 20 april 2012, vraagt u om een verklaring van geen bezwaar ex artikel 8.9 Wet luchtvaart in verband met het mogen afwijken van artikel 2.2.2 van het Luchthavenindelingbesluit Schiphol (LIB). De verklaring van geen bezwaar wordt aangevraagd voor hoogspanningsmasten gelegen in het gedeelte Beverwijk-Vijfhuizen en voor het gedeelte Vijfhuizen-Bleiswijk, die door de LIB hoogtebeperkingsvlakken heen steken. De plannen zijn overeenkomstig de plannen die reeds in een eerder stadium aan de Inspectie Leefomgeving en Transport (de Inspectie) werden voorgelegd. Hierbij is reeds door de Inspectie in een brief onder kenmerk ILT-2012/8631 onder voorwaarde mee ingestemd.

De Inspectie Leefomgeving en Transport heeft het aangeboden plan ter advies aangeboden aan de Luchtverkeersleiding Nederland (LVNL) en aan Amsterdam Airport Schiphol (AAS).

### **Beoordeling**

De Inspectie Leefomgeving en Transport (de Inspectie) toetst of te realiseren objecten gevolgen hebben voor de veiligheid van de burgerluchtvaart. De plannen worden getoetst aan de hand van internationale burgerluchtvaartcriteria welke zijn opgesteld door de International Civil Organisation (ICAO). Het ICAO document over luchthavens (Annex 14) bevat criteria met betrekking tot hoogtebeperkingsvlakken rondom luchthavens. Deze ICAO criteria zijn de basis voor de hoogtebeperkingsvlakken uit het Luchthavenindelingbesluit (LIB) Schiphol.

De Inspectie heeft de plannen beoordeeld en vastgesteld dat in totaal 25 hoogspanningsmasten door de hoogtebeperkingsvlakken steken. De internationale luchtvaartvoorschriften staan afwijkingen toe indien middels een 'aeronautical study' wordt aangetoond dat de plaatsing van deze hoogspanningsmasten geen gevolgen heeft voor de vliegtuigoperaties. Dit onderzoek is door de Inspectie uitgevoerd. De conclusie is dat het voorgelegde tracé geen gevolgen heeft voor vliegtuigoperaties op de luchthaven Schiphol.

Dezelfde internationale voorschriften schrijven voor dat obstakels die door de hoogtebeperkingsvlakken steken moeten worden voorzien van obstakellichten- en markering. Om deze reden wordt daarom als voorwaarde in dit advies gesteld ,



dat een aantal hoogspanningsmasten (25 stuks) dienen te worden voorzien van de ICAO voorgeschreven markering en obstakellichten.  
In de bijlage bij deze brief, wordt deze voorwaarde middels een aantal voorschriften hiervoor, verder uitgewerkt.

**IVW Staf**  
Luchtvaart  
Vergunningverlening  
Infrastructuur

De Luchtverkeersleiding Nederland heeft de plannen beoordeeld op hun invloed op de correcte werking van elektronische navigatie-, communicatie en landingshulpmiddelen. De Luchtverkeersleiding Nederland heeft in een brief van 18 april 2012 (kenmerk PRO/LO/A2012/015/3899) te kennen gegeven op basis van deze technische gronden geen bezwaar te hebben tegen de in uw brief omschreven plannen inzake Randstad 380 kV Noordring.

**Datum**  
9 mei 2012

**Ons kenmerk**  
IENM/ILT-2012/14567

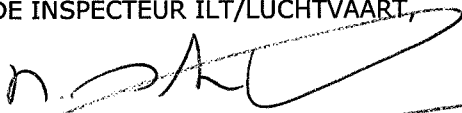
AAS heeft de plannen ter advies ontvangen en als reactie daarop in de e-mail van 9 mei 2012 kenbaar gemaakt, geen bezwaar te hebben tegen de plannen inzake Randstad 380 kV Noordring.

**Advies**

Gezien de bovenstaande beoordeling en gezien het gestelde in artikel 8.9 van de Wet luchtvaart, heb ik onder de gestelde voorwaarde in deze brief geen bezwaar tegen de in uw brief van voorgenomen afwijking van het LIB.

Met vriendelijke groet,

DE STAATSSECRETARIS VAN INFRASTRUCTUUR EN MILIEU,  
namens deze,  
DE INSPECTEUR ILT/LUCHTVAART,

  
Dhr. Drs. H.J. Stikfort



## BIJLAGE

**IVW Staf**  
Luchtvaart  
Vergunningverlening  
Infrastructuur

**Datum**  
9 mei 2012

**Ons kenmerk**  
IENM/ILT-2012/14567

Het gedeelte van het Randstadtracé wat de hoogtebeperkingsvlakken van de luchthaven Schiphol doorsteekt moeten worden voorzien van obstakellichten en -markering.

Het betreft de hoogspanningsmasten 30 t/m 39 voor het gedeelte Beverwijk – Vijfhuizen en de masten 1 t/m 15 voor het gedeelte Vijfhuizen – Bleiswijk.

### **1. Waarom moeten de hoogspanningsmasten worden voorzien van markering en obstakellichten?**

Nationaal uitgangspunt is dat obstakels welke hoogtebeperkingsvlakken rondom luchthavens penetreren worden voorzien van obstakelmarkeringen en -lichten. Daarnaast schrijft ICAO Annex 14 voor dat obstakels welke door een horizontaal surface steken moeten worden voorzien van obstakelmarkering en -lichten, tenzij het obstakel wordt afgeschermd door een ander permanent obstakel, procedures zijn voorgeschreven waarbij voldoende verticale klaring wordt gehaald of wanneer een 'aeronautical study' uitwijst dat het obstakel geen significante invloed heeft op de operatie. Hieruit blijkt dat de hoogspanningsmasten ten westen van de luchthaven moeten worden voorzien van obstakellichten en markeringen aangezien deze ter plaatse boven de horizontaal surface uitsteken.

### **2. Welke lichten moeten worden aangebracht?**

De hoogspanningsmasten welke de hoogtebeperkingsvlakken doorsteken moeten worden voorzien van rode, vastbrandende, rondomschijnende obstakellichten met een lage lichtintensiteit van minimaal 50 candela. De obstakellichten worden aangebracht in de top van de mast en halverwege de mast. Eventueel mogen op de top van de mast rode obstakellichten worden aangebracht met een minimale lichtintensiteit van 2000 candela. Het volstaat echter lichten met een lage lichtintensiteit aan te brengen. Lichten met een intensiteit van 2000 candela zijn mogelijk te fel voor de betreffende locatie.

### **3. Welke markering moet worden aangebracht?**

De hoogspanningsmasten welke het hoogtebeperkingsvlak penetreren moeten ook worden voorzien van obstakelmarkering. Dit betekent dat iedere mast wordt voorzien van zeven rood-wit contrasterende banden. De banden hebben een gelijke hoogte. De bovenste en onderste band zijn rood gekleurd en vervolgens wit, afgewisseld met rood. De kleuren voldoen hierbij aan de kleureigenschappen zoals vastgesteld door ICAO. De kleur rood mag eventueel worden vervangen door oranje wanneer dit meer contrasterend is.

De hoogspanningsdraden tussen de masten moeten worden voorzien van sferische bollen met een minimale diameter van minimaal 60 cm. Deze bollen worden ten minste aangebracht op de hoogste hoogspanningsdraad tussen de masten. Hierbij worden afwisselend rode en witte bollen toegepast. In plaats van rood mag er ook voor oranje bollen worden gekozen wanneer dit meer contrasterend is.

De afstand tussen de bollen onderling en tussen de bollen en de masten bedraagt:  
- maximaal 30 meter bij een boldiameter van minimaal 60 cm,  
- maximaal 35 meter bij een boldiameter van minimaal 80 cm, en  
- maximaal 40 meter bij een boldiameter van minimaal 130 cm.

Naast bovengenoemde manier van markeren en verlichten zijn er nog een aantal opties. Bij al deze opties wordt echter gebruik gemaakt van wit flitsende obstakellichten. Het is niet aanbevolen deze lichten aan te brengen gezien de ligging van baan 18R-36L van de luchthaven Schiphol. De wit flitsende lichten zouden voor teveel afleiding van de vliegers kunnen zorgen terwijl er voldoende middelen bestaan om de obstakels op een andere manier aan te duiden.