

RAPPORT

Kwantitatieve risicoanalyse waterstofleidingen vanaf waterstofconversiepark

QRA ondergrondse waterstofleidingen Maasvlakte 2

Klant: Port of Rotterdam

Referentie: BE8476IBRP005F01

Status: 01/Definitief

Datum: 13 oktober 2023

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Postbus 1132
3800 BC Amersfoort
Industry & Buildings
Trade register number: 56515154

+31 88 348 20 00 **T**
+31 33 463 36 52 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Kwantitatieve risicoanalyse waterstofleidingen vanaf waterstofconversiepark

Ondertitel: QRA ondergrondse waterstofleidingen Maasvlakte 2
Referentie: BE8476IBRP005F01
Status: 01/Definitief
Datum: 13 oktober 2023
Projectnaam: HbR ondersteuning veiligheid
Projectnummer: BE8476
Auteur(s): Hidde Froeling

Opgesteld door: Hidde Froeling

Gecontroleerd door: Paul Mink

Datum: 13 oktober 2023

Goedgekeurd door: Simone van Dijk

Datum: 13 oktober 2023

Classificatie

Projectgerelateerd

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden veeleenvoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever. Let op: dit document bevat mogelijk persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V.. Voordat publicatie plaatsvindt (of anderszins openbaarmaking), dient dit document te worden geanonimiseerd of dient toestemming te worden verkregen om dit document met persoonsgegevens te publiceren. Dit hoeft niet als wet- of regelgeving anonimiseren niet toestaat.

Inhoud

1	Inleiding	4
1.1	Aanleiding	4
1.2	Algemene rapportgegevens	4
1.3	Reikwijdte van de QRA	4
1.4	Leeswijzer	4
2	Wetgeving met betrekking tot extern risico	6
2.1	Plaatsgebonden risico (PR)	6
2.2	Groepsrisico (GR)	7
2.3	Lokaal toetsingskader	7
3	Systeemspecificaties	9
3.1	Specificatie waterstofproductie	9
3.2	Beschrijving waterstofleidingen	9
3.3	(Afwijkende) rekenmethodiek waterstofleidingen	10
3.4	Specificaties waterstofleidingen	11
3.5	Faalfrequenties	12
3.6	Faalscenario's	14
4	Uitgangspunten risicomodellering	16
4.1	Stofgegevens	16
4.2	Omgevingsfactoren	16
4.3	Potentiële domino-effecten	16
5	Resultaten	18
5.1	Plaatsgebonden risico	18
5.2	Groepsrisico	19

6	Conclusies en aanbevelingen	20
7	Referenties	21

Bijlagen

- 1. Technische tekeningen**
- 2. Gevoeligheidsanalyse**
- 3. Brief van het Ministerie van IenW & Advies van het RIVM
betreffende waterstofmodellering**

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In het kader van de energietransitie wordt door het Havenbedrijf Rotterdam een waterstofconversiepark op de Maasvlakte 2 gerealiseerd. Het geproduceerd waterstof wordt door middel van drie ondergrondse waterstofleidingen via een daarvoor bestemde leidingstrook geëxporteerd. Twee leidingen in de leidingstrook takken in op een gezamenlijke waterstof distributieleiding genaamd 'HyTransPort'. Voordat tot de aanleg van de ondergrondse waterstofleidingen kan worden overgegaan moeten de risico's voor de directe omgeving in kaart te worden gebracht door middel van een kwantitatieve risicoanalyse (QRA). In de voorliggende rapportage worden de risico's van de verschillende ondergrondse buisleidingen in kaart gebracht, en getoetst of deze aan het vigerend beleid voldoen.

1.2 Algemene rapportgegevens

In onderstaande opsomming zijn de algemene rapportgegevens opgenomen:

Naam van het project	: QRA ondergrondse waterstofleidingen Maasvlakte 2
Reden opstellen QRA	: Inzichtelijk maken van het risicoprofiel naar externe veiligheid voor de voorgenomen leidingen in de leidingstrook rondom het waterstofconversiepark
Gevolgd methode	: Safeti-NL (DNV, versie 8.5) [3] in combinatie met het Besluit externe veiligheid buisleidingen (Bevb) [1]
Peildatum QRA	: Oktober 2023

1.3 Reikwijdte van de QRA

Deze studie omvat de leidingen in de leidingstrook van het waterstofconversiepark. De inrichtingen van de verschillende waterstofproducenten, de HyTransPort-distributieleiding en de leidingen buiten de leidingstrook zijn geen onderdeel van deze studie.

1.4 Leeswijzer

Deze rapportage bevat (landelijke en lokale) wettelijke en beleidsmatige informatie, informatie over de wijze van modellering in de software en (detail) technische informatie van de installatie. Afhankelijk van het doel waarmee een lezer deze rapportage leest en de technische kennis wordt aangeraden om een combinatie van bepaalde hoofdstukken van deze rapportage te lezen.

Indien het doel van de lezer is om inzicht te krijgen in de context en implicaties van de QRA wordt aangeraden om hoofdstukken 1, 0, 0 en 6 te lezen. Genoemde hoofdstukken bevatten geen technische informatie, maar geven het wettelijk en beleidsmatige kader en beschrijven hoe de resultaten in dat kader beschouwd moeten worden. Eventueel kan aanvullend hoofdstuk 0 worden gelezen wat een systeembeschrijving op hoofdlijnen geeft. De resultaten en conclusies volgend uit de risicoberekeningen zijn opgenomen in hoofdstuk 0 en 6. Deze resultaten zijn de plaatsgebonden risicocontouren en een overzicht van het groepsrisico voor elk van de buisleidingen.

Indien het doel van de lezer is om de QRA te kunnen beoordelen wordt aangeraden om alle hoofdstukken te lezen. Hoofdstukken 0 en 0, en de bijlagen waar deze naar verwijzen, geven gedetailleerde informatie over de werkwijze waar het QRA model mee tot stand gekomen is, en welke aannames daarvoor gedaan zijn.

2 Wetgeving met betrekking tot extern risico

Externe veiligheid heeft betrekking op de risico's voor de omgeving bij het gebruik, de productie, opslag en het vervoer van gevaarlijke stoffen. In het kader van de externe veiligheid dient in het geval van een verandering bij de risicobron of in de omgeving daarvan een afweging te worden gemaakt over de externe veiligheid. De overheid stelt grenzen aan de externe risico's van gevaarlijke stoffen. De grenzen zijn vertaald in normen voor het plaatsgebonden risico (PR) en een oriëntatiewaarde voor het groepsrisico (GR). In het Besluit externe veiligheid buisleidingen (Bevb) zijn de risiconormen voor het vervoer van gevaarlijke stoffen door buisleidingen vastgelegd. In bijbehorende Regeling externe veiligheid buisleidingen (Revi) zijn nadere randvoorwaarden uitgewerkt. Hieronder is een toelichting gegeven op de risicomaten plaatsgebonden risico en groepsrisico. Tevens is de zogenaamde verantwoording van het groepsrisico toegelicht.

2.1 Plaatsgebonden risico (PR)

Het plaatsgebonden risico (PR) is een maat voor het overlijdensrisico op een bepaalde plaats. Het is hierbij niet van belang of er op deze plaats daadwerkelijk een persoon aanwezig is. Bij het PR gaat het om de kans per jaar dat een persoon die onafgebroken en onbeschermd op een plaats langs een buisleiding voor het vervoer van gevaarlijke stoffen zou verblijven, overlijdt als rechtstreeks gevolg van een ongeval bij de buisleiding, waarbij een gevaarlijke stof betrokken is. Door middel van iso-risico-contouren, waarbij punten met gelijk risico worden verbonden tot een contour, worden deze risico's op een kaart inzichtelijk gemaakt.

Bij het beoordelen van het PR wordt onderscheid gemaakt tussen kwetsbare en beperkt kwetsbare objecten (zie Tabel 2-1). Onder de kwetsbare objecten vallen in eerste instantie objecten waar mensen doorgaans dag en nacht verblijven. Daarnaast verdienen kinderen, ouderen en (psychisch) zieken vanwege hun fysieke of psychische gesteldheid een bijzondere bescherming. Dit maakt scholen, bejaardenhuizen en ziekenhuizen ook tot kwetsbare objecten. Daarnaast kunnen objecten vanwege de hoge infrastructurele waarde onder de kwetsbare objecten vallen, zoals telecommunicatiecentrales.

Tabel 2-1: Overzicht van kwetsbare en beperkt kwetsbare objecten

Kwetsbare objecten	Beperkt kwetsbare objecten
Woningen	Verspreid liggende woningen (2/ha)
Ziekenhuizen, bejaarden- en verpleeghuizen e.d.	Dienst- en bedrijfswoningen
Scholen en dagopvang minderjarigen	Kantoorgebouwen (< 1500 m ²)
Kantoorgebouwen en hotels (> 1500 m ²)	Hotels en restaurants (< 1500 m ²)
Winkelcentra (> 1000 m ² > 5 winkels)	Winkels
Winkel met supermarkt (> 2000 m ²)	Sport- , kampeer- en recreatieterreinen (<50 personen)
Kampeer- en verblijfsrecreatieterrein (> 50 pers.)	Bedrijfsgebouwen
Andere gebouwen met veel personen	Equivalent objecten
	Objecten met hoge infrastructurele waarde

Voor buisleidingen geldt dat binnen de plaatsgebonden risicocontour van 10⁻⁶ per jaar, geen kwetsbare objecten aanwezig mogen zijn. Voor beperkt kwetsbare objecten geldt de plaatsgebonden risicocontour van 10⁻⁶ per jaar als richtwaarde. Bij de aanleg of vervanging van de buisleiding geldt dat de 10⁻⁶ plaatsgebonden risicocontour maximaal vijf meter uit het hart van de leiding mag liggen.

2.2 Groepsrisico (GR)

Het groepsrisico (GR) betreft de cumulatieve kansen per jaar dat een aantal personen tegelijkertijd overlijdt als gevolg van hun aanwezigheid in het invloedsgebied van een inrichting en een ongewoon voorval binnen die inrichting of bij een transportas, waarbij een gevaarlijke stof betrokken is. Het invloedsgebied is het gebied waarin personen worden meegeteld voor de berekening van het groepsrisico van de buisleiding tot de grens waarbinnen de letaliteit van die personen 1% is.

Het groepsrisico kent geen strikte normering. Er geldt wel een oriënterende waarde, die recht doet aan de risicoaversie (hoe groter de ramp, hoe lager het acceptabele risico). Het groepsrisico wordt weergegeven in een zogenaamde FN-curve.

Verantwoordingsplicht groepsrisico

Verantwoording van het groepsrisico is een onderdeel van het externe veiligheidsbeleid. Door middel van een verantwoordingsplicht wil de Rijksoverheid overheden aanzetten tot nadenken over onder andere de omvang van het groepsrisico in relatie tot de veiligheid van de risicovolle situatie, de gevolgen voor de omgeving, de hulpverlening en de zelfredzaamheid van omwonenden. De beschouwing door het bevoegd gezag ten aanzien van de (kwantitatieve) oriëntatiewaarde is één van de elementen uit de verantwoordingsplicht van het groepsrisico. Binnen deze verantwoording kan het bevoegde gezag van deze waarde afwijken.

2.3 Lokaal toetsingskader

Navolgend zijn relevante ruimtelijke plannen c.q. bestemmingsplan besproken.

Bestemmingsplan 'Maasvlakte 2'

De waterstofleidingen in de leidingstrook bevinden zich binnen het vigerende bestemmingsplan 'Maasvlakte 2' (onherroepelijk vastgesteld d.d. 6 september 2018) [4]. Figuur 2-1 toont een (gedeeltelijke) verbeelding van dit bestemmingsplan. Het gebied in de directe omgeving van de leidingen heeft een enkelstemming bestemd voor:

- a. chemische industrie met de bijbehorende be- en verwerking;
- b. distributieactiviteiten;
- c. op- en overslag en reparatie van lege containers met de bijbehorende be- en verwerking;
- d. voorzieningen, zoals afvalwaterzuivering, luchtbehandelingssystemen, damp- en geurverwerkingsinstallaties en elektriciteitsopwekking anders dan met behulp van windturbines, die ten dienste staan van de bestemmingen, bedoeld onder a t/m c;
- e. bedrijfsgebonden kantoren;
- f. (spoor)wegen en paden;
- g. water en waterhuishoudkundige voorzieningen;
- h. kaden, taluds en afmeervoorzieningen;
- i. laad- en losvoorzieningen;
- j. kabels en (buis)leidingen;
- k. nuts-, groen- en parkeervoorzieningen;
- l. erfafscheidingen en geluidswerende voorzieningen.

De waterstofleidingen in de leidingstrook passen binnen deze bestemming. De geografische ligging van de leidingstrook dient in het bestemmingsplan te worden vastgelegd conform artikel 14 van het Bevb [1].



Figuur 2-1: (Gedeeltelijke) verbeelding bestemmingsplan Maasvlakte 2 [4]

3 Systeemspecificaties

3.1 Specificatie waterstofproductie

Op vier inrichtingen (A t/m D) binnen van het waterstofconversiepark wordt waterstof geproduceerd. In Tabel 3-1 zijn de specificaties van de waterstofproductie weergegeven.

Tabel 3-1: Specificaties waterstofproductie

Kenmerk	Productie				Eenheid
Plot	Leverancier A	Leverancier B	Leverancier C	Leverancier D	[-]
Product	Waterstof	Waterstof	Waterstof	Waterstof	[-]
Leiding exploitant	n.v.t.	Gasunie	Air Liquide	Gasunie	[-]
Vermogen	250	200	300	250	[MW]
Gemiddeld debiet	123	88	148 ^(a)	123	[ton/dag]
	1,42	1,02	1,71	1,42	[kg/s]

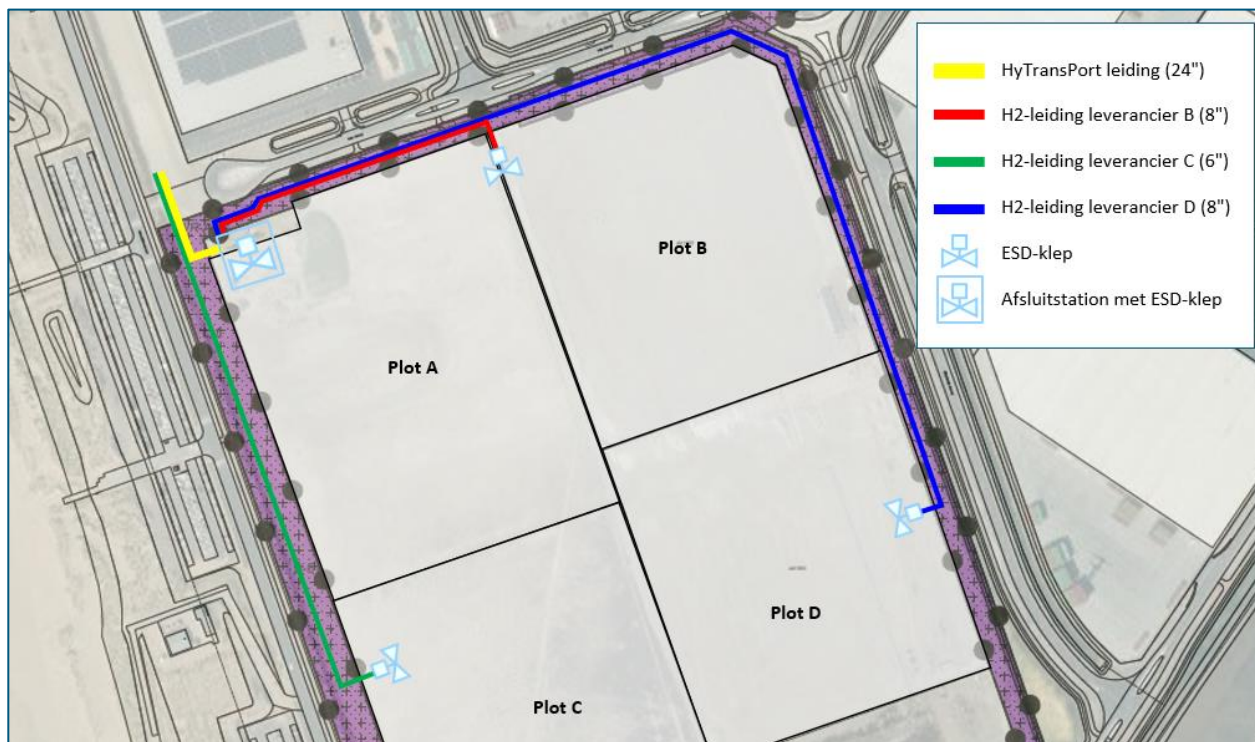
(a) Debiet is bepaald op basis van extrapolatie van het opgesteld vermogen van leverancier A

3.2 Beschrijving waterstofleidingen

Door middel van meerdere voorgenomen leidingen in de leidingstrook wordt het geproduceerde waterstof vanaf de verschillende leveranciers geëxporteerd:

- Voor leveranciers B en D wordt het geproduceerd waterstof via twee aparte leidingen (8") in de leidingstrook bij het afsluitstation op de HyTransPort leiding aangesloten. De twee ondergrondse leidingen worden door Gasunie (N.V. Nederlandse Gasunie) aangelegd en beheerd.
- Leverancier A sluit middels een leiding op haar eigen terrein direct aan op het afsluitstation. Er bevindt zich derhalve geen desbetreffende leiding in de leidingstrook en hoeft derhalve niet in onderhavige QRA te worden meegenomen.
- Leverancier C exporteert middels een eigen leiding (6") in de leidingstrook het geproduceerd waterstof. Deze ondergrondse leiding wordt door Air Liquide aangelegd en beheerd.

In onderstaande Figuur 3-1 zijn voorgenomen leidingen in de leidingstrook, het afsluitstation en de HyTransPort leiding schematisch weergegeven. De HyTransPort-leiding en de leiding van leverancier A vallen door eerder genoemde redenen buiten de scope van deze QRA.



Figuur 3-1: Schematische weergave van ligging van de ondergrondse (export)leidingen en locaties ESD-kleppen [5]

3.3 (Afwijkende) rekenmethodiek waterstofleidingen

Conform de brief van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat aan N.V. Nederlandse Gasunie van 8 maart 2023 over het berekenen van de risico's van het transport van waterstof door (aardgas)leidingen [6] en het advies van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu van 25 november 2021 over de te gebruiken rekenmethode [7], mag voor waterstofleidingen – mits aan alle 14 randvoorwaarden uit [7] wordt voldaan – op de onderstaande punten van Module D van Handleiding Risicoberekeningen Bevb [2] worden afgeweken:

- Voor de desbetreffende leidingen is conform Module B van Handleiding Risicoberekeningen Bevb [2] enkel het scenario breuk gemodelleerd – en niet conform Module D zowel het scenario breuk als het scenario lek. Hynetwork Services B.V. (dochteronderneming van Gasunie) heeft hiervoor de basisfaalfrequentie aangeleverd, welke in onderhavige paragraaf conform Module B voor de diepteligging en de genomen preventieve maatregelen zijn gecorrigeerd.
- Voor de desbetreffende leidingen is conform Module B van Handleiding Risicoberekeningen Bevb [2] wordt de ontwerpdruk gehanteerd – en niet conform Module D de (maximale) operationele druk.

Voor de Air Liquide leiding (groene leiding) wordt niet aan de randvoorwaarde 1 uit [7] voldaan, gezien de druk van de leiding hoger is dan de maximaal genoemde druk van 80 barg en moet uit oogpunt van conservatisme van de faalfrequenties van Module D van Handleiding Risicoberekeningen Bevb [2] worden gehanteerd.

Voor de leidingen aangelegd en beheerd door Gasunie (blauwe en rode leiding) wordt wel aan alle randvoorwaarden uit [7] voldaan en is op de bovenstaande punten van Module D van Handleiding Risicoberekeningen Bevb [2] afgeweken.

De brief van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat aan N.V. Nederlandse Gasunie van 8 maart 2023 over het berekenen van de risico's van het transport van waterstof door (aardgas)leidingen [6] en het advies van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu van 25 november 2021 over de te gebruiken rekenmethode [7] zijn in Bijlage 3 toegevoegd.

3.4 Specificaties waterstofleidingen

Tabel 3-2 geeft de relevante leidingsspecificaties weer. Voor het bepalen van het kwantitatieve risico is aangesloten bij het Handleiding Risicoberekeningen Bevb [2] Module D (modellering voor leidingen die chemicaliën transporteren) tenzij anders vermeld.

Tabel 3-2: Specificaties waterstofleidingen

Kenmerk		Leidingen				Eenheid	Toelichting
Leverancier		B	C	D	n.v.t.	[-]	
Kleur		Rood	Groen	Blauw	Geel	[-]	
Van		Plot B	Plot C	Plot D	Afsluitstation	[-]	
Naar		Afsluitstation	-	Afsluitstation	-	[-]	
Product		Waterstof	Waterstof	Waterstof	Waterstof	[-]	Zie voorgaande paragraaf met betrekking tot het afwijken van de faalfrequentie en de gehanteerde druk op Module D.
Leidingexploitant		Gasunie	Air Liquide	Gasunie	n.v.t.	[-]	
Bevb	Rekenmethodiek	Module D	Module D	Module D	n.v.t.	[-]	
	Faalfrequenties / gehanteerde druk	Module B	Module D	Module B	n.v.t.	[-]	
Ligging leiding		Ondergronds	Ondergronds	Ondergronds	Ondergronds	[-]	
Diameter		8	6	8	24	[inch]	
		203,2	152,4	203,2	609,6	[mm]	
Wanddikte		7,9	7,9	7,9	-	[mm]	Voor faalfrequenties uit Bevb Module D zijn deze irrelevant
Staalsterkte		245	-	245	-	[N/mm ²]	
Druk	Ontwerpdruk	66,2	-	66,2	66,2	[barg]	In Bevb Module B wordt ontwerpdruk gehanteerd, voor Module D de operationele druk
	Maximaal operationeel	50	100	50	50	[barg]	
	Gehanteerde druk	66,2	100	66,2	66,2	[barg]	
Temperatuur	Ontwerp-temperatuur	50	50	50	50	[°C]	Volgens Bevb Module D wordt een temperatuur van 9,8 °C gehanteerd.
	Maximaal operationeel	45	45	45	45	[°C]	
	Gehanteerde temperatuur	9,8	9,8	9,8	9,8	[°C]	
Gemiddelde debiet		1,02	1,71	1,42	n.v.t.	[kg/s]	Zie Tabel 3-1
Gronddekking		1,0	1,0	1,0	1,0	[m]	Zandgrond

3.5 Faalfrequenties

Conform Module D van de Handleiding Risicoberekeningen Bevb [2] moeten de scenario's breuk van de leiding en leidinglekage worden gemodelleerd. Voor het modelleren van uitstroming bij deze scenario's wordt het krater model zoals opgenomen in Safeti-NL toegepast. Het is niet verplicht om dit krater model toe te passen, maar het geeft het meest accurate inzicht in de risico's bij uitstroming.

Basisfaalfrequenties

Tabel 3-3 geeft de verschillende faalfrequenties:

- Voor de leiding van leverancier C (groene leiding) zijn de basisfaalfrequenties voor chemicaliënleidingen die voldoen aan 'stand der techniek' zoals gedefinieerd in Module D van het Handleiding Risicoberekeningen Bevb [2] gehanteerd, uitgaande dat er aan de in het Bevb [2] gestelde randvoorwaarden van 'stand der techniek' wordt voldaan.
- Voor de leidingen van leverancier B en D (blauwe en rode leiding) heeft Hynetwork Services B.V. (dochteronderneming van Gasunie) basisfaalfrequentie van een breuk conform Module B aangeleverd.

Tabel 3-3: Gehanteerde basisfaalfrequenties met inbegrip van correctie voor diepteligging

Faaloorzaak	Module D ^(a)		Module B ^(b)
	Breuk [km-1 jaar-1]	Lek [km-1 jaar-1]	Breuk [km-1 jaar-1]
Beschadiging door derden ^(c)	1,21E-05	1,79E-05	6,24E-05
Mechanisch	7,96E-06	3,86E-05	-
Inwendige corrosie	1,41E-06	1,17E-05	-
Uitwendige corrosie	4,25E-06	3,52E-05	-
Natuurlijke oorzaken	2,26E-06	3,60E-06	-
Operationeel	3,40E-06	4,56E-06	-
Totaal	3,14E-05	1,12E-04	6,24E-05

(a) Constante basisfaalfrequenties voor chemicaliënleidingen die voldoen aan 'stand der techniek'.

(b) Specifieke basisfaalfrequenties op basis van leidingspecificaties door Hynetwork Services B.V. aangeleverd.

(c) De diepteligging wordt verdisconteerd in de faaloorzaak 'Beschadiging door derden'. De faalfrequenties voor 'Beschadiging door derden' zijn door $\exp(2,4(z - z_0))$ gedeeld. Hierin is z de daadwerkelijke diepteligging van de leiding en z_0 de referentiediepte. Voor Module B en D zijn de referentiedieptes respectievelijk 1,31m en 0,84m.

Mogelijke preventieve maatregelen

Preventieve maatregelen leiden tot reductiefactoren op de faalfrequenties conform Handleiding Risicoberekeningen Bevb [2]. In Tabel 3-4 staan de mogelijke preventieve maatregelen en de bijbehorende correctiefactoren uit Module B en D van het Handleiding Risicoberekeningen Bevb [2]:

- Correctiefactoren uit Module B zijn van toepassingen op de faalfrequenties van de leidingen van leverancier B en D (blauwe en rode leiding).
- Correctiefactoren uit Module D zijn van toepassingen op de faalfrequenties van de leiding van leverancier C (groene leiding);

Tabel 3-4: Preventieve maatregelen en correctiefactoren

Faaloorzaak	Preventieve maatregel	Module B	Module D	Toelichting
Beschadiging door derden	WIBON wetgeving	2,5	n.v.t.	Correctiefactor 2,5 is enkel voor leidingen conform Module B [2] van toepassing.
	Casulistiek	1,0	n.v.t.	Voor Gasunie is deze normaliter factor 2,8. Echter voor waterstof is deze factor nog niet toegekend en daarom op 1,0 gezet.
	Actief rappel ^(a)	1,2	1,0	Voor Gasunie is deze normaliter factor 1,2. Voor leiding conform Module D [2] wordt, wanneer de buisleiding voldoet aan stand-der-techniek-voorwaarden, <i>Actief rappel</i> niet meegenomen (factor 1,0).
	Beperkte restricties ^(a)	1,6	1,6	Langs de leidingstrook zijn overal verbodsborden voor graven; toestemming van bevoegd gezag is vereist voor werkzaamheden. Geen werkzaamheden zonder vergunning.
	Strikte begeleiding werkzaamheden ^(a)	2,5	2,5	
Mechanisch ^(b)	Toepassing van periodieke ILI ^(c)	n.v.t.	10	Uitvoeren van een passende high-resolution metal loss In-Line Inspectie (ILI) gecombineerd met gedegen defectanalyse en indien benodigd reparatie, conform de voorwaarden uit het Handleiding Risicoberekeningen Bevb [2].
Inwendige corrosie ^(b)	Transport van waterstof	n.v.t.	∞	Het te transporteren medium is inherent aantoonbaar volledig niet-corrosief ten opzichte van het materiaal van de buisleiding (en vice versa)
Uitwendige corrosie ^(b)	Toepassing van periodieke ILI ^(c)	n.v.t.	10	Uitvoeren van een passende high-resolution metal loss In-Line Inspectie (ILI) gecombineerd met gedegen defectanalyse en indien benodigd reparatie, conform de voorwaarden uit het Handleiding Risicoberekeningen Bevb [2].
Natuurlijke oorzaken ^(b)	Ontoelaatbare zettingen kunnen door middel van een evaluatie redelijkerwijs vergaand worden uitgesloten	n.v.t.	10	
Operationeel ^(b)	SIL = SIL _{berekend} +1	n.v.t.	10	

(a) Preventieve maatregelen overgenomen van de HyTransPort QRA [6]

(b) Enkel van toepassing voor leidingen conform Module D [2] omdat deze faaloorzaak in Module B [2] is uitgesloten.

(c) Deze maatregel dient met een vast interval van 10 jaar te worden uitgevoerd. Hoewel In-Line Inspectie (ILI) van waterstofleidingen momenteel nog niet mogelijk is, is de verwachting dat dit over 10 jaar wel mogelijk is. Hierover is contact geweest met het ministerie I&W. Ambtenaren van de vakafdeling Omgevingsveiligheid geven aan dat deze maatregel mag worden toegepast, omdat zij verwachten dat ILI van waterstofleidingen op korte termijn (binnen 10 jaar) mogelijk zal zijn.

Gereduceerde faalfrequenties

Onderstaande Tabel 3-5 geeft voor de drie leidingen de voorgenomen preventieve maatregelen en de bijbehorende gereduceerde faalfrequenties zoals opgenomen in Safeti-NL.

Tabel 3-5: Correctiefactoren van gehanteerde preventieve maatregelen en gereduceerde faalfrequenties

Kenmerk	Leidingen			Eenheid
Leverancier	B	C	D	[-]
Leidingexploitant	Gasunie	Air Liquide	Gasunie	[-]

Kleur		Rood	Groen	Blauw	[-]
Correctiefactoren	Beschadiging door derden	12,0	4,0	12,0	[-]
	Mechanisch	n.v.t.	10,0	n.v.t.	[-]
	Inwendige corrosie	n.v.t.	∞	n.v.t.	[-]
	Uitwendige corrosie	n.v.t.	10,0	n.v.t.	[-]
	Natuurlijke oorzaken	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	[-]
	Operationeel	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	[-]
Gereduceerde faalfrequentie	Breuk	5,2E-06	9,91E-06	5,2E-06	[km ⁻¹ jaar ⁻¹]
	Lek	-	2,00E-05	-	[km ⁻¹ jaar ⁻¹]

(a) Er worden voor deze faaloorzaken geen preventieve maatregel genomen en wordt er met een correctiefactor van 1,0 gerekend.

3.6 Faalscenario's

Nalevering en repressieve maatregelen

Bij een breuk of lek van de leiding zal waterstof vanuit het bovenstroomse en benedenstroomse leidingdeel naar de locatie van het incident toestromen. De druk in deze leidingdelen zal afnemen met de tijd. Aangenomen is dat aan het bovenstroomse leidingdeel continue waterstof wordt toegevoerd ter grootte van de productiecapaciteit van de leverancier waar de betreffende leiding op is aangesloten (zie Tabel 3-1 en Tabel 3-2).

In het geval van een incident bij een leiding van leverancier B en D (blauwe en rode leiding) is de benedenstroomse nalevering vanuit de HyTransPort dominant ten opzichte van nalevering vanuit de andere leidingen die op het afsluitstation zijn aangesloten. In deze QRA is daarom voor deze leidingen voor de benedenstroomse nalevering enkel nalevering vanuit de HyTransPort meegenomen.

De afsluiters op de plots van de leveranciers en bij de afsluitstation hebben allemaal de functionaliteit van automatische noodafsluiter (ESD-klep). In de leidingen in de leidingstrook zitten géén additionele ESD-kleppen. Voor de ESD-kleppen is een sluitingstijd van 120 s aangenomen; een afwijkende uitstromingsduur is irrelevant omdat conform Module D van Handleiding Risicoberekeningen Bevb [2] bij de modellering van brandbare gassen een gemiddelde bronsterkte over de eerste 20 seconden wordt gehanteerd.

Uitwerking faalscenario's

In Tabel 3-6 zijn de gegevens zoals ingevoerd om de faalscenario's van de leidingen te modelleren opgenomen.

Tabel 3-6: Leiding gegevens faalscenario

Kenmerk	Leidingen			Eenheid	Toelichting
Leverancier	B	C	D	[-]	
Leidingexploitant	Gasunie	Air Liquide	Gasunie	[-]	
Rekenmodel	Long pipeline	Long pipeline	Long pipeline	[-]	
Modelstof	Waterstof	Waterstof	Waterstof	[-]	
Druk	66,2	100	66,2	[barg]	
Temperatuur	9,8	9,8	9,8	[°C]	
Incident spacing	10	10	10	[m]	
Kans directe ontsteking	1	1	1	[-]	
Ruwheidslengte buisleiding	45	45	45	[μm]	
Diameter	24	6	24	[inch]	Manueel gedefinieerde leidingsecties om terugstroming vanuit de HyTransPort (24") te modelleren. Leidingsectie omvat het desbetreffende leidingdeel van de leveranciers tot het afsluitstation.
Aantal leidingsecties	1	n.v.t.	1	[-]	
Diameter leidingsecties	8	6	8	[inch]	
Lengte leiding	60	60	60	[km]	Fictieve lengte om benedenstroomse terugstroming te modelleren.
Pompdebiet	1,02	1,71	1,42	[kg/s]	Productiedebiet van leveranciers (zie Tabel 3-1), relevant voor bovenstroomse toevoer.
Uitstroommodel	Kratermodel	Kratermodel	Kratermodel	[-]	
Uitstroom richting	Verticaal	Verticaal	Verticaal	[-]	
Model hoogte	0,01	0,01	0,01	[m]	Standaard te gebruiken instelling Safeti-NL volgens [2]
Diepte ligging	1,0	1,0	1,0	[m]	
Grondsoort	Zandgrond	Zandgrond	Zandgrond	[-]	
Breuklengte	12,0	12,0	12,0	[m]	
Diameter breuk	Full bore	Full bore	Full bore	[-]	'Relative aperture' gelijk aan 1
Diameter lek	n.v.t.	20	n.v.t.	[mm]	Vaste waarde volgens [2]

4 Uitgangspunten risicomodellering

De berekeningen zijn uitgevoerd met het rekenpakket Safeti-NL versie 8.5 [3]. Gebruik van dit rekenpakket is wettelijk verplicht voor het berekenen van de externe veiligheidsrisico's van buisleidingen die geen aardgas transporteren, voorgaand is vastgelegd in de Handleiding Risicoberekeningen Bevb [2] voor het opstellen van QRA's in Nederland. Aan de hand van invoergegevens waaronder de hoeveelheid gevaarlijke stof, de procescondities en ontwerpspecificaties, berekent Safeti-NL de externe veiligheidsrisico's. Het resultaat van een berekening bestaat uit PR-contouren en de FN-curve.

Onderstaand ligt de belangrijkste algemene parameters toe zoals gehanteerd voor de analyse.

4.1 Stofgegevens

Voor de modellering is uitgegaan van waterstof. Voor waterstof is uitgegaan van de stoffenbestanden zoals aanwezig in het rekenmodel Safeti-NL. Gezien de lage ontstekingsenergie wordt voor waterstof verwacht dat breuk altijd leidt tot ontsteking en is er uitgegaan van een directe ontsteking kans van 1, zoals voorgeschreven in Module D van Handleiding Risicoberekeningen Bevb [2].

4.2 Omgevingsfactoren

Weerscondities

Bij het berekenen van de externe veiligheidsrisico's is gebruik gemaakt van de meteogegevens van het weerstation Hoek van Holland, zoals deze in Safeti-NL zijn opgenomen. Dit is het dichtstbijzijnde representatieve weerstation.

Ruwheidslengte

Bij het bepalen van de verspreiding van een brandbare wolk is de ruwheidslengte in de omgeving van de inrichting van belang. Gezien in deze QRA te allen tijde van een directe ontsteking wordt uitgegaan is deze lengtemaat (die de invloed van de omgeving op de dispersie aangeeft) irrelevant en is derhalve de standaard ruwheidslengte van 0,3 m uit de Handleiding Risicoberekeningen Bevb [2] gebruikt.

Bevolkingsgegevens

Het gebied waarin de populatie is opgevraagd is bepaald op basis van de afstand tot de plaatsgebonden risico contour $PR = 10^{-30}$ per jaar (representatief voor de 1%-letaliteitsafstand), vermeerderd met een marge; het resulterende gebied omvat alle populatie binnen een afstand van ruim 500 meter tot de leidingen. De populatie is bepaald met www.populatieservice.nl [9] (bagselectiebasis 202307). Deze service levert populatiegegevens op basis van de Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG).

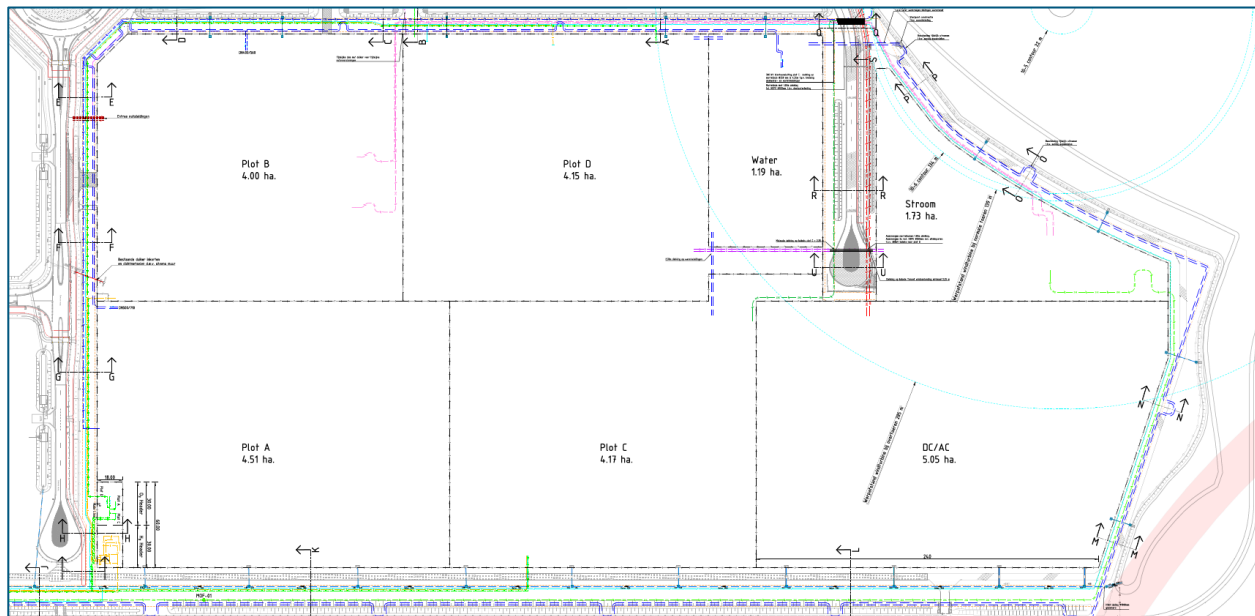
Ook is voor nog niet ontwikkelde plots op het conversiepark een schatting gemaakt van mogelijke toekomstige populatie op basis van de toegestane bedrijvigheid (zogenaamde 'Enkelbestemming') in combinatie met kentallen volgens de PGS Deel 6 – Aanwezigheidsgegevens [10]; kental voor industrie van 40 personen per hectare.

4.3 Potentiële domino-effecten

Windturbines

In de directe omgeving van de voorgenomen ondergrondse waterstofleidingen is met name één windturbine van het windpark Slufter aanwezig. De mogelijke domino-effecten van dit windpark zijn in een eerdere studie onderzocht. Figuur 4-1 laat de risicocontouren van de dichtstbijzijnde windturbine zien,

waarbij de buitenste contour het faalscenario *werpafstand bij overtoeren* betreft. De risicocontouren liggen niet over de onderzochte waterstofleidingen en zijn derhalve niet relevant voor deze QRA.



Figuur 4-1 Risicocontouren dichtstbijzijnde windturbine (vier cyaan contouren) niet relevant voor onderzochte leidingen [1]

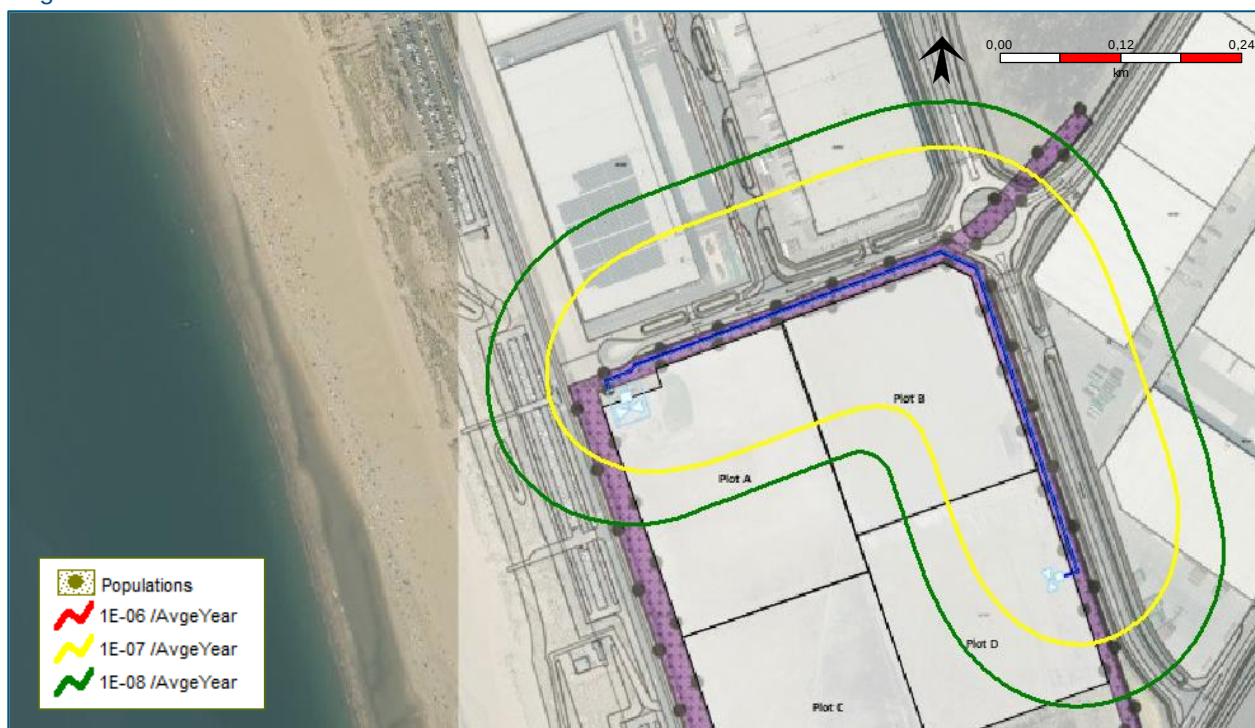
Naast gelegen leidingen

Ten noorden van plot A liggen de leidingen van leveranciers B en D (voor een relatief kort segment) naast elkaar voordat ze beiden op het afsluitstation worden gekoppeld, zie Figuur 3-1. Deze leidingen in de leidingstroom liggen, conform de eisen van het Leidingbureau op 40 cm dagmaat. Het ontwerp van de leidingstroom zal voldoen aan alle voorschriften zoals gesteld door het Leidingbureau om risico's te minimaliseren; bijvoorbeeld doordat het ontwerp van de leidingstroom voldoet aan de HBOR richtlijnen die een verhoogde veiligheidsfactor voor de wanddikte en controle maatregelen voorschrijven.

5 Resultaten

5.1 Plaatsgebonden risico

In onderstaande figuren zijn de PR-contouren van de ondergrondse leidingen in de leidingstrook weergegeven. Voor alle drie leidingen is geen plaatsgebonden risicocontour van 10^{-6} per jaar aanwezig en voldoet aan het vigerende beleid ten aanzien van het PR. Voor de waterstofleiding van leverancier C (groene leiding) geldt dit alleen onder de voorwaarde dat periodieke In-Line Inspectie wordt toegepast. In bijlage 2 is een sensitiviteitsanalyse voor deze leiding opgenomen, waaruit bovenstaande voorwaarde volgt.



Figuur 5-1 PR-contouren ondergrondse leiding leverancier D (blauwe leiding). De leiding heeft geen 10^{-6} PR-contour.



Figuur 5-2: PR-contouren ondergrondse leiding leverancier B (rode leiding). De leiding heeft geen 1E-06 PR-contour.



Figuur 5-3: PR-contouren ondergrondse leiding leverancier C (groene leiding). De leiding heeft geen 1E-06 PR-contour.

5.2 Groepsrisico

De berekeningen laten zien dat op basis van de ingevoerde populatie maximaal minder dan tien personen gelijktijdig (GR) te komen overlijden. Dit aantal is lager dan het minimum (van tien personen) volgens de definitie van groepsrisico en is er derhalve geen sprake van een groepsrisico.

6 Conclusies en aanbevelingen

Leiding leverancier B (rode leiding)

Op basis van de resultaten van de berekeningen met Safeti-NL voor de QRA wordt het volgende van het ten aanzien van het PR en GR geconcludeerd:

- Met het toepassen van de voorgenomen preventieve maatregelen is er geen plaatsgebonden risicocontour van 10^{-6} per jaar aanwezig. De leiding voldoet derhalve aan het vigerende beleid ten aanzien van het PR. Preventieve maatregelen conform randvoorwaarden Handleiding Risicoberekeningen Bevb [2]:
 - WIBON wetgeving en
 - actief rappel, beperkte restricties en strikte begeleiding werkzaamheden.
- De berekeningen laten zien dat op basis van de ingevoerde populatie maximaal minder dan tien personen gelijktijdig (GR) te komen overlijden. Dit aantal is lager dan het minimum van tien personen volgens de definitie van groepsrisico en is er derhalve geen sprake van een groepsrisico.

Leiding leverancier C (groene leiding)

Op basis van de resultaten van de berekeningen met Safeti-NL voor de QRA wordt het volgende van het ten aanzien van het PR en GR geconcludeerd:

- Met het toepassen van de voorgenomen preventieve maatregelen is er geen plaatsgebonden risicocontour van 10^{-6} per jaar aanwezig. De leiding voldoet derhalve aan het vigerende beleid ten aanzien van het PR. Preventieve maatregelen conform randvoorwaarden Handleiding Risicoberekeningen Bevb [2]:
 - leiding voldoet aan 'stand-der-techniek',
 - beperkte restricties en strikte begeleiding werkzaamheden,
 - toepassing van periodieke In-Line Inspectie en
 - het uitsluiten van interne corrosie.
- De berekeningen laten zien dat op basis van de ingevoerde populatie maximaal minder dan tien personen gelijktijdig (GR) te komen overlijden. Dit aantal is lager dan het minimum van tien personen volgens de definitie van groepsrisico en is er derhalve geen sprake van een groepsrisico.

Leiding leverancier D (blauwe leiding)

Op basis van de resultaten van de berekeningen met Safeti-NL voor de QRA wordt het volgende van het ten aanzien van het PR en GR geconcludeerd:

- Met het toepassen van de voorgenomen preventieve maatregelen is er geen plaatsgebonden risicocontour van 10^{-6} per jaar aanwezig. De leiding voldoet derhalve aan het vigerende beleid ten aanzien van het PR. Preventieve maatregelen conform randvoorwaarden Handleiding Risicoberekeningen Bevb [2]:
 - WIBON wetgeving en
 - actief rappel, beperkte restricties en strikte begeleiding werkzaamheden.
- De berekeningen laten zien dat op basis van de ingevoerde populatie maximaal minder dan tien personen gelijktijdig (GR) te komen overlijden. Dit aantal is lager dan het minimum van tien personen volgens de definitie van groepsrisico en is er derhalve geen sprake van een groepsrisico.

7 Referenties

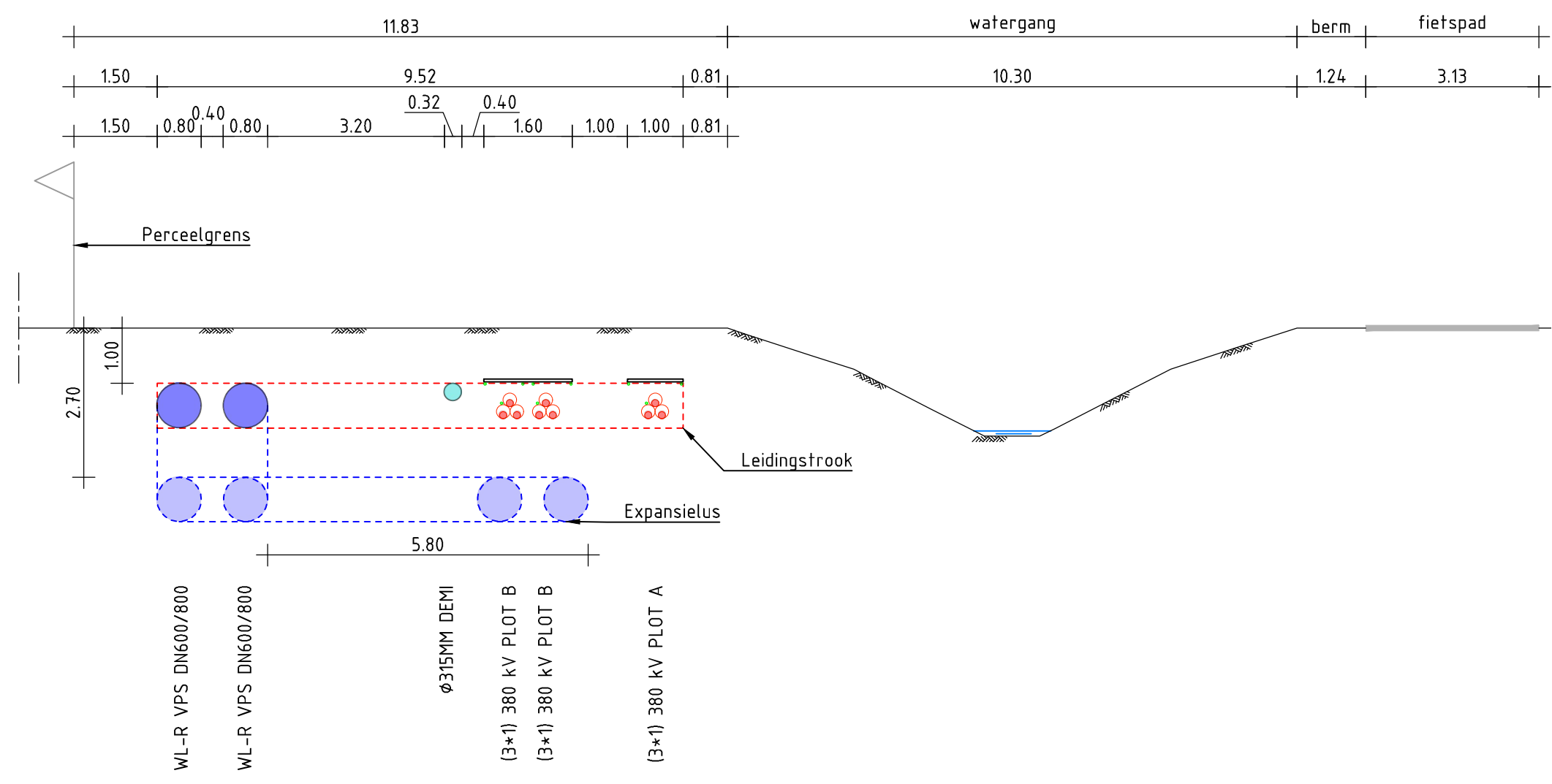
- [1] Besluit van 24 juli 2010, houdende milieukwaliteitseisen externe veiligheid voor het vervoer van gevaarlijke stoffen door buisleidingen (Besluit externe veiligheid buisleidingen), Stb. 2010, 686, in werking getreden op 24 juli 2010. Laatste wijziging op 31 maart 2018.
- [2] Handleiding Risicoberekeningen Bevb, versie 3.2, VROM, 1 januari 2021.
- [3] Softwarepakket Safeti-NL, versie 8.5, DNV
- [4] www.ruimtelijkeplannen.nl, bezocht op 6 oktober 2023.
- [5] Technische tekening: 126304.00.9011 - Situatie K&L - Rev H
- [6] Brief van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat aan N.V. Nederlandse Gasunie betreffende *Externe veiligheid berekening van Waterstofnet*, 8 maart 2023, kenmerk IENW/BSK-2023/63082
- [7] Advies van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu betreffende *Rekenmethodiek transport waterstof in (aardgas)transportleidingen*, 25 november 2021, kenmerk 2021-0074/VLH/HdW/ib
- [8] QRA HyTransPort, Arcadis, 6 april 2023, referentie D10055651:154
- [9] BAG populatieservice, <http://populatieservice.demis.nl>, download 9 oktober 2023 (BAGselectiebasis: 202307).
- [10] Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 1 – Deel 6: Aanwezigheidsgegevens, VROM, december 2003
- [11] Website: <https://omgevingsveiligheid.rivm.nl/stappenplan-bepalen-aandachtsgebieden>, bezocht op 01-08-2023, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu

Appendix

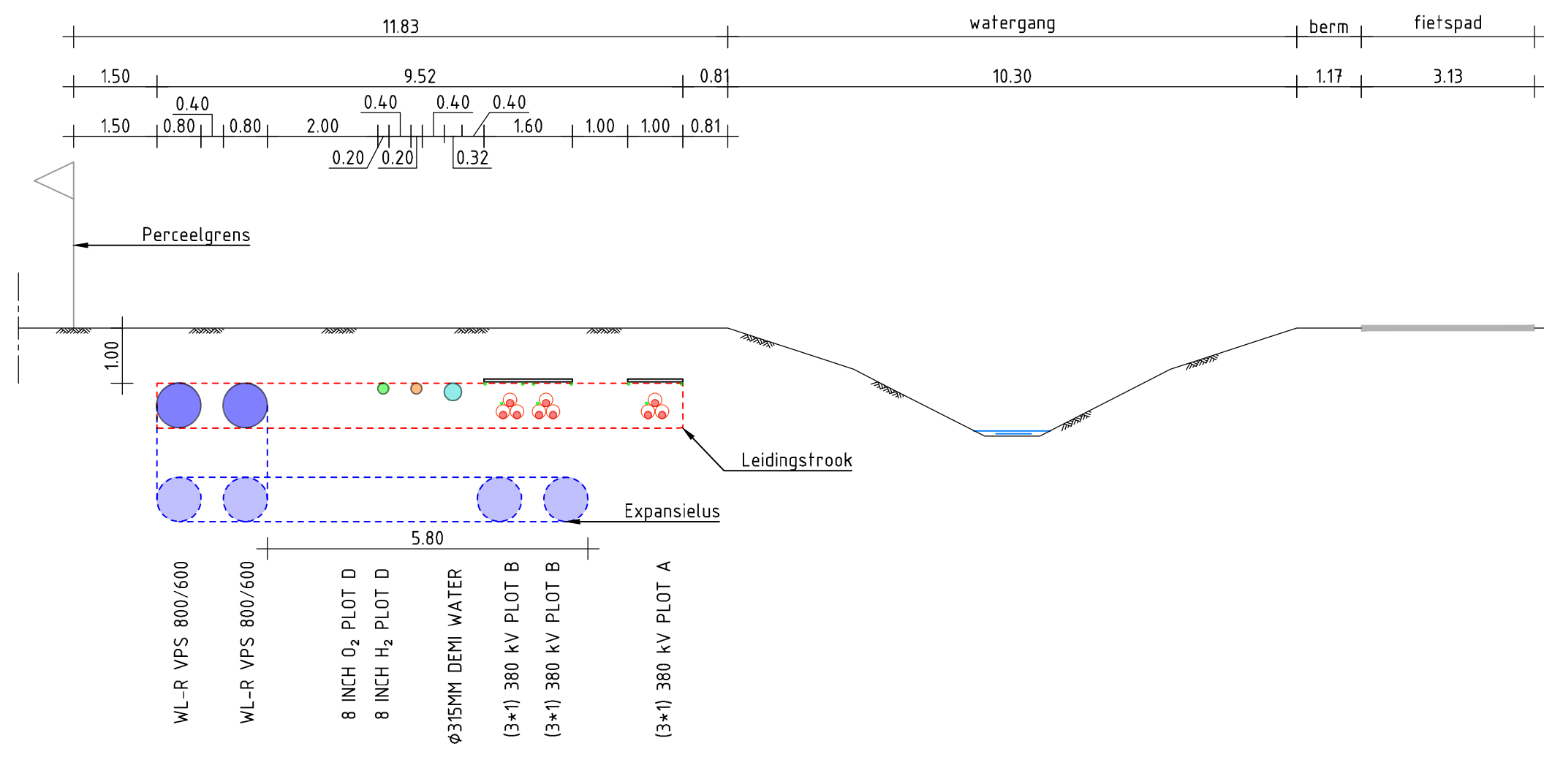
1. Technische tekeningen



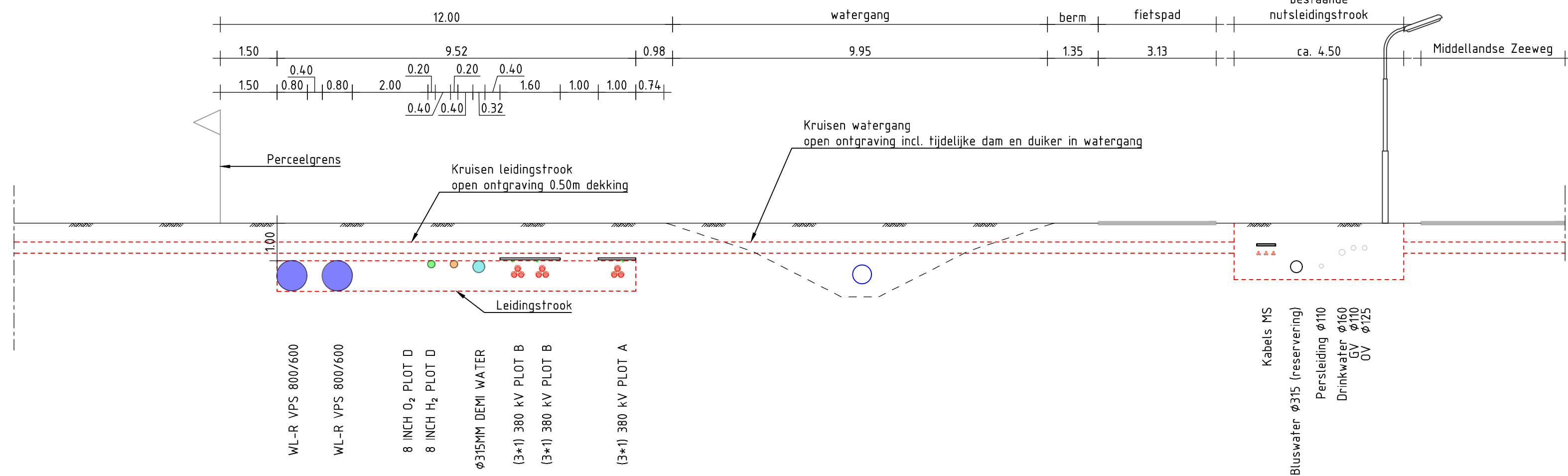
Plotdatum: 6/15/2023 5:16



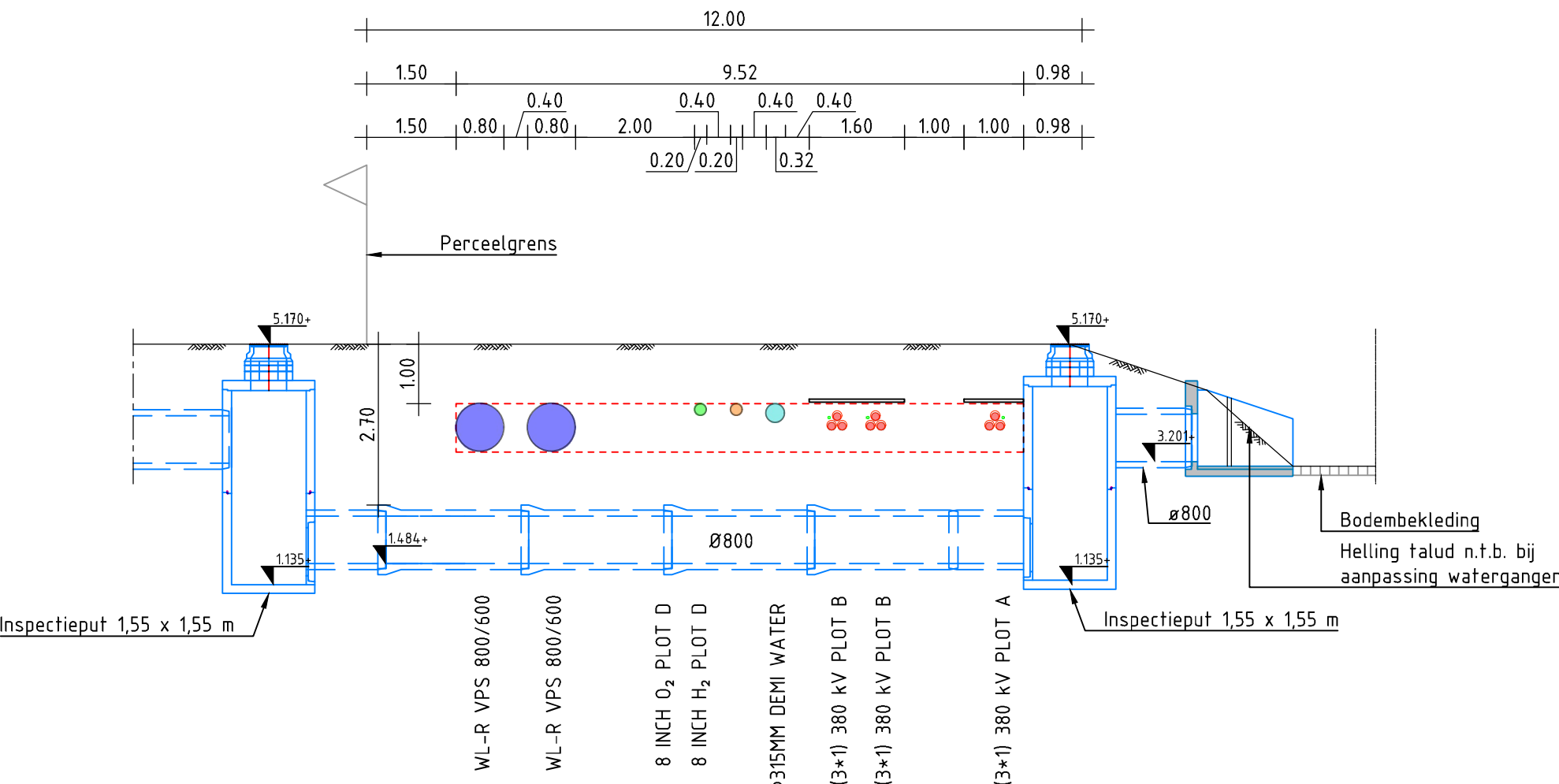
Principeprofiel A-A
SCHAAL 1 : 100



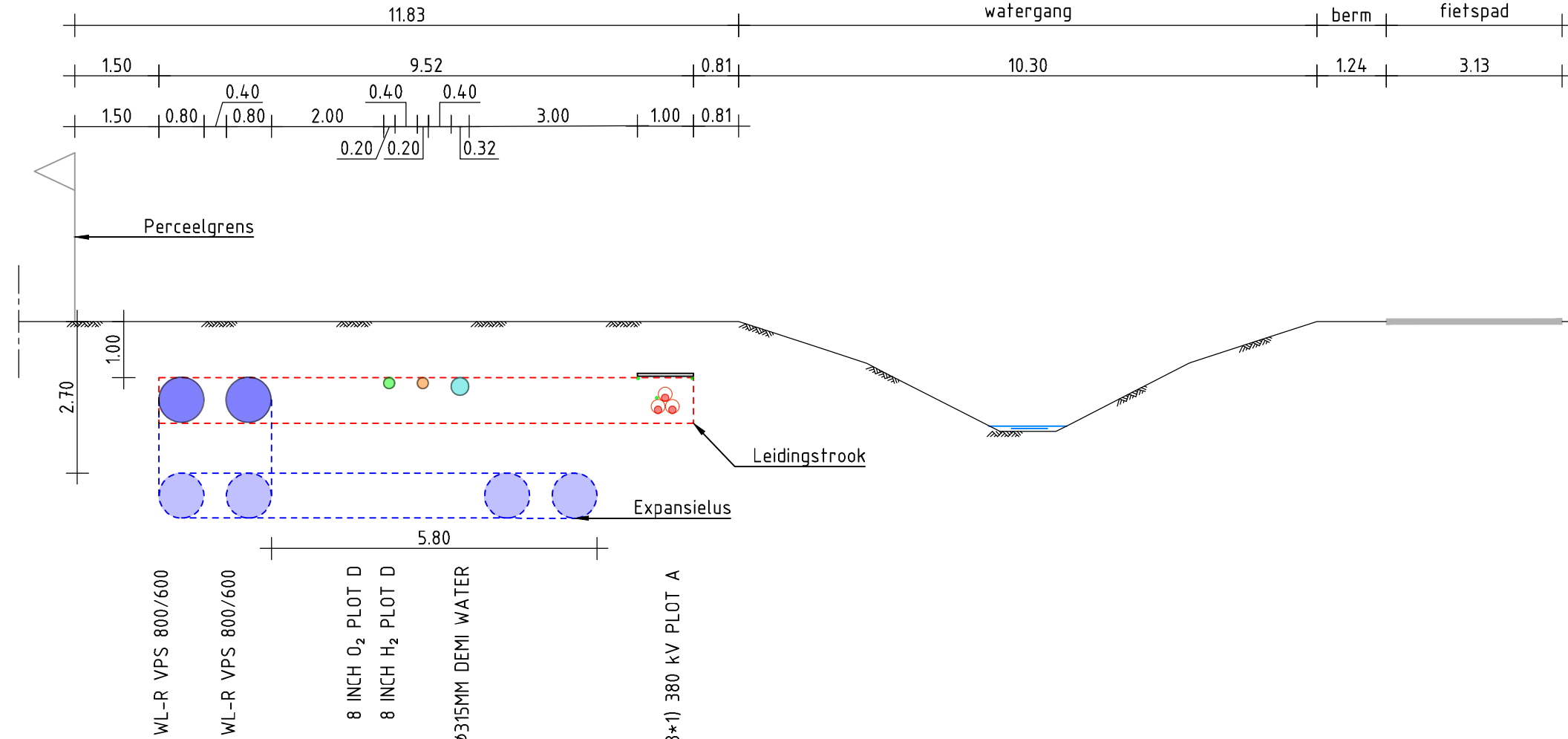
Principeprofiel B-B
SCHAAL 1 : 100



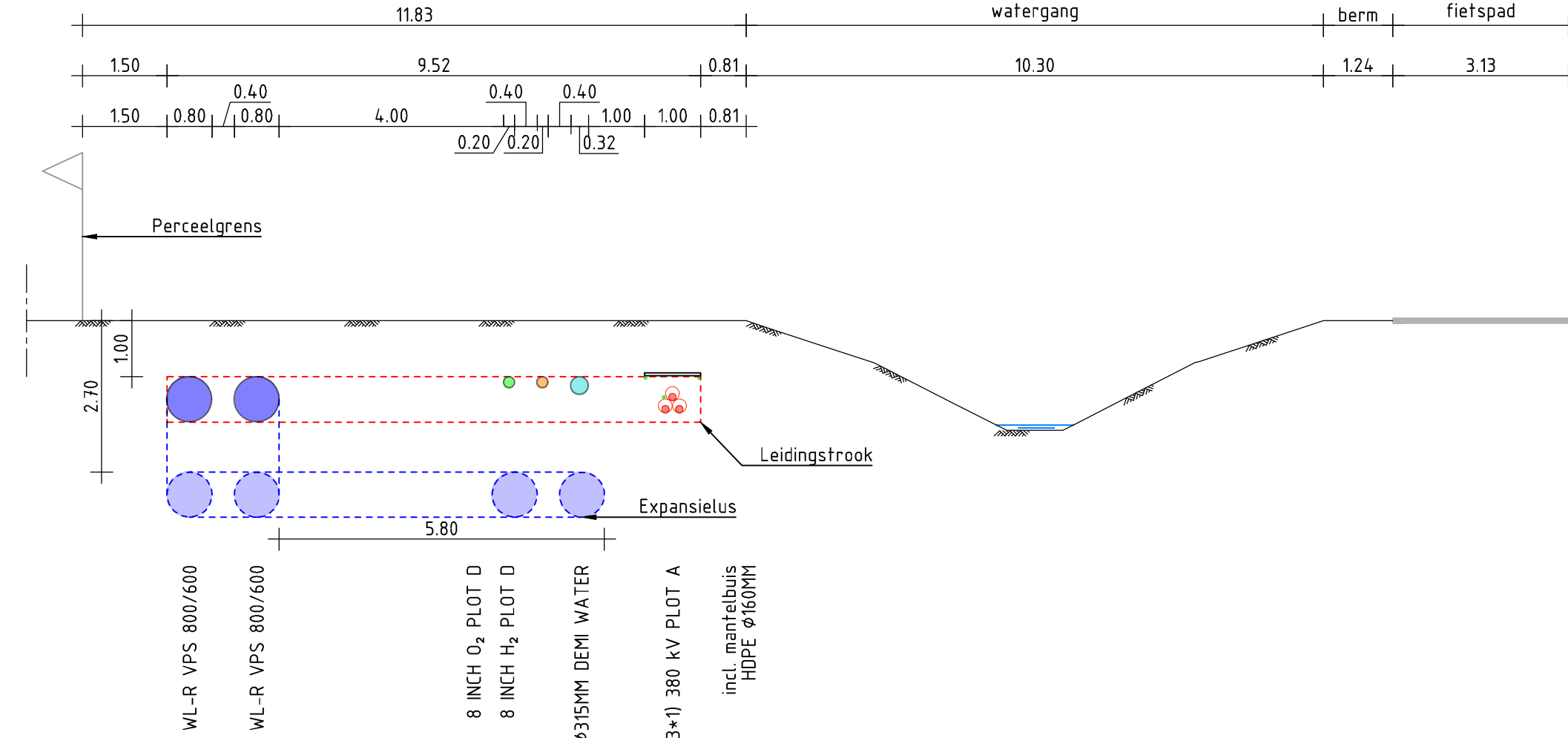
Typical A: Tijdelijke nutsaansluiting t.h.v. profiel B-B
SCHAAL 1 : 100



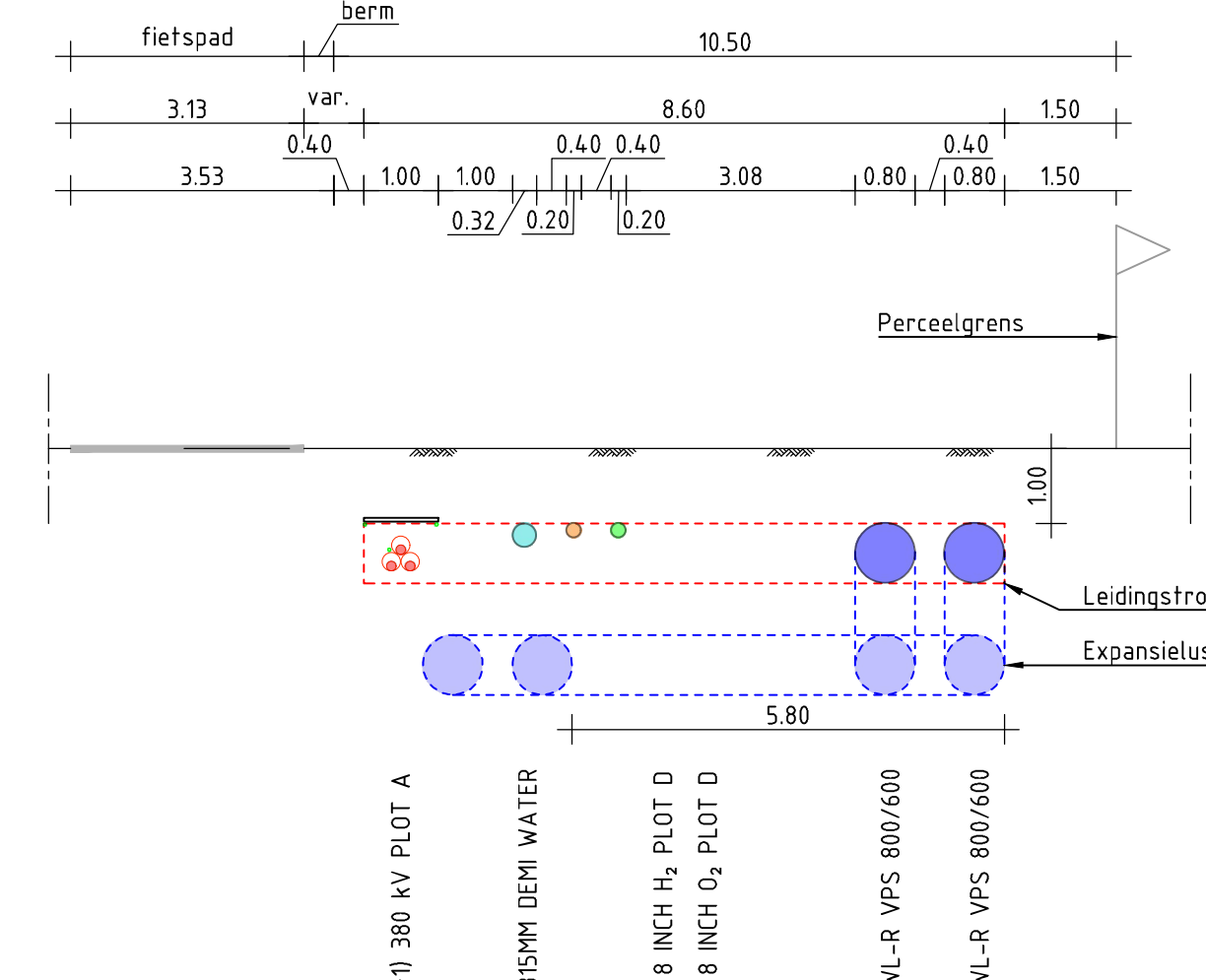
Typical B: Oversteek HWA t.h.v. plot B en D
SCHAAL 1 : 100



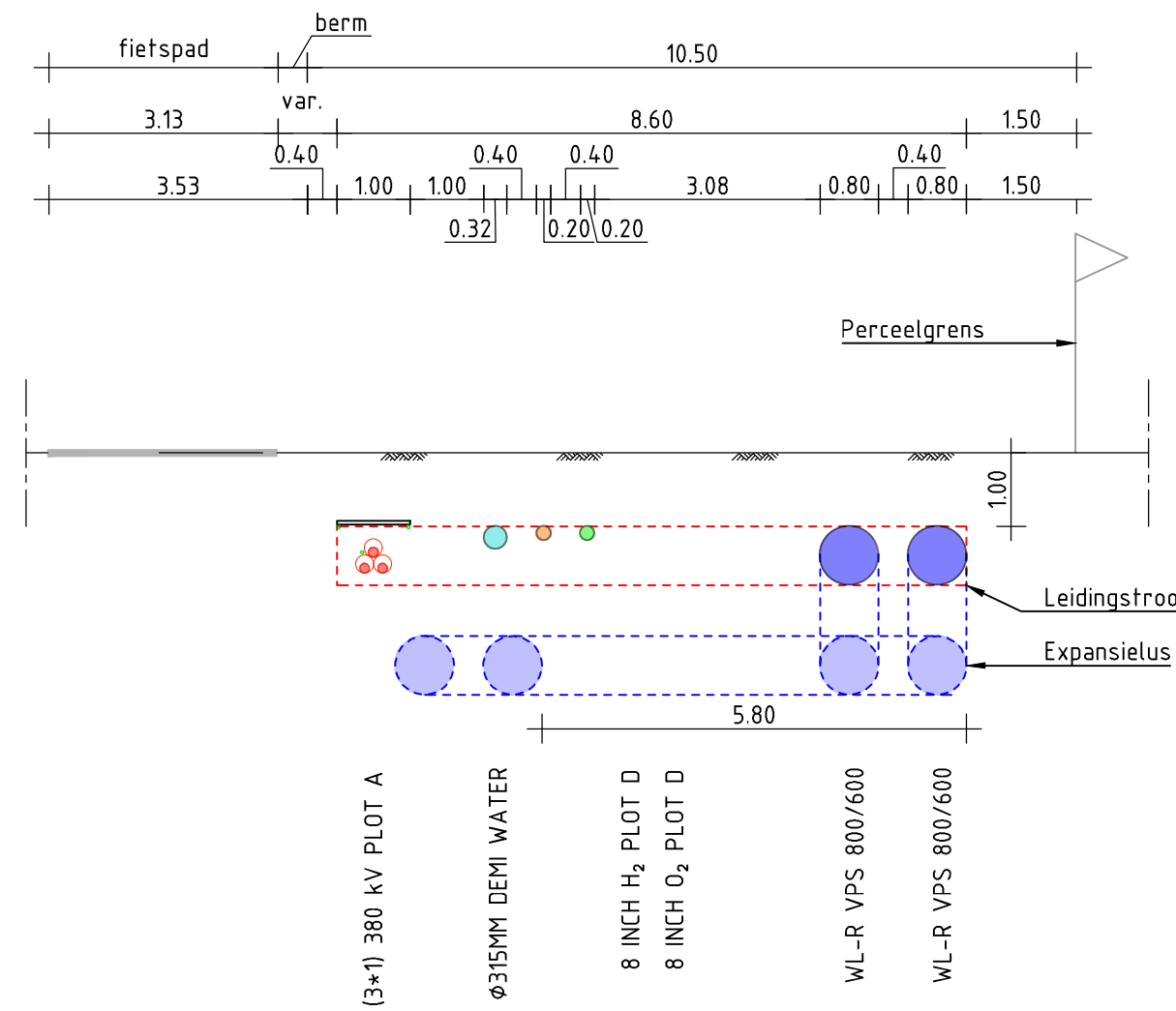
Principeprofiel C-C
SCHAAL 1 : 100



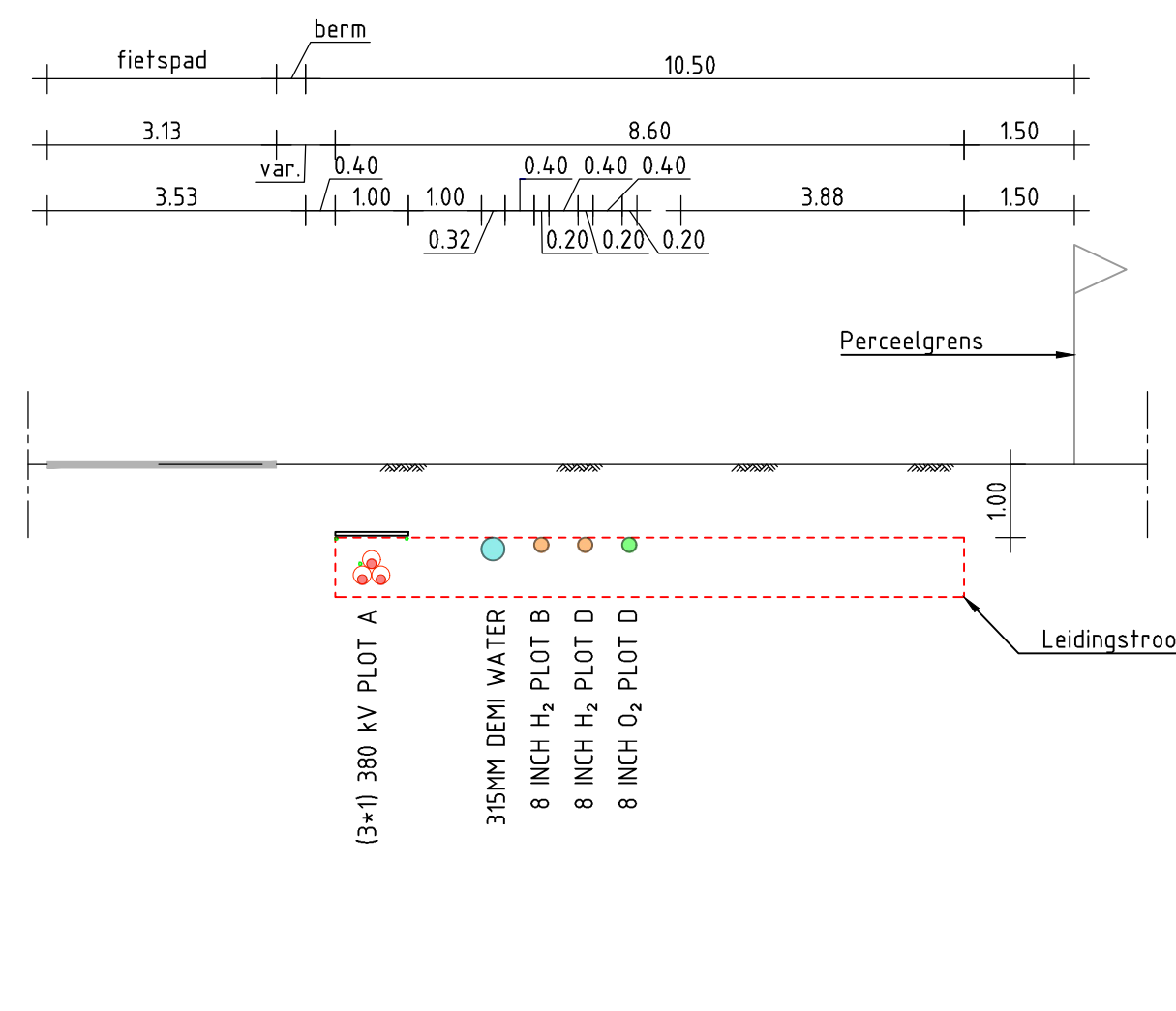
Principeprofiel D-D
SCHAAL 1 : 100



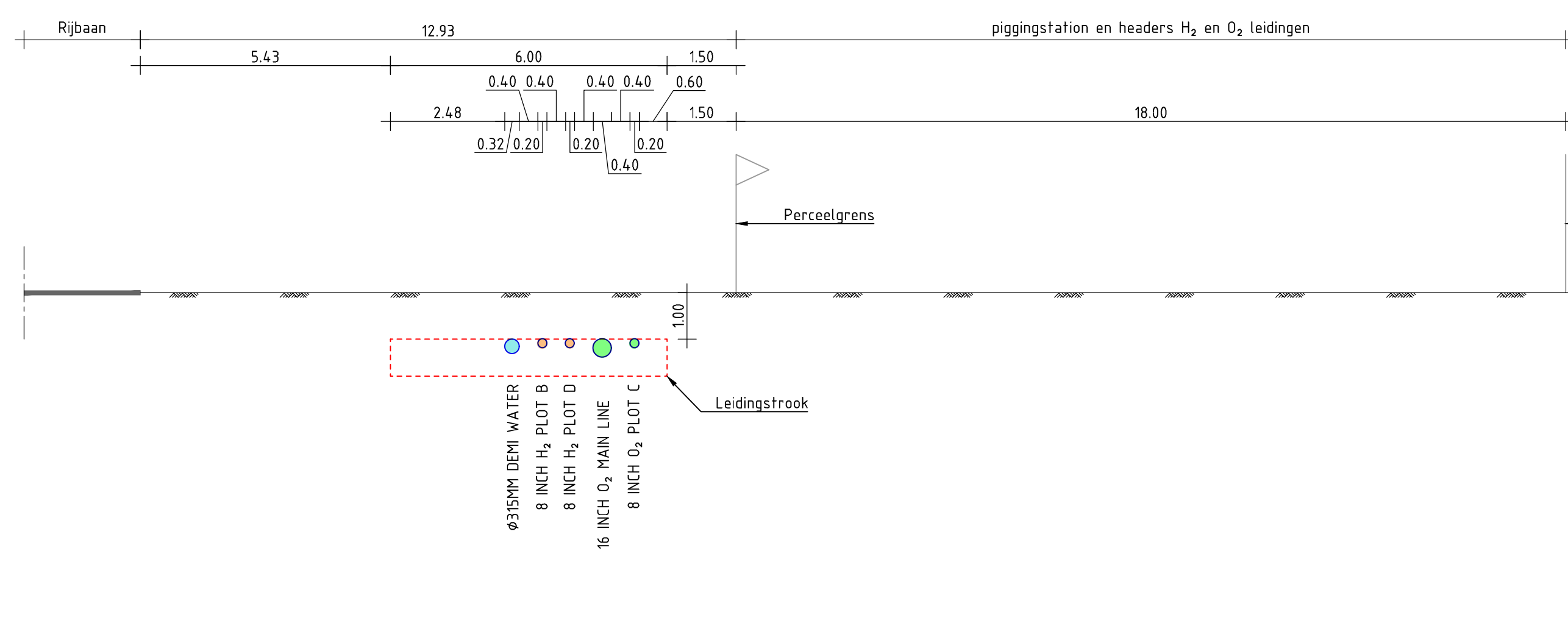
Principeprofiel E-E
SCHAAL 1 : 100



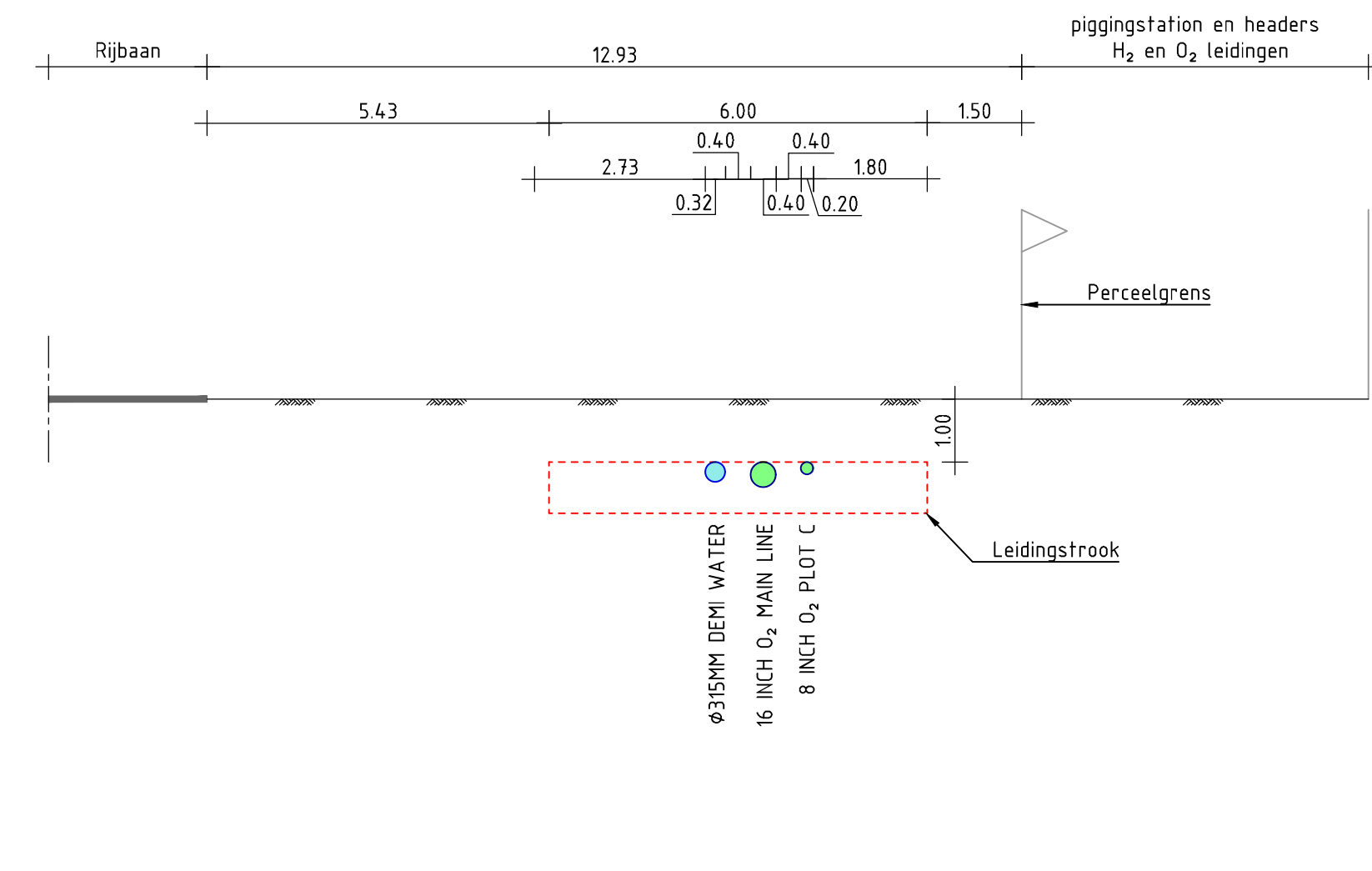
Principeprofiel F-F
SCHAAL 1 : 100



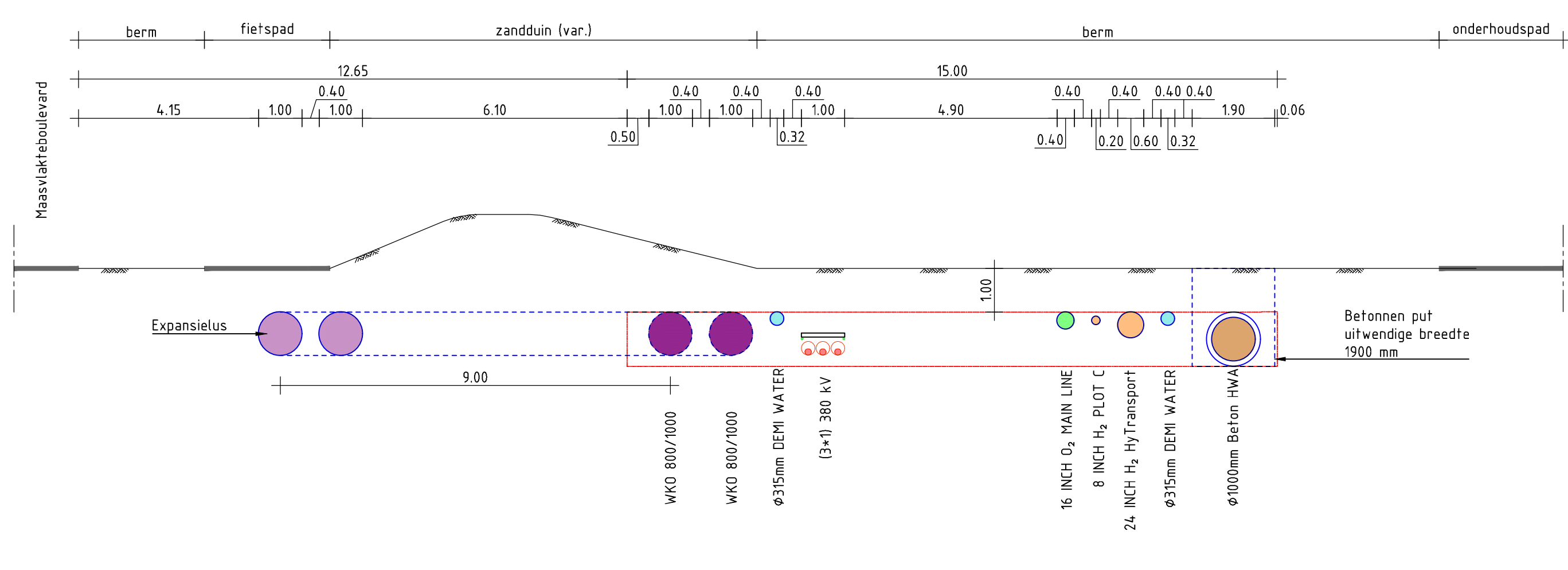
Principeprofiel G-G
SCHAAL 1 : 100



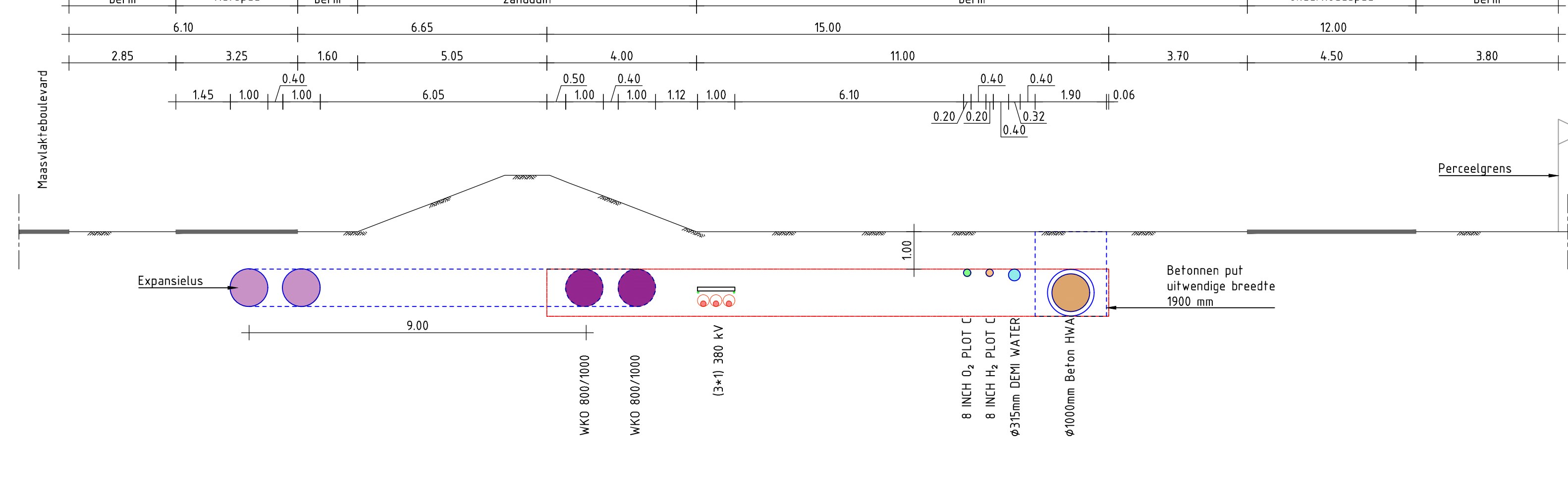
Principeprofiel H-H
SCHAAL 1 : 100



Principeprofiel I-I
SCHAAL 1 : 100



Principeprofiel J-J
SCHAAL 1 : 100



Principeprofiel K-K
SCHAAL 1 : 100

Weergegeven 380kV kabels in profiel met voorzien van mantelbus HDPE Ø160mm en 40mm PE mantelbus t.b.v. glasvezel-siginaalverbinding

ALGEMEEN:
DE LIGGING VAN KABELS EN LEIDINGEN OP DEZE TEKENING ZIJN INDIKATIEF. WEERGEGEVEN VOOR DE EXACTE LIGGING VAN DE KABELS EN LEIDINGEN DIENT CONTACT TE WORDEN OPGENOMEN MET DE BETREFFENDE NETBEHEERDER. AAN DEZE TEKENING KUNNEN DAN OOK GEEN RECHTEN WORDEN ONTLEEND. WITTEVEEN-BOS IS DAN OOK NIET AANSPRAKELIJK VOOR SCHADE DIE HET GEVOLG IS VAN HET GEBRUIK VAN DEZE TEKENING.

MATEN IN METERS TENZIJ ANDERS VERMELD
HOOGTEMATEN IN METERS TENZIJ ANDERS VERMELD
MATERIALEN IN MILLIMETERS TENZIJ ANDERS VERMELD

0 1 2 3 4
SCHAAL 1:100

Port of Rotterdam
Havenbedrijf Rotterdam NV
Postbus 4622
3002 AP Rotterdam
010 - 252 10 10
www.portofrotterdam.com

Witteveen-Bos
Witteveen-Bos
Witteveen-Bos

Wijz. Getekend Datum Omschrijving
F R. de Bruijn 31-05-2023 Wijzigen watergangen
G H.M. de Bruijn 09-06-2023 Wijziging Tuss. H.S. 100V
H R. de Bruijn 15-06-2023 Wijziging koolgasen DC/AC

Opdrachtgever
Havenbedrijf Rotterdam
Project
Waterstofconversiepark
Kabel- en leidingstroken

Onderdeel
Principeprofielen
Kabels & Leidingen deel 1

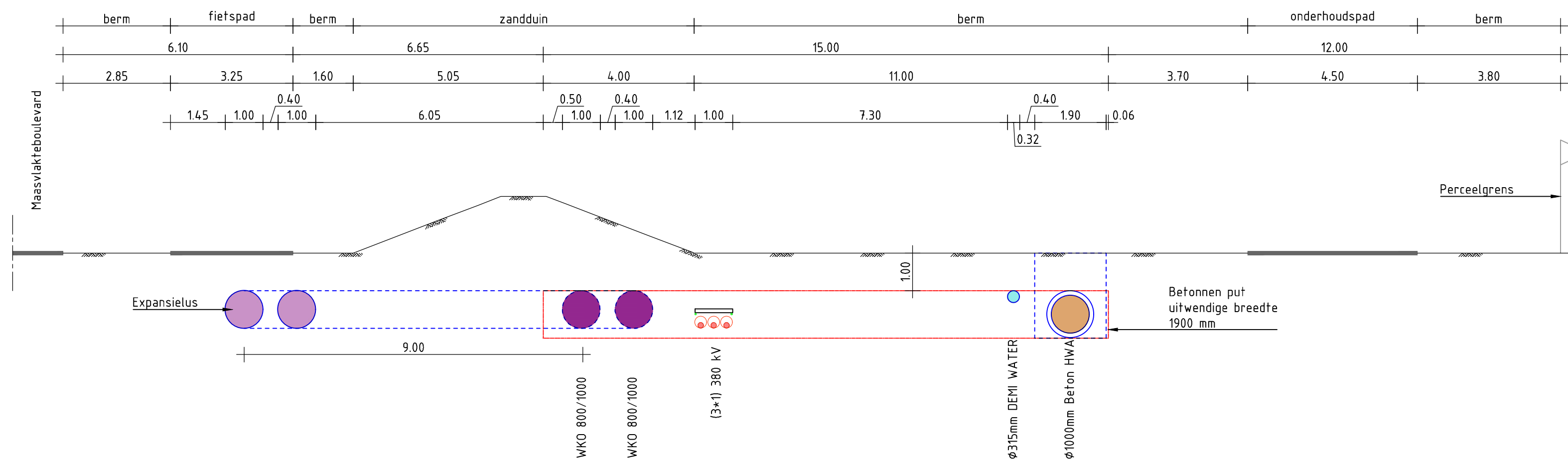
Status Definitief
Datum 15-06-2023
Formaat Schaal
AOL 1:100

Getekend
Gecontroleerd
Goedgekeurd
P.I. Witteveen
M.A.W. Vermeer
M.A.W. Vermeer

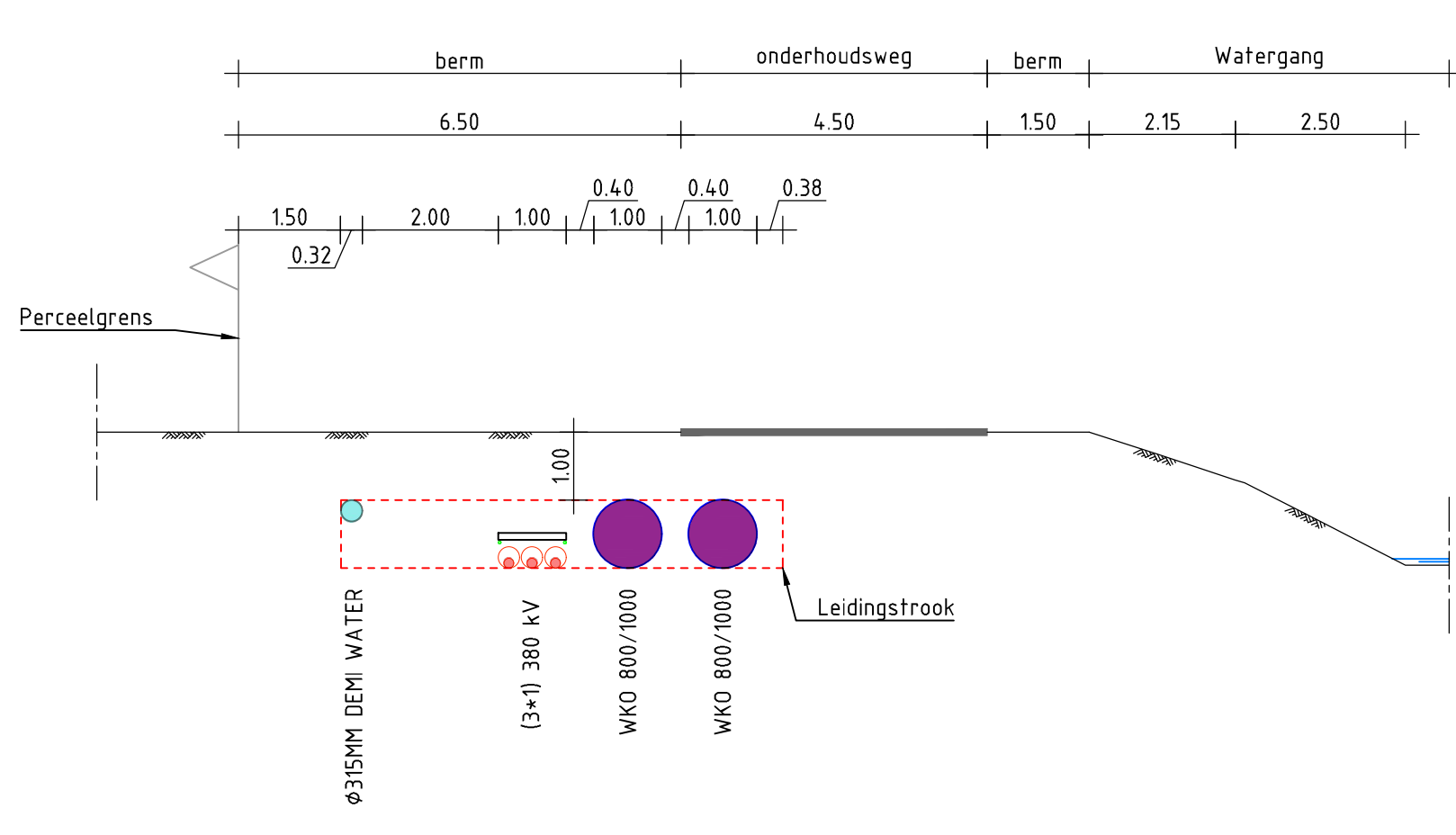
Projectcode
Tekeningnummer
Bladnummer
126304
00.9011
2/3

Witteveen-Bos Raadgevende ingenieurs B.V. | Deventer
Lewenburgerdijk 1 | Postbus 233 | 7400 AE Deventer | +31 (0)570 69 79 11 | www.witteveenbos.com | Kijk: 26027551

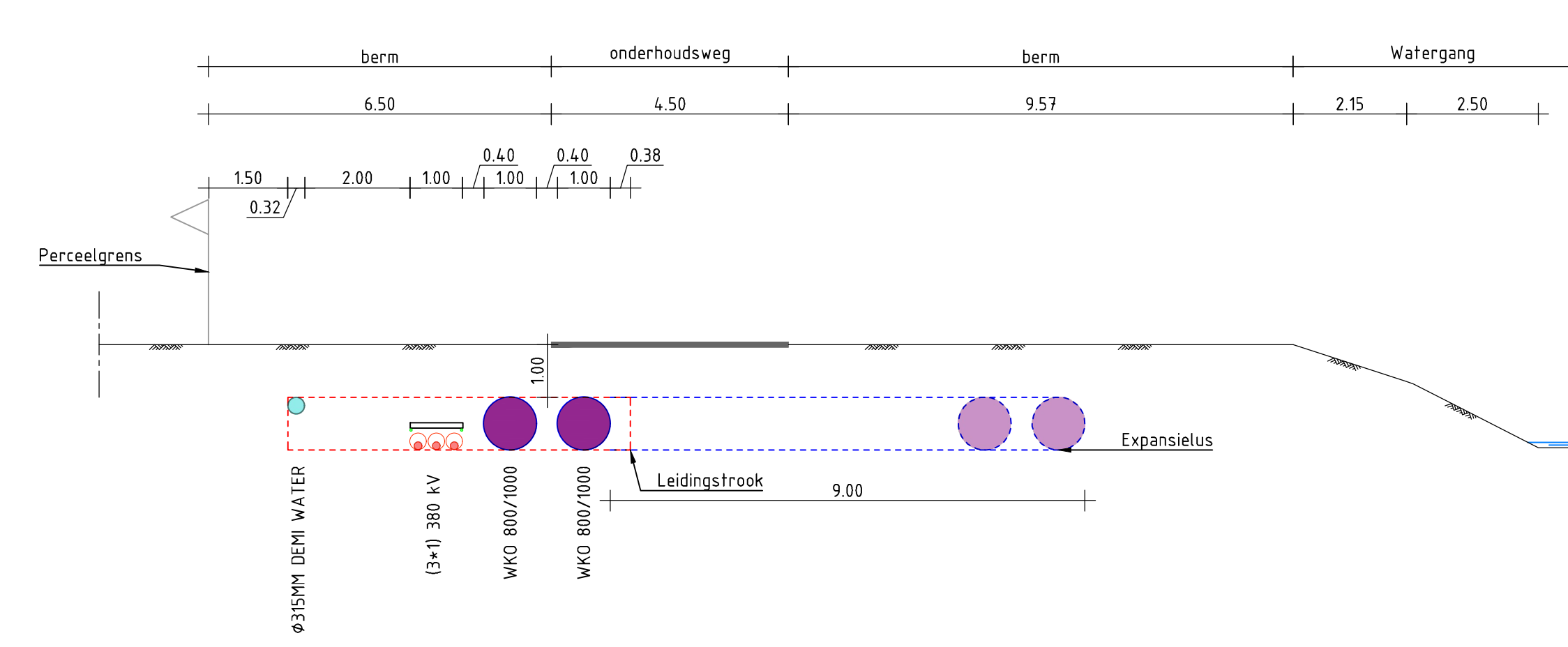
Productie: 6/15/2023 2:10



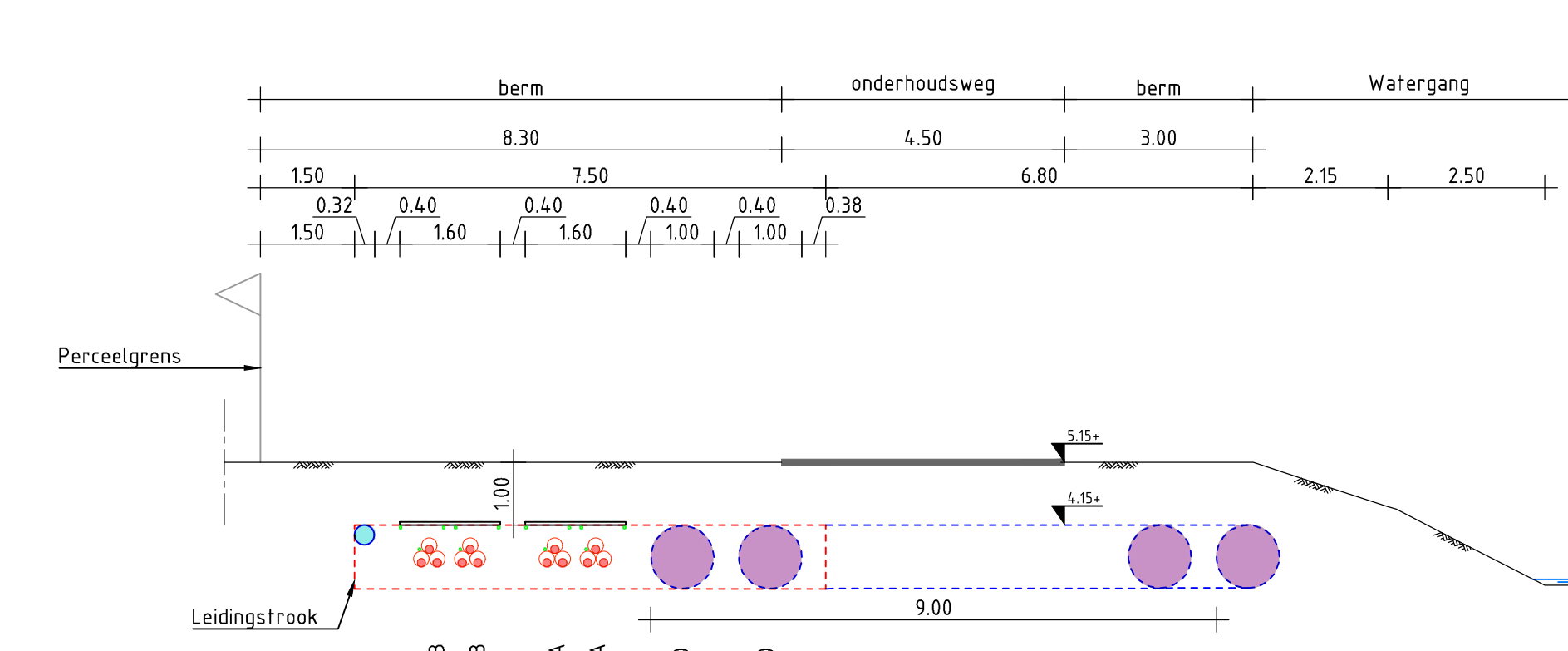
Principeprofiel L-L
SCHAAL 1 : 100



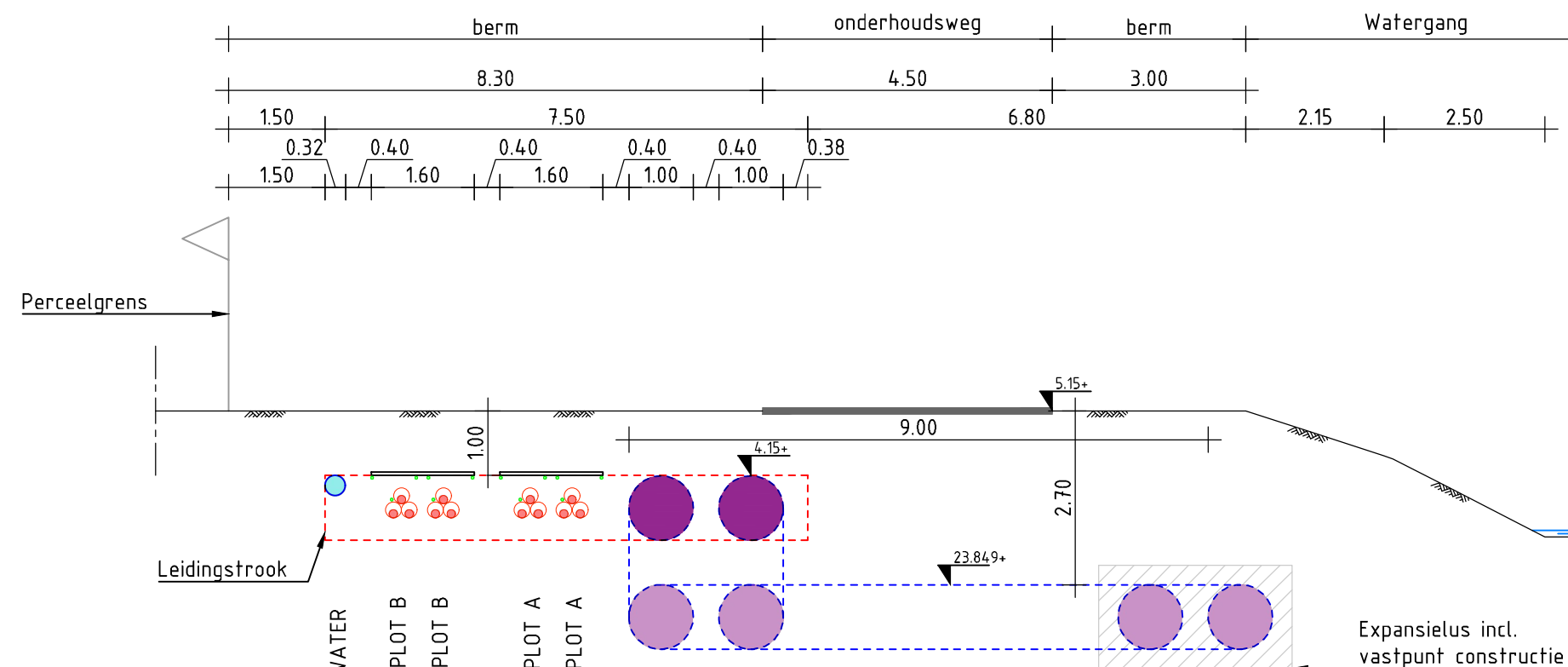
Principeprofiel M-M
SCHAAL 1 : 100



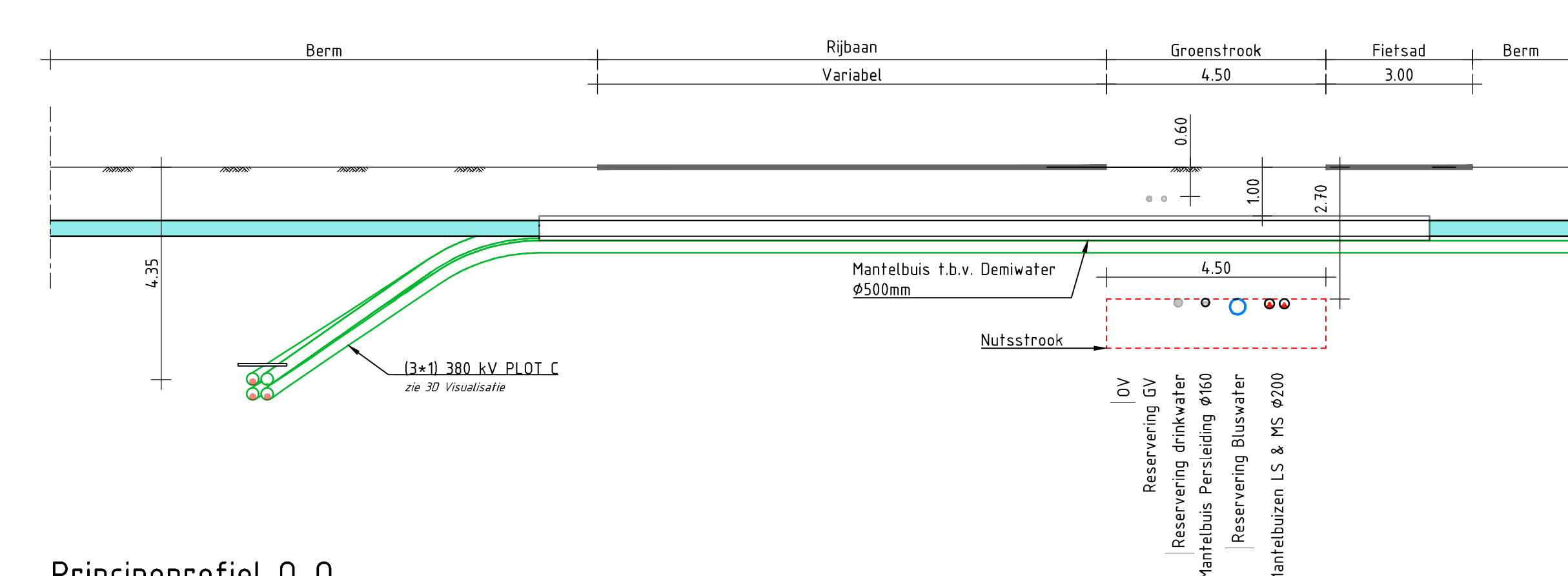
Principeprofiel N-N
SCHAAL 1 : 100



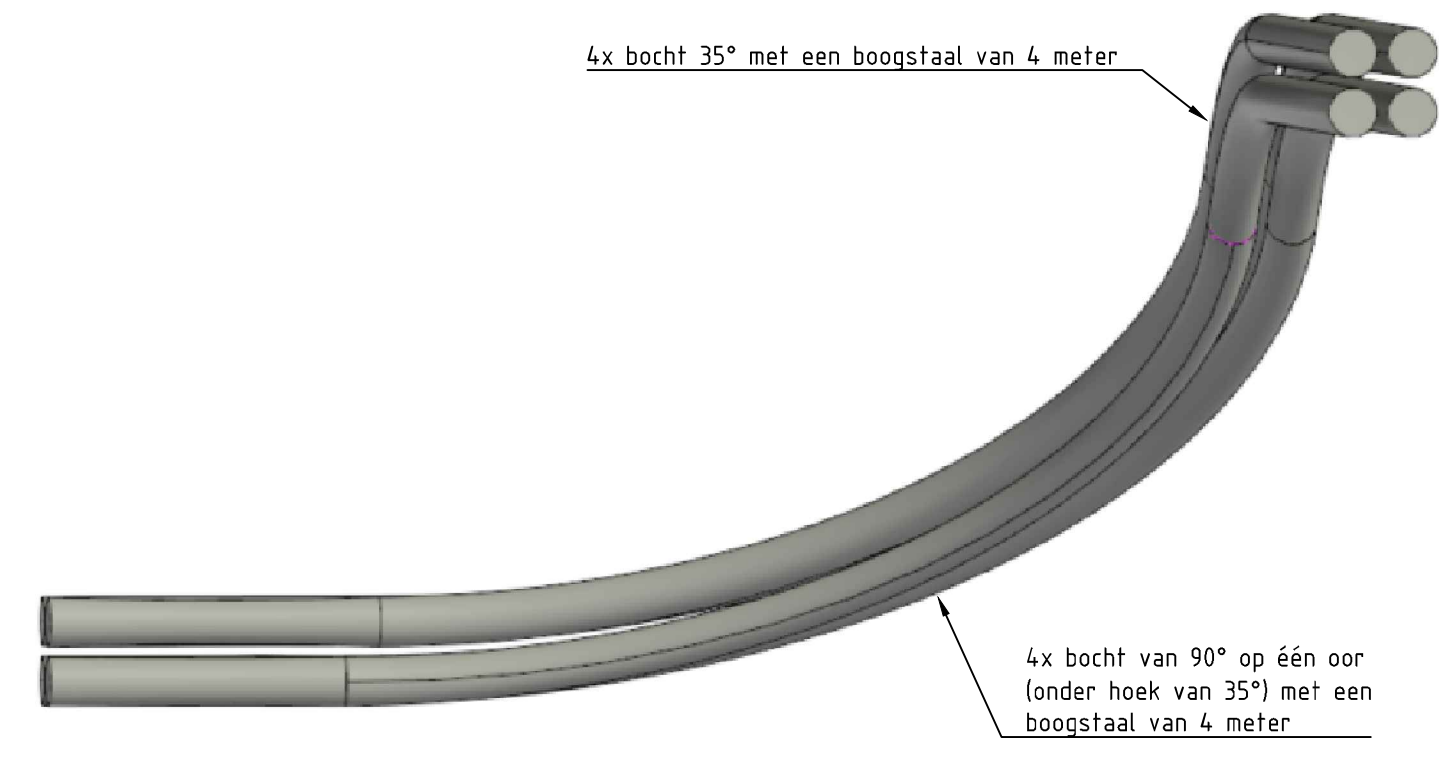
Principeprofiel O-O
SCHAAL 1 : 100



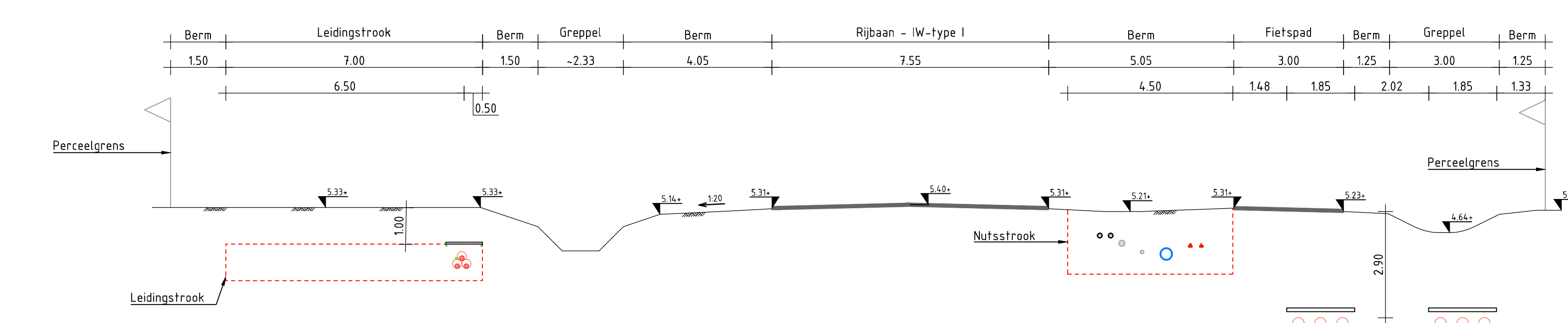
Principeprofiel P-P
SCHAAL 1 : 100



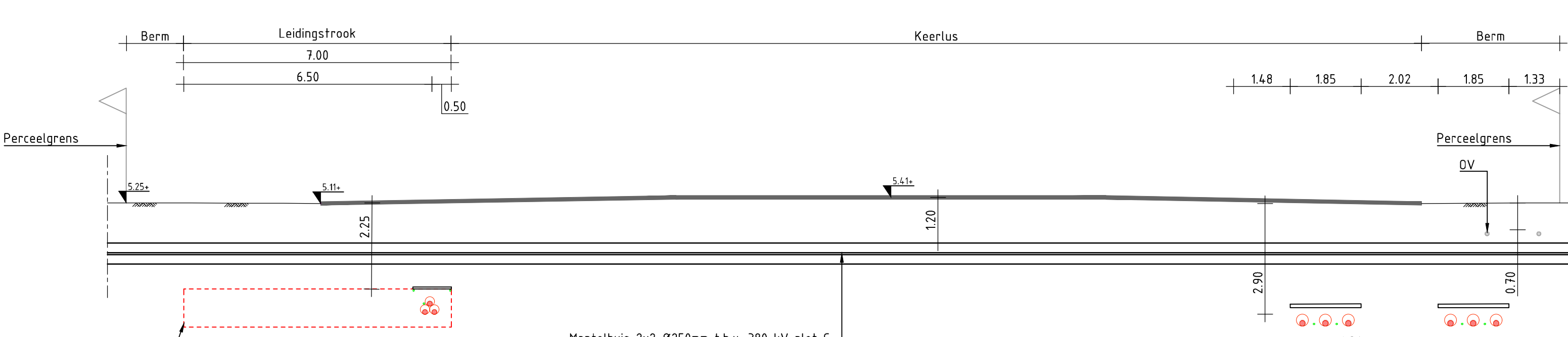
Principeprofiel Q-Q
SCHAAL 1 : 100



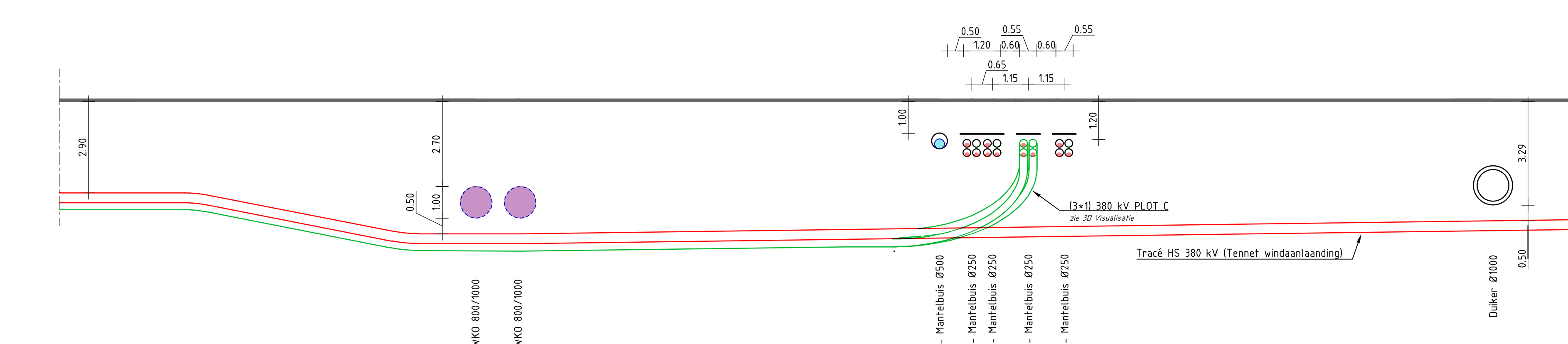
3D Visualisatie mantelbuizen kltantaansluiting plot C in principeprofiel Q-Q en S-S



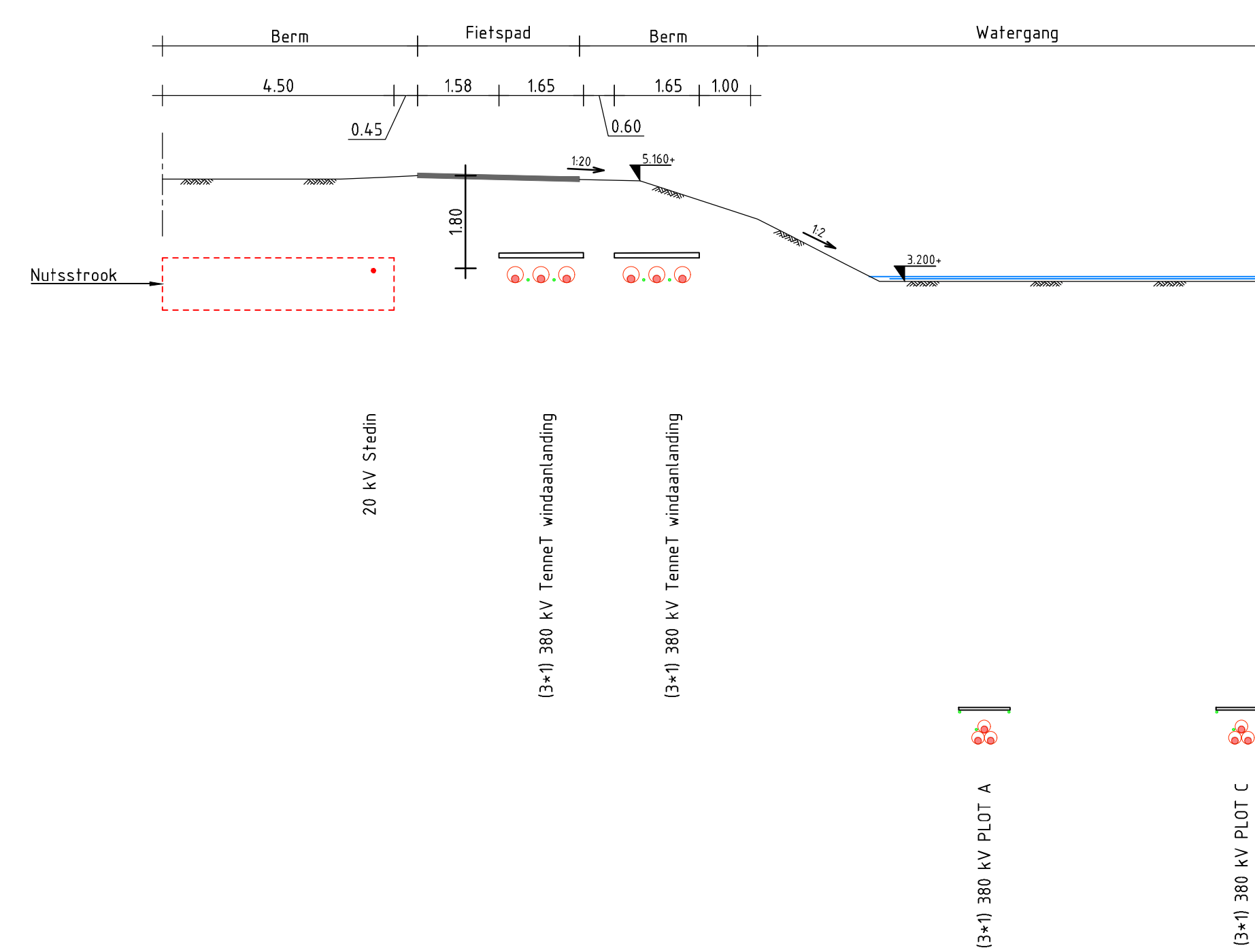
Principeprofiel R-R
SCHAAL 1 : 100



Principeprofiel U-U
SCHAAL 1 : 100



Principeprofiel S-S
SCHAAL 1 : 100



Principeprofiel T-T
SCHAAL 1 : 100

Weergegeven 380kV kabels in profiel met voorzien van mantelbus HDPE Ø160mm en 40mm PE mantelbus t.b.v. glasvezel-sigtaalverbinding

ALGEMEEN

DE LIGGING VAN KABELS EN LEIDINGEN OP DEZE TEKENING ZIJN INDIKATIEF. WEERGEGEVEN VOOR DE EXACTE LIGGING VAN DE KABELS EN LEIDINGEN DIENT CONTACT TE WORDEN OPGENOMEN MET DE BETREFFENDE NETBEHEERDER. AAN DEZE TEKENING KUNNEN DAN OOK GEEN RECHTEN WORDEN ONTLEEND. WITTEVEEN-BOS IS DAN OOK NIET AANSPRAKELIJK VOOR SCHADE DIE HET GEVOLG IS VAN HET GEBRUIK VAN DEZE TEKENING.

MATEN IN METERS TENZIJ ANDERS VERMELD

HOOGTEMATEN IN METERS TENZIJ ANDERS VERMELD

MATERIALEN IN MILLIMETERS TENZIJ ANDERS VERMELD

Port of Rotterdam

Havenbedrijf Rotterdam NV
Postbus 1422
3002 AP Rotterdam
010 - 252 10 10
www.portofrotterdam.com

Witteveen-Bos

Wijz. Getekend Datum Omschrijving

F R. de Bruijn 31-05-2023 Wijzigen watergangen

G H.M. de Bruijn 09-06-2023 Wijziging Tracé HS 380kV

H R. de Bruijn 15-06-2023 Wijziging kavelgrens DCAC

Opdrachtgever

Havenbedrijf Rotterdam

Project

Waterstofconversiepark

Kabel- en leidingstroken

Onderdeel

Principeprofielen

Kabels & Leidingen deel 2

Status Definitief

Datum 15-06-2023

Getekend Gecontrolleerd Goedgekeurd

P.I. Witteveen M.A.W. Vermeer M.A.W. Vermeer

Formaat Schaal 1:100

Projectcode 126304

Tekeningnummer 00.9011

Bladnummer 3/3

Appendix

2. Gevoeligheidsanalyse

Gevoeligheidsanalyse preventieve maatregelen

Voor de leiding van leverancier C (groene leiding) is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd naar de onderstaande drie mogelijke preventieve maatregelen:

1. toepassing van periodieke In-Line Inspectie (ILI),
2. uitsluiten ontoelaatbare zettingen en het
3. toepassing verhoogd Safety Integration Level (SIL).

Drie verschillende varianten staan in onderstaande Tabel B2-1 beschreven. De bijbehorende PR-contouren (1E-06) zijn in de onderstaande Figuur B2-1 weergegeven. Variant 3 heeft geen 1E-06 PR-contour en is overeenkomstig met de voorgenumen situatie.

Op basis van de ingevoerde populatie kunnen maximaal vier personen gelijktijdig (GR) te komen overlijden. Dit aantal is lager dan het minimum (van tien personen) volgens de definitie van groepsrisico en is er derhalve geen sprake van een groepsrisico.

Tabel B2-1: Correctiefactoren, gereduceerde faalfrequenties en berekende PR-contouren voor de onderzochte varianten

Kenmerk	Preventieve maatregel	Variant 1	Variant 2	Variant 3
Correctiefactoren	Mechanisch	Toepassing van periodieke ILI	-	10
	Uitwendige corrosie	Toepassing van periodieke ILI	-	10
	Natuurlijke oorzaken	Ontoelaatbare zettingen zijn uitgesloten	10	-
	Operationeel	SIL = SIL _{berekend} +1	10	-
Gereduceerde faalfrequenties	Breukfrequentie [km ⁻¹ jaar ⁻¹]	2,09E-05	1,58E-05	9,91E-06
	Lekfrequentie [km ⁻¹ jaar ⁻¹]	8,64E-05	7,91E-05	2,00E-05
PR-contouren	1E-06 PR-contour [m]	< 12	< 8	niet aanwezig



Figuur B2-1 PR-contouren (1E-06) van de onderzochte varianten. Variant 3 heeft geen 1E-06 PR-contour

Appendix

3. Brief van het Ministerie van IenW & Advies van het RIVM betreffende waterstofmodellering



> Retouradres Postbus 20901 2500 EX Den Haag

N.V. Nederlandse Gasunie
T.a.v. Han Fennema (CEO Gasunie)
Postbus 19
9700 MA Groningen

Bestuurskern

Dir. Omgevingsveiligheid &
Milieurisico's
Cluster B

Postbus 20901
2500 EX Den Haag
Den Haag

Contactpersoon

V.A. van de Pas
(Senior) Beleidsmedewerker
M +31(0)621300608
victor.vande.pas@minienw.nl

Datum 8 maart 2023
Betreft Externe veiligheid berekening van Waterstofnet

Ons kenmerk

IENW/BSK-2023/63082

Geachte heer,

In het kader van de energietransitie wordt een deel van het hogedruk aardgasnet ingezet voor het transport van waterstof. De inzet van groene waterstof kan een bijdrage leveren aan de doelen voor het klimaat, schone lucht en emissievrij vervoer. De eerste fase van de inzet van het hogedruk aardgasnet voor het transport van waterstof richt zich op de bevoorrading van industrieclusters met een grote energiebehoefte en hoge klimaatdoelen, de zogenaamde grote uitstoters. De ruimtelijke procedures om delen van het nieuwe waterstofnet in te plannen worden inmiddels opgestart. De ministeries van EZK en BZK treffen voorbereidingen voor het toepassen van een rijkscoördinatieregeling om de aansluiting van het industriecluster in het Noordzeekanaalgebied op het waterstofnet in te passen in de bestaande ruimtelijke plannen. Meerdere industrieclusters hebben plannen voor aansluiting op het nieuwe waterstofnet. Zie link www.hynetwork.nl

Het nieuwe waterstofnet zal deels gebruik maken van bestaande hogedruk aardgasleidingen die ingezet kunnen worden voor het transport van waterstof. Daarnaast zijn nieuwe aansluitleidingen nodig naar grote afnemers van waterstof, kunnen delen van het bestaande aardgasnet toe zijn aan vervanging en kan het nodig zijn om nieuwe waterstofleidingen te realiseren zoals tussen bijv. het Rotterdamse havengebied en industrieclusters in Duitsland, de zogenaamde Deltacorridor.

De ministeries van IenW en EZK werken gezamenlijk met de Gasunie en het RIVM aan het in beeld laten brengen van de risico's van het nieuwe waterstofnet. De Velin en de Gasunie hebben aan IenW en EZK verzocht om duidelijkheid te geven over het berekenen van de risico's van het transport van waterstof door aardgasleidingen en eventuele nieuwe buisleidingen voor het transport van waterstof in het kader van de energietransitie. De reden voor dit verzoek ligt in verschillen in de stoffeïenschappen van aardgas en waterstof, verschillen in de capaciteit van buisleidingen, verschillen in risicobeperkende maatregelen en daarmee samenhangend een verschil in de wijze van risicoberekening van buisleidingen voor het transport van aardgas en waterstof. De risico's van buisleidingen voor aardgas worden berekend met rekenmodel Carola en voor waterstof wordt gerekend met het rekenmodel Safeti-NL. Beide rekenmodellen maken deel uit van de rekenmethodiek buisleidingen conform artikel 1 van de

Regeling externe veiligheid buisleidingen. IenW heeft het rekenmodel Safeti-NL aangewezen als verplicht rekenmodel voor de berekening van de risico's van waterstofleidingen.

Bestuurskern
Dir. Omgevingsveiligheid &
Milieurisico's
Cluster B

Datum
8 maart 2023

Ons kenmerk
IENW/BSK-2023/63082

IenW heeft in 2019 aan het RIVM opdracht gegeven om de verschillen tussen de risicoberekeningen voor buisleidingen met aardgas en waterstof te analyseren en te adviseren over een geïntegreerde berekeningswijze met gebruik van het rekenmodel Safeti-NL. Het advies¹ Rekenmethodiek transport waterstof in (aardgas)transportleidingen van RIVM is uitgebracht op 25 november 2021. In dit advies zijn voorwaarden voorgesteld aan het veilig gebruik van aardgasleidingen voor het transport van waterstof. De resultaten van dit onderzoek zijn toepasbaar op het waterstofnet op grond van artikel 6 van de regeling externe veiligheid buisleidingen. Hierin is geregeld dat het bevoegd gezag mag afwijken van de voorgeschreven rekenmethodiek voor buisleidingen met specifieke kenmerken of omstandigheden waarin de rekenmethodiek niet voorziet en rekening houdend met de beste wetenschappelijke inzichten inzake risicoberekeningen.

Uit eerder onderzoek is gebleken dat, onder voorwaarden, waterstof veilig kan worden getransporteerd door aardgastransportleidingen^{2,3}. Het RIVM-advies van 21 november 2021 is gepubliceerd op de site van het RIVM.

Op basis van de uitgevoerde onderzoeken zijn de ministeries van IenW en EZK akkoord met het gebruik van de berekeningswijze op basis van het advies van het RIVM van 21 november 2021 voor het uitvoeren van risicoberekeningen voor het waterstofnet. In het advies is rekening gehouden met de berekeningswijze van de faalkansen voor het aardgasnet volgens de rekenmodellen Carola en Pipesafe. De berekening voor het waterstofnet kan worden uitgevoerd in het rekenmodel Safeti-NL. De voorwaarden voor het gebruik van aardgasleidingen voor waterstof als bedoeld in het advies van RIVM van 21 november 2021 maken onderdeel uit van het toetsingskader van de ILT voor het waterstofnet. De exploitant kan risicobeperkende maatregelen inzetten met een erkende reductiefactor in de risicoberekeningen voor het waterstofnet. Over het gebruik van een aanvullende reductiefactor die is toegekend aan de Gasunie wordt nog overleg gevoerd tussen alle betrokken partijen. Nieuwe buisleidingen voor het transport van waterstof kunnen overigens ook worden berekend met module D van de Rekenmethodiek Bevb.

RIVM is bezig met de ontwikkeling van een aangepaste rekenmethodiek buisleidingen voor transport van waterstof die te zijner tijd kan worden opgenomen in de regelgeving onder de Omgevingswet.

Met vriendelijke groet,

Directeur Omgevingsveiligheid & Milieurisico's,



Mr. Judith Elsinghorst

¹ www.rivm.nl/documenten/20211125-advies-rekenmethodiek-transport-waterstof-in-aardgastransportleidingen

² Huinen W. Onderzoek Technische Aspecten van Waterstof in bestaande Buisleidingen t.b.v. de Energietransitie. Bilfinger Tebodin Netherlands B.V.

Documentnummer: 53052.01-1917001. 19 november 2019. Revisie: B

³ Heitink J., G.A.M. Golbach. Risicoanalyse / Risicomodellerings buisleiding-transport van waterstof. AVIV. Rapport 19385122 november 2019.



Rekenmethodiek transport waterstof in (aardgas)transportleidingen

Datum: 25 november 2021

Ons Kenmerk: 2021-0074/VLH/HdW/ib

RIVM

A. van Leeuwenhoeklaan 9
3721 MA Bilthoven
Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl

T +31 88 689 8989
info@rivm.nl

Managementsamenvatting

De wereldwijde energietransitie vraagt om het gebruik van duurzame energiedragers en brandstoffen, waaronder waterstof. Op dit moment wordt er om die reden door zowel de overheid als door bedrijven vanuit verschillende invalshoeken gekeken naar de mogelijkheden om waterstof op grotere schaal te produceren en te transporteren. Een van de opties is het gebruik van het bestaande netwerk van aardgastransportleidingen.

Iedere activiteit met gevaarlijke stoffen brengt risico's met zich mee. Om de risico's van deze activiteiten voor de omgeving in beeld te brengen zijn er rekenmethoden voorgeschreven. Het RIVM ontwikkelt en beheert deze rekenmethoden, in samenwerking met verschillende partijen. Iedere rekenmethode bestaat uit een softwarepakket en een handleiding die beschrijft hoe de risico's berekend moeten worden.

Bij een risicoberekening is het uiteindelijke risico een vermenigvuldiging van de kans (faalfrequentie) maal het effect. Zowel het effect als het risico worden door het softwarepakket berekend.

Uit eerder onderzoek is gebleken dat, onder voorwaarden, waterstof veilig kan worden getransporteerd door aardgastransportleidingen.^{1, 2} In opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat heeft het RIVM een advies opgesteld over de te gebruiken rekenmethode voor het transport van waterstof in aardgastransportleidingen. Hiertoe zijn twee onderzoeksvragen uitgewerkt:

1. Met welke faalfrequentie moet gerekend worden voor de transportleidingen met waterstof?
2. Volgens welke rekenmethode (combinatie van handleiding en softwarepakket) kan het beste gerekend worden?

Bij het opstellen van de antwoorden op beide vragen hebben wij advies gevraagd aan een begeleidingscommissie.

Het RIVM concludeert dat voor de faalfrequentie (onderzoeksvraag 1, bijlage 1) alleen indien er voldaan wordt aan veertien randvoorwaarden, de faalfrequenties van aardgastransportleidingen gebruikt kunnen worden voor waterstoftransportleidingen. Wanneer niet kan worden aangetoond

¹ Huinen W. Onderzoek Technische Aspecten van Waterstof in bestaande Buisleidingen t.b.v. de Energietransitie. Bilfinger Tebodin Netherlands B.V.

Documentnummer: 53052.01-1917001. 19 november 2019. Revisie: B

² Heitink J., G.A.M. Golbach. Risicoanalyse / Risicomodellering buisleiding-transport van waterstof. AVIV. Rapport 19385122 november 2019.

dat er aan deze randvoorwaarden wordt voldaan, is er de mogelijkheid tot gebruik van een conservatievere faalfrequentie.

Voor het advies over het te gebruiken softwarepakket (onderzoeksvraag 2, bijlage 2) zijn twee opties onderzocht:

- het gebruik van CAROLA, waarbij de effecten afgeleid worden vanuit de waterstofmodule van PIPESAFE;
- het gebruik van Safeti-NL

Voor deze opties zijn de criteria robuustheid, validiteit, transparantie en verifieerbaarheid de doorslaggevende (wetenschappelijke) criteria. Kijkend naar deze vier criteria concluderen wij dat er wetenschappelijk gezien geen duidelijke verschillen zijn tussen beide opties.

Naast deze vier criteria, is ook gekeken naar toekomstbestendigheid, ontwikkelkosten, ontwikkeltijd en gebruikersgemak. Wat betreft gebruikersgemak scoort CAROLA beter, maar wat betreft de andere criteria heeft Safeti-NL de voorkeur.

Aanvullend is voor de consistentie met de huidige rekenwijze Safeti-NL ook aan te raden. Concluderend bevelen we u aan voorlopig Safeti-NL in combinatie met de faalfrequenties uit bijlage 1 te gebruiken voor het berekenen van de risico's en effecten voor waterstof in aardgastransportleidingen.

De ontwikkelingen in de kennis van de effecten van waterstof gaan momenteel snel. Wij adviseren daarom om de wetenschappelijke validiteit van de softwarepakketten nogmaals te onderzoeken wanneer er nieuwe informatie beschikbaar komt.

Tijdens het onderzoekstraject is ook een alternatieve optie ter sprake gekomen. Deze optie betreft het opnemen van gegevens vanuit Safeti-NL in CAROLA. In bijlage 2 wordt hier verder op ingegaan. Wij concluderen dat deze optie vervalst, omdat er verlies is op de punten van transparantie, verifieerbaarheid en toekomstbestendigheid.

Aanvullend op de twee onderzoeksvragen heeft het ministerie ook de vraag gesteld met welke ontstekingskansen er voor waterstof gerekend moet worden. Op dit moment vinden berekeningen aan waterstof in buisleidingen plaats met een ontstekingskans van 1. Dit is een veilige aanname. Er start binnenkort een Europees onderzoek³ naar de ontstekingskansen van waterstof. Wij adviseren u om bij het gereedkomen van dit onderzoek de ontstekingskansen van waterstof bij ondergrondse buisleidingen nogmaals op de agenda te zetten. Tot die tijd kan gerekend worden met de ontstekingskansen van 1.

³ Use of precautions in the energy transition and extending the knowledge base for risk regulation of new hydrogen applications, OESO.



RIVM

A. van Leeuwenhoeklaan 9
3721 MA Bilthoven
Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl

T +31 88 689 8989
info@rivm.nl

Auteur
Centrum Veiligheid
omgevingsveiligheid@rivm.nl

Bijlage 1 – Faalfrequentie waterstofleidingen

In deze bijlage wordt onderzoeksvraag 1 behandeld: Met welke faalfrequentie moet gerekend worden voor waterstoftransportleidingen? Deze vraag is onderdeel van een advies van het RIVM aan het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat over de te gebruiken rekenmethode voor het transport van waterstof.

Bij een risicoberekening is het uiteindelijke risico een vermenigvuldiging van de kans (faalfrequentie) maal het effect. Zowel het effect als het risico worden door het softwarepakket berekend.

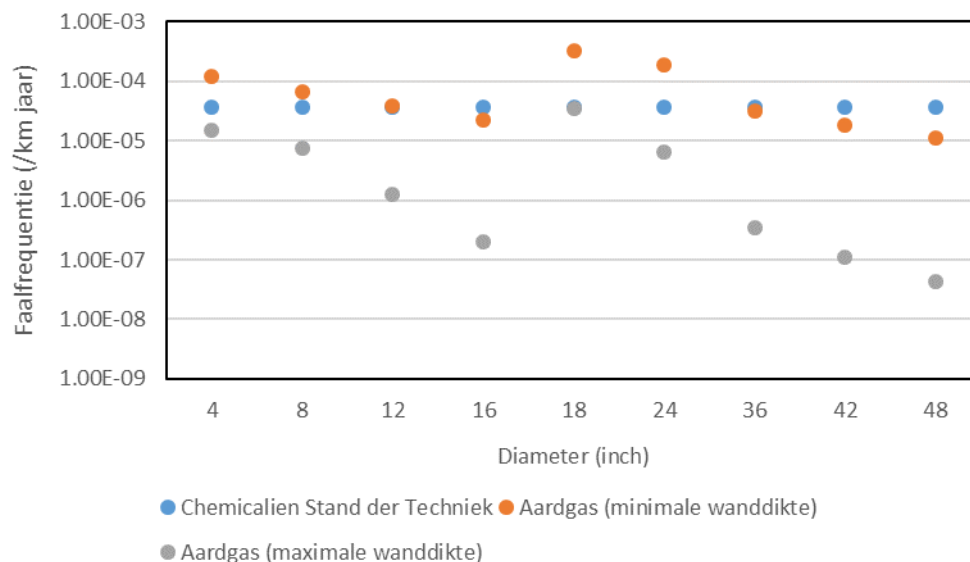
De voorliggende bijlage houdt zich bezig met de faalfrequentie en bijlage 2 focust op het softwarepakket dat gebruikt moet worden voor de bepaling van het effect.

Probleemstelling

Voor waterstofleidingen worden de externe veiligheidsrisico's berekend met de rekenmethode voor chemicaliënleidingen (Module D van de Handleiding Risicoberekeningen Bevb). Voor hogedruk aardgasleidingen wordt Module B van de Handleiding Risicoberekeningen Bevb gebruikt [1]. De faalfrequenties verschillen tussen deze twee modules. Het is daarom de vraag of voor het transport van waterstof door aardgasbuisleidingen de faalfrequenties van waterstof- of hogedruk aardgasleidingen gebruikt moeten worden.

Toelichting:

- De faalfrequenties voor leidingbreuk van chemicaliënleidingen en hogedruk aardgasleidingen zijn weergegeven in Figuur 1.
- De waarde die geldt voor chemicaliënleidingen die voldoen aan de stand der techniek voorwaarden is weergegeven in blauw. Deze voorwaarden zijn in Module D van de handleiding vermeld. Voor deze leidingen is de voorgeschreven faalfrequentie $3,7 \times 10^{-5}$ per kilometerjaar. Dit is een vaste waarde die niet afhangt van de diameter en wanddikte van de buisleiding. Ook is deze faalfrequentie niet stof-specifiek en daarmee dus niet specifiek voor waterstofleidingen. Voor chemicaliënleidingen die niet aan de voorwaarden van Module D voldoen, gelden hogere faalfrequenties.
- Voor hogedruk aardgastransportleidingen hangt de faalfrequentie voor leidingbreuk af van de druk, wanddikte, diameter en diepteligging van de leiding. Uit Figuur 1 blijkt dat de faalfrequenties voor chemicaliënleidingen die voldoen aan de stand der techniek in het algemeen hoger zijn dan die voor hogedruk aardgasleidingen die op een zelfde diepteligging liggen (0,84 m, dit is de gemiddelde diepteligging van chemicaliënleidingen). Verder blijkt dat de wanddikte van grote invloed is op de faalfrequentie van hogedruk aardgasleidingen. Bij buisleidingen met een minimale wanddikte is het verschil in faalfrequentie met chemicaliënleidingen maximaal een factor 10. bij



Figuur 1 Faalfrequentie (per km.jaar) voor chemicaliënleidingen en aardgastransportleidingen van Gasunie als functie van de diameter (diepteligger is 0,84 m, druk is 40 bar (leidingen met een diameter tot en met 16 inch) of 66 bar (leidingen met een diameter vanaf 18 inch) [2]).⁴ NB De y-as van deze figuur is logaritmisch.

Onderzoek faalfrequenties

Op basis van het Protocol aanpassing rekenmethodieken Externe Veiligheid [3] is onderzocht wat een passende faalfrequentie is voor waterstoftransportleidingen. De voor dit onderzoek gevolgde stappen zijn:

1. Specifieke statistiek toepassen op waterstoftransportleidingen;
2. Toepassen van een analogon op basis van faaloorzaken.

Specifieke statistiek waterstof transportleidingen

Ongevallenstatistiek voor waterstofleidingen is vrijwel alleen beschikbaar voor de kleine leidingdiameters. Vanwege het relatief kleine aantal ervaringsjaren (in de orde van een paar duizend kilometer jaren) is zelfs deze data te beperkt om hier een specifieke ongevalsrequentie uit af te leiden met bruikbare onzekerheidsmarges.

⁴ De stijging in de faalfrequentie tussen 16 en 18 inch wordt veroorzaakt door de hogere constructiefactor, en daarmee relatief kleinere wanddikte, die voor buisleidingen vanaf 18 inch kan worden toegepast.

Analogon op basis van faaloorzaken

Voor het analogon op basis van de faaloorzaken is het onderzoek van Bilfinger Tebodin [4] gebruikt. Hierbij zijn de verschillende faaloorzaken tegen het licht gehouden. Op basis van dit onderzoek heeft het RIVM bekeken of er andere faaloorzaken van toepassing zijn ten opzichte van het transport van aardgas, en of dat faaloorzaken dominanter of minder dominant zijn. Hieruit is afgeleid binnen welke randvoorwaarden dezelfde faalfrequentie als voor een aardgastransportleiding kan worden gebruikt. Deze randvoorwaarden zijn in de begeleidingscommissie met de daarin aanwezige operators besproken op het punt van uitvoerbaarheid. Zij gaven dat de randvoorwaarden voor hun uitvoerbaar zijn.

1. Algemene randvoorwaarden

Randvoorwaarde 1:

De temperatuur van het medium bedraagt maximaal 50 °C en de druk is maximaal 80 barg. Bij een hogere temperatuur of druk moet de invloed op de faalfrequentie worden onderzocht omdat de bijdrage van verbrossing en/of andere faaloorzaken beïnvloed kan worden.

Uitgangspunten van het Bilfinger Tebodin onderzoek zijn een temperatuur van het medium van 50 °C en een maximale druk van 80 barg. Op basis daarvan vindt het RIVM dat er onderbouwing ontbreekt om faalfrequenties van hogedruk aardgasleidingen te gebruiken voor een hogere temperatuur of druk.

Randvoorwaarde 2:

Lekkagegevoelige leidingonderdelen, zoals afsluiters en flensverbindingen, moeten voldoende lekdicht zijn voor het transport van waterstof.

Randvoorwaarde 2 is overgenomen uit de Bilfinger Tebodin rapportage. Als referentie voor voldoende lekdicht geldt de lekdichtheid van de leidingonderdelen van een aardgasleiding.

Randvoorwaarde 3:

De buisleiding voldoet voor de faaloorzaken inwendige corrosie, mechanisch falen, natuurlijke oorzaken en operationeel/overig falen aan de randvoorwaarden van een Stand der Techniek leiding zoals gesteld in Tabel 24 van Module D van de Handleiding Risicoberekeningen Bevb (versie 3.2).

In het Bilfinger Tebodin rapport wordt op deze faaloorzaken niet nader ingegaan. Deze randvoorwaarde wordt door het RIVM toch gesteld om een basisniveau voor te schrijven voor faaloorzaken zoals mechanisch falen, die niet specifiek door de te transporteren stof worden beïnvloed. Dit omdat in de faalfrequentie voor aardgastransportleidingen alleen de faaloorzaken externe beschadiging en externe corrosie worden meegenomen.

2. Randvoorwaarden buismateriaal

Randvoorwaarde 4:
Het staal bevat geen Ni-toevoegingen van meer dan 0,5%.

Zoals in het Bilfinger Tebodin rapport is beschreven, geeft de Amerikaanse ontwerpnorm voor waterstoftransportleidingen (ASME B31.12 [5]) aan dat het staal geen Ni-toevoegingen van meer dan 0,5% mag bevatten. Volgens de Bilfinger Tebodin rapportage voldoen reguliere bestaande Nederlandse aardgastransportleidingen aan deze eis.

Randvoorwaarde 5:
Geen gebruik van staalsoorten met een rekgrens groter dan L485 (X70). Bij een grotere sterkte moet de invloed op de faalfrequentie worden onderzocht omdat de bijdrage van verbrossing en/of andere faaloorzaken beïnvloed kan worden.

Deze randvoorwaarde is overgenomen uit het Bilfinger Tebodin rapport.

3. Randvoorwaarde beschadiging door derden

Randvoorwaarde 6:
Het transport van waterstof mag niet leiden tot een te grote aantasting van de trekeigenschappen en de breuktaaiheid van de buisleiding. Ten opzichte van een aardgasleiding mag de kans dat een lek zich ontwikkelt tot breuk niet groter worden.

In het Bilfinger Tebodin rapport wordt gesteld dat waterstof de breuktaaiheid van een leiding kan beïnvloeden. Het is daarom mogelijk dat een lek zich eerder kan ontwikkelen tot een breuk bij een waterstofleiding dan bij een aardgasleiding.

4. Randvoorwaarden inwendige corrosie

Randvoorwaarde 7:
Het waterdauwpunt van het waterstof in de buisleiding moet altijd kleiner dan 60% relatieve vochtigheid zijn en er mag geen vloeistoffractie van het gas afscheiden bij een temperatuur van -20 °C en atmosferische druk.

Randvoorwaarde 7 is overgenomen uit de Bilfinger Tebodin-rapportage. Dit is een algemene eis voor transport van gassen in buisleidingen ter voorkoming van inwendige corrosie.

Randvoorwaarde 8:
Microbiologisch geïnduceerde corrosie kan worden uitgesloten.

Randvoorwaarde 8 is overgenomen uit het Bilfinger Tebodin rapport. Indien geen of een zwavelvrije odorant wordt toegepast, kan volgens de Bilfinger Tebodin rapportage microbiologisch geïnduceerde corrosie waarschijnlijk worden uitgesloten.

5. Randvoorwaarden vermoeiing als gevolg van cyclische belasting

Randvoorwaarde 9:

De scheurgroeisnelheid mag niet groter zijn dan 0,01 μm per cyclus of er moet worden aangetoond dat er geen kritische wanddefecten aanwezig zijn die kunnen leiden tot het falen van de buisleiding.

Randvoorwaarde 9 is overgenomen uit het Bilfinger Tebodin rapport. Een schademechanisme dat voor het waterstoftransport bekeken moet worden is vermoeiingsscheurgroei. Een scheurgroeisnelheid van maximaal 0,01 μm /cyclus wordt acceptabel geacht [6]. Een methodiek voor het inschatten van vermoeiingsscheurgroei wordt beschreven in het Bilfinger Tebodin rapport [4].

6. Randvoorwaarden laswerkzaamheden

Randvoorwaarde 10:

Bij een in gebruik zijnde waterstofleiding mogen geen laswerkzaamheden worden uitgevoerd tenzij aangetoond wordt dat deze geen substantiële invloed hebben op het ontstaan van waterstofverbrossing.

Bij ontwerpcondities die gelden voor een groot deel van de hogedruk aardgasleidingen in Nederland ($P_{\text{max}} = 80 \text{ barg}$, $T_{\text{max}} = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$), wordt volgens het Bilfinger Tebodin rapport geen significante waterstofverbrossing verwacht. Deze randvoorwaarde is als algemene randvoorwaarde (randvoorwaarde 1) uit het Bilfinger Tebodin rapport overgenomen. Er is volgens het Bilfinger Tebodin rapport wel aanvullend onderzoek noodzakelijk voor de situatie waarin er laswerkzaamheden plaatsvinden aan een in gebruik zijnde waterstofgasleiding. In de situatie waarin lokaal temperaturen boven de $250 \text{ }^{\circ}\text{C}$ kunnen voorkomen, kan waterstofverbrossing een aandachtspunt gaan vormen.

Randvoorwaarde 11:

- Gebruik van legeringen met homogene fijnkorrelige microstructuren heeft de voorkeur.
- Vermijd gebruik van te harde of zeer sterke legeringen, max. X70.
- Vermijd gebruik van staal met niet-metalen insluitsels, die de taaiheid en weerstand tegen waterstofverbrossing verminderen.
- Gebruik componenten vrij van significante oppervlakte- en interne defecten.

In het Bilfinger Tebodin rapport worden de aanbevelingen van EIGA [7] beschreven. Deze aanbevelingen zijn overgenomen voor het opstellen van randvoorwaarde 11. Hoewel er overlap bestaat met andere randvoorwaarden zijn de aanbevelingen voor de volledigheid hier overgenomen uit het Bilfinger Tebodin rapport. Als niet aan de EIGA aanbevelingen kan worden voldaan, moet worden onderzocht of het nodig is om de buisleiding op een lagere druk te bedrijven.

7. Randvoorwaarden erosie

Randvoorwaarde 12:

Voorafgaand aan het gebruik van de buisleiding voor het transport van waterstof, moet de buisleiding dusdanig gereinigd worden dat geen extra erosie aan de binnenzijde van de buisleiding kan optreden.

In het Bilfinger Tebodin rapport wordt aangegeven dat iedere buisleiding voorafgaand aan gebruik voor het transport van waterstof, gereinigd moet worden om erosie, als gevolg van de hogere stroomsnelheden, te voorkomen. Er wordt geen eis gesteld aan de grondigheid van de reiniging. In de randvoorwaarde is opgenomen dat de reiniging dusdanig moet zijn dat geen erosie aan de binnenzijde van de buisleiding kan optreden.

8. Randvoorwaarden trillingen en pulsaties

Randvoorwaarde 13:

Aangetoond moet worden dat stroming geïnduceerde pulsaties, turbulentie en akoestisch geïnduceerde trillingen bij aftakkingen en insteekhuizen niet bijdragen aan het falen.

Ten opzichte van een aardgasleiding treden in een waterstofleiding minder stroming geïnduceerde pulsaties, turbulentie en akoestisch geïnduceerde trillingen op, ook in geval van een driemaal hogere stroomsnelheid dan voor aardgas wordt gebruikt [4]. Enkel bij aftakkingen en insteekhuizen leidt de driemaal hogere stroomsnelheid van waterstofgas mogelijk wel tot hogere vortexfrequenties. Dit kan mogelijk leiden tot schade. Of dit werkelijk het geval is, zal moeten volgen uit gedetailleerde berekeningen. De verwachting is echter dat de overgang van aardgas naar waterstof niet of nauwelijks invloed heeft op het ontstaan van trillingsproblemen [8].

9. Randvoorwaarde inspectie bij ingebruikname

Randvoorwaarde 14:

De bestaande buisleiding die wordt omgezet naar waterstof wordt voorafgaand aan het gebruik geïnspecteerd op wanddefecten.

Uit het onderzoek van Bilfinger Tebodin is naar voren gekomen dat waterstofleidingen op dit moment nog niet via In-line Inspectie (ILI) geïnspecteerd kunnen worden. Voor aardgastransportleidingen wordt in de regel de Magnetic Flux Leakage-techniek (MFL) als ILI-methode toegepast. Er wordt wel gewerkt aan de ontwikkeling van ILI-technieken voor waterstoftransportleidingen. Daarom moet een bestaande aardgasbuisleiding die voor waterstof gaat worden ingezet, voorafgaand aan de ingebruikname worden geïnspecteerd op de voor deze buisleiding gebruikelijke wijze.

Conclusie over gebruik faalfrequenties

Het afleiden van specifieke faalfrequenties voor waterstofleidingen is onhaalbaar omdat hiervoor onvoldoende statistiek beschikbaar is. Hierdoor zijn de onzekerheidsmarges te groot. Uit het Bilfinger Tebodin onderzoek

en de aanvullende analyse van RIVM blijkt dat, wanneer voldaan wordt aan veertien randvoorwaarden, de faaloorzaken en faalfrequenties voor transport van waterstof in hogedruk aardgasleidingen niet wezenlijk verschillen van die van het transport van aardgas in hogedruk aardgasleidingen. Als aan die voorwaarden wordt voldaan, kan de faalfrequentie van een aardgastransportleiding als analogon voor een waterstoftransportleiding worden gebruikt. De faaloorzaken en de bijdragen ervan aan de faalfrequentie zijn dan namelijk voor beide typen gassen goed vergelijkbaar.

Indien niet kan worden aangetoond dat aan alle randvoorwaarden wordt voldaan, moet uit oogpunt van conservatisme worden uitgegaan van de hoogste faalfrequentie van de faalfrequenties van Module B en Module D van de Handleiding Risicoberekeningen Bevb [1].

Operator specifieke factor

In de huidige methodiek voor de aardgastransportleidingen is een operator-specifieke factor opgenomen die rekening houdt met het verschil tussen de overall berekende faalfrequentie voor het gehele Gasunienet van 0,7 breuk per jaar op basis van het gehanteerde breukmechanicamodel en de statistiek (0,25 breuk per jaar) [9]. Gezien de beperkte ervaring met het transport van waterstof in aardgastransportleidingen, wordt voorgesteld deze operator-afhankelijke voor alle operators op 1 te zetten.

Referenties

1. RIVM, *Handleiding Risicoberekeningen Bevb versie 3.2*, 2021.
2. CAROLA, versie 1.0.0.52. *Associated Technology Pipeline Ltd en Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu*, 2010.
3. L. Gooijer, G.M.H. Laheij, en A.G. Wolting, *Protocol aanpassing rekenmethodieken Externe veiligheid*, RIVM-Rapport 620550009/2012, RIVM, 2012.
4. W. Huinen, *Onderzoek Technische Aspecten van Waterstof in bestaande Buisleidingen t.b.v. de Energietransitie*, Documentnummer: 53052.01-1917001, revisie B, Bilfinger Tebodin Netherlands B.V., 2019.
5. ASME B31.12, *Hydrogen Piping and Pipelines, ASME Code for Pressure Piping, B31*. 2014.
6. J.C. van Wortel, *Effect of Hydrogen on Fatigue Performance Natural Gas Transmission Pipelines, Final report EET, including data Naturalhy*, TNO, 2008.
7. EIGA, *Hydrogen Pipeline Systems. IGC Doc 121/14. Revision of Doc 121/04*, 2014.
8. A. Van den Noort, W. Sloterdijk, en M. Vos, *Verkenning waterstofinfrastructuur*, OGNL.151886, DNV-GL, 2017.
9. G.M.H. Laheij, A.A.C. van Vliet, en E.S. Kooi, *Achtergronden bij de vervanging van zoneringafstanden hogedruk aardgastransportleidingen van de N.V. Nederlandse Gasunie*, RIVM-rapport 620121001/2008, RIVM, 2008.



Bijlage 2 – Rekenen volgens module B of D

RIVM

A. van Leeuwenhoeklaan 9
3721 MA Bilthoven
Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl

T +31 88 689 8989
info@rivm.nl

1. Probleemstelling en uitgangspunten

Auteur
Centrum Veiligheid
omgevingsveiligheid@rivm.nl

Deze bijlage vormt, samen met bijlage 1, een advies aan het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat over de te gebruiken rekenmethode voor het transport van waterstof in aardgasbuisleidingen. Deze rekenmethode is nog niet beschreven in de Handleiding Risicoberekeningen Bevb. Wel staat in Module B van deze handleiding beschreven hoe het risico van buisleidingen met aardgas moet worden berekend en beschrijft Module D de rekenmethode voor chemicaliënleidingen. Onder Module D vallen ook buisleidingen waar waterstof door wordt getransporteerd. Iedere module heeft een eigen bijbehorend softwarepakket. Voor Module B is dat CAROLA en voor Module D Safeti-NL.

In deze bijlage wordt onderzoeksvraag 2 beantwoord:

Volgens welke rekenmethode (Handleiding Risicoberekeningen Bevb Module B of D) kan/moet er gerekend worden en daarmee ook met welk softwarepakket? Het grootste verschil in deze twee methoden bestaat uit het gebruikte softwarepakket. Bij een risicoberekening is het uiteindelijke risico een vermenigvuldiging van de kans (faalfrequentie) maal het effect. Zowel het effect als het risico worden door het softwarepakket berekend. Er zijn twee opties voor het te gebruiken softwarepakket onderzocht:

- Het gebruik van CAROLA, waarbij de effecten afgeleid worden vanuit de waterstofmodule van PIPESAFE.
- Het gebruik van Safeti-NL.

In bijlage 1 is de vraag behandeld met welke faalfrequentie gerekend moet worden voor het transport van waterstof door (aardgas)leidingen. Hierin is de aanbeveling gedaan om, onder voorwaarden, de faalfrequenties van aardgastransportleidingen te hanteren.

In deze bijlage is onderzocht of kan worden aangesloten bij een van de twee rekenmethoden voor de effectberekeningen, zoals deze al in de Handleiding Risicoberekeningen Bevb⁵ zijn opgenomen.

Er zijn twee opties om de rekenmethode voor transport van waterstof op te nemen in de rekenmethode voor buisleidingen:

- Optie 1:
Gebruikmaken van de rekenmethode volgens module B van de Handleiding Risicoberekeningen Bevb. Bij deze optie wordt op dit

⁵ Besluit externe veiligheid buisleidingen

moment gebruik gemaakt van het bijbehorende softwarepakket CAROLA⁶. Er wordt op dit moment door de ontwikkelaars van PIPESAFE gewerkt aan het geschikt maken van PIPESAFE voor waterstof. Bij de beoordeling van optie 1 is ervan uitgegaan dat de effectberekeningen in CAROLA worden gebaseerd op de nu nog in ontwikkeling zijnde waterstofmodule in PIPESAFE. De gevaren die kunnen optreden bij een incident met een buisleiding zijn diameter- en drukafhankelijk. Voor de druk van de buisleiding wordt in Module B van de Handleiding Risicoberekeningen Bevb uitgegaan van de ontwerpdruk. De ontwerpdruk kan hoger zijn dan de werkdruk. Tevens wordt aangenomen dat de druk over de gehele buisleiding gelijk is (geen drukafname).

De faalfrequentie van een waterstoftransportleiding zal op vrijwel dezelfde wijze afgeleid worden als nu voor aardgastransportleidingen wordt gedaan, zie hiervoor bijlage 1. Hiertoe wordt door de leidingexploitant een leidingbestand opgesteld met de diameter, druk, wanddikte, rekgrens en Charpy-waarde van de buisleiding.

De optie om berekeningen uit te voeren met de huidige versie van CAROLA op basis van uitgestroomd vermogen, zoals beschreven in het rapport van AVIV [1], wordt niet behandeld, omdat deze niet geschikt is. Deze optie is tijdens het onderzoek besproken met de begeleidingscommissie. Wanneer deze optie gebruikt zou worden, moet de diameter of druk van de aardgastransportleiding in CAROLA worden aangepast, zodat het uitgestroomd vermogen gelijk is aan dat van waterstof. Wanneer de druk of diameter van de leiding wordt aangepast heeft dit tot gevolg dat ook de uitstroomsnelheid verandert en dat deze hierdoor minder realistisch is.

- Optie 2:
Gebruikmaken van de rekenmethode volgens Module D van de Handleiding Risicoberekeningen Bevb. Bij deze optie wordt op dit moment gebruik gemaakt van het bijbehorende softwarepakket Safeti-NL. In Module D wordt uitgegaan van de werkdruk.

Deze optie komt, met uitzondering van de vaststelling van de faalfrequenties, overeen met de huidige rekenmethode voor waterstoftransportleidingen.

De faalfrequentie van een waterstoftransportleiding wordt op dezelfde parameters gebaseerd als bij optie 1, zoals beschreven in bijlage 1. In Safeti-NL moet door de gebruiker zelf de faalfrequentie worden ingevoerd. Daarom moet er een rekentool worden ontwikkeld die, buiten Safeti-NL om, op basis van de diameter, druk, wanddikte, rekgrens en Charpy-waarde van de buisleiding de faalfrequenties afleidt. De op deze manier afgeleide faalfrequenties kunnen dan via een Excel-input samen met de overige leidingparameters als (ontwerp)druk, diameter en diepteligging worden ingelezen.

⁶ CAROLA is gebaseerd op het softwarepakket PIPESAFE

1.1 Methode

Optie 1 en 2 zijn beoordeeld op de volgende criteria:

- robuustheid,
- validiteit,
- transparantie en
- verifieerbaarheid

De definities van deze criteria zijn in Hoofdstuk 2 uitgewerkt. Hierbij zijn de definities gebruikt zoals beschreven in Protocol aanpassing rekenmethodieken Externe Veiligheid [2] waarin ook de definities van de Adviesraad Gevaarlijke Stoffen (AGS) zijn opgenomen [3, 4].

Daarnaast zijn ook de volgende criteria meegenomen:

- kosten,
- gebruikersgemak,
- ontwikkeltijd en
- toekomstbestendigheid.

Deze vier laatstgenoemde criteria zijn eerder ook gebruikt voor de afwegingsnota over het uniformeren van de berekening van risicoafstanden van windturbines [5]. De definities voor deze vier criteria zijn dan ook overgenomen uit de memo voor windturbines.

Tenslotte is in de afweging ook de samenhang met de huidige rekenmethode voor waterstoftransportleidingen meegenomen. In paragraaf 2.1.9 wordt de wenselijkheid van het gebruik van twee rekenmethoden voor buisleidingen voor transport van dezelfde stof besproken. Ook de inpassing van de faalfrequenties (zoals beschreven in bijlage 1) in de risicomethodiek wordt in de afweging voor de samenhang tussen de methodieken meegenomen.

Op dit moment wordt een project gestart met als doel om te zorgen dat er in de tweede helft van 2024 een toekomstbestendige oplossing beschikbaar is voor de rekeninstrumenten. De keuze die nu gemaakt wordt voor het softwarepakket voor waterstof in buisleidingen moet dusdanig zijn dat er in de toekomst voor een ander, op dat moment het beste softwarepakket, kan worden gekozen.

2. Vergelijking opties modellering waterstof

In dit hoofdstuk worden beide opties, die zijn beschreven in hoofdstuk 1, met elkaar vergeleken op de criteria robuustheid, validiteit, transparantie, verifieerbaarheid, kosten, gebruikersgemak, ontwikkeltijd en toekomstbestendigheid.

De hoofdcriteria van het Protocol aanpassing rekenmethodieken Externe Veiligheid (hierna: 'Protocol') en de AGS kennen ieder sub-criteria. Omdat niet ieder criterium onderscheidend is voor de beoordeling, wordt aangegeven welk sub-criterium wel (**in vet**) of niet (niet vet) is vergeleken.

De faalfrequentie, ontstekingskans en wijze van de berekening van het risico, vanuit de faalfrequenties en de berekende effecten, zijn gelijk voor beide opties. Deze onderdelen zijn daarom in deze bijlage niet verder beschouwd.

De beoordeling is van een toelichting/onderbouwing voorzien. Hierin is ook de beoordeling van de begeleidingscommissie meegenomen.

De conclusie op basis van de criteria wordt besproken in hoofdstuk 3.

2.1 Robuustheid

Definities

AGS:

In hoeverre zijn berekeningsresultaten afhankelijk van variaties in gebruik en interpretatie/expert judgement? **Zijn uitkomsten reproduceerbaar?**

Protocol:

Voor dit protocol gaat robuustheid vooral over reproduceerbaarheid, het omgaan met onzekerheden. Robuust wil in dit geval zeggen dat een realistisch veilige benadering (ook wel conservatief genoemd) wordt gebruikt in geval van onzekerheid. Anderzijds kan onder 'robuust' ook worden verstaan dat **het resultaat niet (extreem) gevoelig is voor kleine wijzigingen in uitgangspunten of specifieke omstandigheden.**

Beoordeling

De invoer voor een waterstoftransportleiding wordt vastgelegd in de Handleiding Risicoberekeningen Bevb. Indien de voorschriften van de Handleiding Risicoberekeningen Bevb worden gevolgd, zal de reproduceerbaarheid voor beide opties gelijk zijn. De benodigde leidingdata moeten voor beide opties door de exploitant worden aangeleverd. Safeti-NL kent meer invoermogelijkheden en hierdoor zijn verschillende uitkomsten tussen verschillende analisten te verwachten indien de handleiding niet nauwgezet wordt gevolgd. Voor CAROLA worden de leidingparameters door de exploitant ingevoerd. De gebruiker hoeft daardoor minder gegevens in te voeren, wat CAROLA minder foutgevoelig maakt.

De gevoeligheid voor variaties in diepteligging en lengte van een leidingstuk is voor beide opties gelijk. De uitgangspunten van de kratermodellering liggen vast in de Handleiding Risicoberekeningen Bevb.

Conclusie

Op het criterium robuustheid scoren beide opties vergelijkbaar, al is de kans op verschillende uitkomsten tussen analisten bij het gebruik van Safeti-NL groter, indien de handleiding niet nauwgezet gevolgd wordt.

2.2 Validiteit

Definities

AGS:

Hierbij onderscheidt de AGS twee aparte criteria:

1. Correctheid: In hoeverre bevat de risicomodellering onjuistheden ten aanzien van de systeembeschrijving: **de aannamen en uitgangspunten van de berekeningen?** Indien sprake is van aantoonbare onjuistheden verliezen berekeningsresultaten aan bruikbaarheid voor het verkrijgen van een beeld van de veiligheid en de mogelijkheden om deze te vergroten.
2. Veiligheidsrelevantie: In hoeverre komen veiligheidsverhogende (of verlagende) maatregelen en omstandigheden tot uitdrukking in de resultaten van risicoberekeningen voor de beschouwde inrichting? In hoeverre verschaffen de resultaten van risicoberekeningen inzicht in de omvang van risico's en de mogelijkheden om risico's te beperken?

Protocol:

Voor beoordeling van voorstellen tot aanpassing in de rekenmethodiek wordt bij de validiteit gekeken naar aspecten die een rol spelen om de juistheid te toetsen, zoals de **actualiteit, de volledigheid en de mate van (wetenschappelijke) onderbouwing van een voorstel**. Verder speelt de toepasbaarheid (representatie) een rol. Ook is een beoordeling op 'relevantie' van belang. Hierbij wordt beoordeeld of een voorstel betrekking heeft op uitkomsten die uit oogpunt van externe risico's relevant zijn, respectievelijk leidt tot uitkomsten die, gezien de bestaande onzekerheden

in de risicoschatting, tot duidelijk nieuwe inzichten in het externe risico leiden.

Beoordeling

Er zijn drie factoren relevant voor de effectmodellering: uitstroom-, krater- en fakkellmodellering. Deze onderdelen worden hier apart behandeld.

Uitstroommodellering

Voor buisleidingen kan de druk in de leiding afnemen als functie van de lengte van de leiding. Dit wordt aangeduid met drukval en betekent dat de druk in de leiding niet op alle locaties hetzelfde hoeft te zijn. De grootte van de drukval is onder andere afhankelijk van de stroomsnelheid van het gas (of de vloeistof). Wanneer de druk lager is in een deel van de leiding, zal bij een breuk op deze locatie ook de uitstroomsnelheid lager zijn. Safeti-NL kan voor de uitstroomberekeningen rekening houden met deze drukval. In CAROLA bestaat deze optie momenteel niet. Het niet meenemen van de drukval in de berekening is conservatief. Het meenemen van de drukval is niet altijd wenselijk. Bijvoorbeeld wanneer de leiding deel uitmaakt of gaat maken van een ringleiding. De stroomrichting is dan niet altijd hetzelfde en de stroomsnelheid zal in veel gevallen laag zijn. In dit geval is een conservatieve berekening (zonder rekening te houden met de drukval) gewenst. Beide softwarepakketten zijn geschikt om deze conservatieve berekening uit te voeren. Ook de keuze om ofwel van de maximale werkdruk of van de ontwerpdruk van de buisleiding uit te gaan is onafhankelijk van de keuze van het softwarepakket.

Kratermodellering

In het Tebodin-rapport [6] wordt de scheurpropagatie bij het falen van een waterstoftransportleiding in vergelijking met die bij een aardgastransportleiding besproken. De decompressiesnelheid in waterstof ten opzichte van aardgas is driemaal groter. Hierdoor is de kans op scheurpropagatie, waarbij meer dan één leidingdeel (12 meter) openscheurt bij gebruik van een aardgastransportleiding voor waterstof, bij eenzelfde druk, kleiner. Dit betekent dat de scheurgroeilengte van 12 meter ook voor waterstof als conservatieve benadering gehanteerd kan worden. In de huidige versies van CAROLA en Safeti-NL wordt deze waarde al gehanteerd en er zijn dus geen aanpassingen nodig.

De kratermodellering in Safeti-NL en PIPESAFE is hetzelfde. Op dit punt is er dus geen verschil in validiteit.

Fakkellmodellering

Voor beide softwarepakketten geldt dat er ontwikkelingen plaatsvinden. Op dit moment geldt dat beide softwarepakketten (PIPESAFE en Safeti-NL) niet (volledig) gevalideerd zijn voor het berekenen van de effecten van waterstof. Naar verwachting zal het gebruik van waterstof de komende jaren toenemen. Daardoor zal er ook meer aandacht worden besteed aan de modellering van waterstof door softwareontwikkelaars.

In de versies 8.3 en 8.5 van Safeti-NL wordt gebruik gemaakt van het Chamberlain model (fakkellmodel). Dit model is gevalideerd voor

bovengrondse uitstromingen en neemt lift-off mee [1]. Deze flame lift-off is in PIPESAFE al uitgesloten voor ondergrondse leidingen [1, 7]. PIPESAFE is meer toegespitst op uitstroom uit buisleidingen.

Op dit moment wordt gewerkt aan een module voor waterstof in PIPESAFE. DNV werkt bijvoorbeeld aan het implementeren van het Miller model [8] voor de modellering van de fakkelbrand van waterstof in Safeti. In dit model kan flame lift-off worden uitgesloten, waardoor het model in de toekomst meer valide wordt. Het meenemen van lift-off leidt tot onderschatting van de effecten en risico's.

Wij verwachten daarom dat voor de korte termijn PIPESAFE beter scoort op validiteit dan Safeti-NL. Wij adviseren zodra relevante informatie beschikbaar is te onderzoeken hoe valide de modellen (PIPESAFE en Safeti) zijn voor het berekenen van de effecten van waterstof.

Conclusie

Op het criterium validiteit van het fakkelman model scoort PIPESAFE op dit moment beter. Echter, beide softwarepakketten zijn in zijn totaliteit niet (volledig) gevalideerd voor de modellering van waterstof. De verwachting is dat de softwarepakketten in de toekomst door onderzoek en ontwikkelingen steeds beter zullen scoren op validiteit.

2.3 Transparantie

Definities

AGS:

In hoeverre **bestaat er helderheid over de gebruikte methodes** van het rekenpakket? **Is het inzichtelijk welke bewerkingen met invoergegevens en parameters worden uitgevoerd?** Dit criterium betreft de methode, dan wel het model.

Protocol:

Voor toepassing in het kader van (voorstellen tot) aanpassingen in de methodiek wordt dit als volgt vertaald: transparantie in de afwegingen kan worden verkregen door het eenduidig en expliciet documenteren van de gevolgde procedure en geraadpleegde data.

Beoordeling

De faalfrequentie van een waterstoftransportleiding zal op vrijwel dezelfde wijze worden afgeleid als nu voor de aardgastransportleidingen gebeurt. Hiertoe wordt door de leidingexploitant een leidingbestand opgesteld met de diameter, druk, wanddikte, rekgrens en Charpy-waarde van de buisleiding. Hoe deze parameters worden verwerkt staat beschreven in verschillende rapporten [9-11]. De helderheid over de vaststelling van de faalfrequenties is daarmee voor beide opties gelijk.

Ook is duidelijk welke invoerparameters (m.n. druk, diameter, ruwheid van het buismateriaal) en modellen voor de uitstroom- en effectberekeningen worden gebruikt. De ontstekingskans is voor beide opties gelijk.

Safeti-NL

Voor de berekening van de uitstroom en fakkel wordt in Safeti-NL het Long-Pipeline model gebruikt. In dit model wordt GASPIPE gebruikt voor pure gasuitstromen (bv. aardgas en waterstof). De berekeningen voor de invloed van de krater worden in het model CRATER uitgevoerd. Beide modellen worden beschreven in de documentatie van Safeti-NL [12, 13].

CAROLA/PIPESAFE

De uitstroommodellering gebeurt op basis van het model BRAM (BREuk en Afblaas Model). Voor de fakkelberekeningen wordt het model CRISTAL gebruikt. Beide modellen worden beschreven in de documentatie van PIPESAFE [10].

De set van parameters en invoergegevens in CAROLA is beperkter en meer toegespitst op buisleidingen in vergelijking met Safeti-NL.

Conclusie

Op het criterium transparantie scoren beide opties vergelijkbaar en voldoende. Voor beide opties zijn de invoergegevens en gebruikte modellen beschreven.

2.4 Verifieerbaarheid

Definities

AGS:

In hoeverre zijn bronnen waaraan in het rekenpakket wordt gerefereerd toegankelijk?

Kan worden nagegaan op grond van welke argumenten in het verleden een bepaalde keuze is gemaakt voor een scenario, een model of een in te voeren variabele?

Protocol:

Waar zijn waarden voor in te voeren parameters en te hanteren faalkansen te vinden, dan wel waar is te vinden hoe deze zijn afgeleid van bepaalde bronwaarden? Dit criterium betreft de invoergegevens van de risicoberekening. Voor beoordeling van aanpassingsvoorstellen wordt dit als volgt vertaald: **De gevolgde procedure dient eenduidig en expliciet te zijn beschreven, zodat de stappen die gemaakt zijn in het wijzigingstraject navolgbaar zijn en getoetst kunnen worden. Hierbij spelen de openbaarheid en beschikbaarheid van de gebruikte gegevens een rol.**

Beoordeling

De invoerparameters voor zowel Safeti-NL als CAROLA zijn beschreven in de Handleiding Risicoberekeningen Bevb [9-11, 14]. Deze rekenmethode wordt beheerd door het RIVM. In de rekenmethode zijn de gemaakte keuzes voor de modellering en invoerparameters toegelicht.

In het softwarepakket Safeti-NL is een uitgebreide documentatie aanwezig. Hierin staan de gebruikte formules en referenties naar overige literatuur/experimenten beschreven. De modellen in Safeti-NL worden door een softwareontwikkelaar (DNV) doorontwikkeld. Het RIVM is betrokken bij deze ontwikkelingen.

Voor CAROLA ligt het beheer bij het RIVM. Het pakket is afgeleid van PIPESAFE en is door Associated Technology Pipeline (ATP) ontwikkeld. Daarnaast is de broncode in het bezit van het RIVM. Bovendien heeft het RIVM naast de openbare informatie te allen tijde toegang tot de documentatie van PIPESAFE, via Gasunie. Indien PIPESAFE het gekozen softwarepakket zou worden, moet ook voor dit model duidelijk vast worden gelegd hoe het RIVM en derden toegang hebben tot alle onderliggende documenten. Keuzes voor scenario's en uitgangspunten staan beschreven in RIVM-rapport van 2008 en de bijbehorende Gasunie-rapporten [9-11].

Het RIVM verwacht dat de modellering van waterstof in PIPESAFE verifieerbaar is. Echter, het model is op dit moment nog in ontwikkeling, waardoor nog niet alle documentatie beschikbaar is. De werkgroep die zich bezighoudt met de ontwikkeling van het waterstofmodel in PIPESAFE geeft aan dat achtergronddocumenten, argumentatie, parameters en keuzes beschikbaar zullen worden gesteld bij de afronding van de modellering. Tot die tijd kan er nog geen definitieve uitspraak worden gedaan over de verifieerbaarheid van het waterstofmodel in PIPESAFE.

Conclusie

Beide opties zijn voldoende verifieerbaar. Op dit moment is Safeti-NL beter verifieerbaar dan de waterstofmodellering in PIPESAFE. De verwachting is dat er geen verschil in verifieerbaarheid meer zal zijn bij de oplevering van het waterstofmodel in PIPESAFE (naar verwachting eind 2021).

2.5 Kosten

Definitie

Met kosten wordt hier bedoeld de kosten voor het geschikt maken van het softwarepakket voor de modellering van waterstof. Overige kosten zijn niet meegenomen.

Beoordeling

Safeti-NL is momenteel al geschikt om risico's van buisleidingen met waterstof te berekenen. In bijlage 1 over de faalfrequenties is onderzocht dat voor buisleidingen voor transport van waterstof aangesloten kan worden bij de faalfrequenties van buisleidingen met aardgas. Deze faalfrequenties zijn afhankelijk van onder andere de diameter van de buisleiding en de diepteligging en zijn opgenomen in CAROLA. Wanneer Safeti-NL gebruikt zou gaan worden, moet voor de afleiding van de faalfrequenties een tool worden ontwikkeld zodat de faalfrequenties ook buiten CAROLA beschikbaar zijn. Het heeft de voorkeur om, naast de faalfrequenties, ook de overige benodigde leidinggegevens voor Safeti-NL door deze nieuwe tool te laten genereren. Aan het ontwikkelen van een tool of tabellen zullen beperkte kosten verbonden zijn.

CAROLA is op dit moment nog niet geschikt voor het berekenen van de risico's van buisleidingen met waterstof. Wanneer CAROLA gebruikt zou gaan worden moet het programma, met gegevens vanuit PIPESAFE, worden aangepast. Dit brengt waarschijnlijk aanzienlijke kosten en doorlooptijd (zie paragraaf 2.7) met zich mee. Wanneer het softwarepakket wordt aangepast heeft het de voorkeur om het softwarepakket toekomstbestendig te maken. Zie hiervoor de paragraaf over toekomstbestendigheid. Dit zal waarschijnlijk ook kosten met zich meebrengen.

Conclusie

Aan beide opties zijn ontwikkelkosten verbonden. Deze kosten zijn nu nog niet exact vast te stellen. De verwachting is dat het aanpassen van CAROLA de meeste kosten met zich meebrengt.

2.6 Gebruikersgemak

Definities

Hoe gemakkelijk is het om de risico- en effectafstanden te bepalen, zowel wat betreft snelheid van invoer als benodigde inhoudelijke expertise?

Beoordeling

CAROLA is een eenvoudig programma, waarbij voor het uitvoeren van risicoberekeningen weinig expertise nodig is. Safeti-NL is het voorgeschreven softwarepakket voor het berekenen van risico's van onder andere buisleidingen met aardolieproducten en chemicaliënleidingen (waaronder waterstof). Het invoeren van de faalfrequenties in Safeti-NL is, in vergelijking met het invoeren in CAROLA, meer arbeidsintensief voor bestaande aardgastransportleidingen waarin waterstof vervoerd gaat worden.

Bij het gebruik van CAROLA is een analyse van de doorwerking van aanvullende mitigerende maatregelen⁷ niet eenvoudig. Voor het maken van een dergelijke analyse moet het leidingbestand worden aangepast door de exploitant. In Safeti-NL kan, door invoerparameters te variëren, snel een eerste indruk verkregen worden van de effecten hiervan op de risicoberekeningen.

In Safeti-NL kunnen tot 100 secties per ingevoerde buisleiding worden gedefinieerd. Per sectie kunnen gegevens zoals faalfrequentie, diepteligging en diameter worden aangepast. In CAROLA kan om de 10 meter een punt worden ingevoerd waarvoor deze gegevens mee worden genomen. Op dit moment is het dus mogelijk om met CAROLA een meer nauwkeurige berekening uit te voeren dan met Safeti-NL van lange buisleidingen. Inmiddels heeft de softwareontwikkelaar aangegeven dat in de nieuwe versie (8.5) het maximum aantal in te voeren secties verhoogd kan worden tot 3000. De aanpassing moet vervolgens nog wel worden getest voor verschillende praktijksituaties.

Wanneer bestaande aardgastransportleidingen omgezet worden naar transport voor waterstof, zullen deze worden gevoed door aanvoerleidingen. Indien voor twee typen waterstoftransportleidingen verschillende softwarepakketten worden gebruikt, heeft dit een nadelig effect op het gebruikersgemak.

Conclusie

Met CAROLA zijn risicoafstanden door de gebruiker makkelijker te bepalen dan met Safeti-NL. Daarom scoort CAROLA beter op het criterium gebruikersgemak.

2.7 Ontwikkeltijd

Definitie

De tijd die nodig is om de optie uit te werken en in gebruik te nemen.

Beoordeling

Het berekenen van risico's van buisleidingen met waterstof, wanneer gebruik gemaakt wordt van de aardgas faalfrequenties, vergt voor beide opties nog een aantal aanpassingen.

Voor optie 1, CAROLA met de waterstofmodule van PIPESAFE, zijn dit:

⁷ Onder de Omgevingswet zal Module V van het rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid worden gebruikt i.p.v. de Handleiding risicoberekeningen Bevb. In Module V worden mitigerende maatregelen aangeduid als voorzieningen. Dit om te voorkomen dat verwarring ontstaat met de term beschermende maatregelen.

- Opnemen van de PIPESAFE waterstofmodule. Deze komt naar verwachting beschikbaar in november 2021.⁸
 - Aanpassen van de CAROLA software:
 - o Opnemen van de waterstof effectgebieden;
 - o Aanpassen van de standaardrapportage;
 - o Aanpassen van de leidingbestanden, zodat duidelijk is of het een aardgastransportleiding of een waterstoftransportleiding betreft;
 - o Geschikt maken voor het meenemen van windturbines etc.;
 - o Het beschikbaar maken van tussenresultaten.
- Deze aanpassingen kunnen naar verwachting in 2022 worden gestart. Waarbij de doorlooptijd afhangt van onder andere de beschikbaarheid van een externe partij.

Voor optie 2, Safeti-NL, zijn dit:

- Verhogen van het aantal secties per buisleiding van 100 naar 3000. Deze aanpassing is geïmplementeerd in versie 8.5 van Safeti-NL. De aanpassing moet vervolgens nog wel worden getest voor verschillende praktijksituaties.
- Maken van een invoermodule die de faalfrequenties en overige leidinggegevens genereert.

Onze verwachting is dat het minder tijd zal kosten om een tool beschikbaar te stellen voor de faalfrequentie in Safeti-NL, dan om het waterstofmodel in PIPESAFE, inclusief Nederlandse (CAROLA) versie, af te ronden.

Conclusie

Op het criterium ontwikkeltijd scoort Safeti-NL beter. Het maken van een tool voor de faalfrequentie voor Safeti-NL is sneller gerealiseerd is dan de voltooiing van het waterstofmodel in PIPESAFE en de implementatie ervan in CAROLA.

2.8 Toekomstbestendigheid

Definitie

Er vindt op dit moment veel onderzoek plaats naar de modellering van waterstof. Onder toekomstbestendigheid verstaan wij hoe gemakkelijk de softwarepakketten aangepast kunnen worden aan nieuwe wetenschappelijke inzichten, gebruikerswensen voor de vaststelling van aandachts- en voorschriftengebieden en technologische ontwikkelingen. Ook de afhankelijkheid van derden voor de verdere ontwikkeling van de rekenpakketten wordt meegenomen.

Binnen het criterium toekomstbestendigheid kan ook de beleidsstabiliteit worden meegenomen. In deze bijlage wordt echter alleen naar technische/wetenschappelijke toekomstbestendigheid en naar de afhankelijkheid van derden gekeken.

⁸ Mondelinge mededeling M. Dröge. 17 juni 2021.

Beoordeling

Aanpassing aan nieuwe inzichten, technologie en gebruikerswensen

CAROLA is een stand-alone softwarepakket; voor elke aanpassing zal een nieuwe versie van CAROLA moeten worden ontwikkeld. Indien er nieuwe inzichten in de berekening van de effecten komen, zullen deze opnieuw met PIPESAFE moeten worden berekend en in CAROLA moeten worden geïmplementeerd. Hierdoor bestaat de kans dat het pakket niet altijd uitgaat van de laatste stand der techniek qua effectmodellering.

Safeti-NL is een variant van het internationaal gebruikte Safeti en is aangepast aan de Nederlandse regelgeving. DNV werkt continu aan de verbetering van Safeti en Safeti-NL en brengt regelmatig een nieuwe versie uit, die is aangepast aan nieuwe inzichten en technologische verbeteringen. Bij deze verbeteringen worden op aanvraag ook Nederlandse gebruikerswensen meegenomen.

Safeti-NL biedt ten opzichte van CAROLA veel meer (tussen)resultaten: de gebruiker kan met Safeti-NL veel meer informatie genereren die relevant is voor de aandachts- en voorschriftengebieden. Een voorbeeld is het verloop van de warmtetrilling als functie van afstand en tijd. In CAROLA zijn de uitvoeropties op dit punt veel beperkter en zal het pakket op basis van gebruikerswensen mogelijk nog aangepast moeten worden.

Het meenemen van risicoverhogende objecten, zoals windturbines, is in Safeti-NL eenvoudig door te voeren. In CAROLA is dit momenteel alleen beperkt en via tussenoplossingen (bv. aanpassing van de diepteligging) mogelijk.

Afhankelijkheid van derden

Safeti-NL is eigendom van DNV. Wijzigingen in Safeti-NL worden derhalve door DNV aangebracht, waarbij het RIVM wensen voor aanpassingen kenbaar kan maken aan DNV. Het huidige contract met Safeti-NL loopt af op 31 januari 2025.

CAROLA is eigendom van het RIVM en ook de broncode van het pakket is beschikbaar. In de praktijk voert Associated Technology Pipeline (ATP) eventuele aanpassingen aan de gebruikersschil van CAROLA uit. Aanpassingen naar aanleiding van wetenschappelijke ontwikkelingen moeten in de Carola.dll worden doorgevoerd. In de Carola.dll staan de effecten en faalfrequenties. Voor aanpassing van de Carola.dll zijn volgens Gasunie waarschijnlijk meerdere partijen (ook binnen Nederland) beschikbaar.⁹

Er wordt nu een project gestart met als doel om te zorgen dat er in de tweede helft van 2024 een toekomstbestendige oplossing beschikbaar is. Het vanaf 2025 te gebruiken softwarepakket moet ook geschikt moeten zijn voor het berekenen van de risico's van waterstoftransportleidingen. Dit kan bij de eisen van het te kiezen softwarepakket worden opgenomen. We verwachten dat, als gevolg hiervan, wetenschappelijk gezien geen

⁹ Informatie M. Dröge. E-mail aan L. Pompe. 21 mei 2021.

discontinuïteit zal optreden, omdat van de best beschikbare modellen zal worden uitgegaan. De keuze die nu gemaakt wordt voor het softwarepakket voor waterstof in buisleidingen moet dusdanig zijn dat er in de toekomst voor een ander, op dat moment het beste softwarepakket kan worden gekozen. De verwachting is dat de keuze voor PIPESAFE danwel Safeti-NL niet voor problemen zorgt bij de toekomstige keuze voor een softwarepakket.

Conclusie

Op het criterium toekomstbestendigheid scoort Safeti-NL beter. Safeti-NL heeft het voordeel dat nieuwe inzichten in de effectmodellering sneller in de berekeningen meegenomen kunnen worden. In Safeti-NL kunnen ook tussenresultaten getoond worden en risicoverhogende objecten worden meegenomen, dit kan op dit moment niet in CAROLA. Bij het gebruik van CAROLA zullen de nieuwe inzichten apart moeten worden geïmplementeerd vanuit PIPESAFE.

2.9 Samenhang van de rekenmethodieken

Op dit moment is module D, in combinatie met het softwarepakket Safeti-NL, voorgeschreven voor het uitvoeren van risicoberekeningen voor buisleidingen met waterstof.

Het meest logische is om voor alle waterstoftransportleidingen dezelfde rekenmethode, inclusief faalfrequenties en softwarepakket, te hanteren. Wanneer niet voor alle leidingen dezelfde methodiek wordt gehanteerd zal de situatie ontstaan dat de risico's van bepaalde leidingen volgens module D (optie 2) worden berekend en andere leidingen volgens module B (optie 1). De uitgangspunten voor deze leidingen zouden dan verschillen. De belangrijkste verschillen zijn:

- Module B gaat uit van de ontwerpdruk van de buisleiding terwijl module D uitgaat van de maximale werkdruk.
- Bij buisleidingen met een minimale wanddikte is het verschil in faalfrequentie maximaal een factor 10. Bij gebruik van de maximale wanddikte loopt dit verschil op tot ongeveer een factor 1000 voor leidingen met een diameter tot 48 inch. (Zie bijlage 1.)
- Het gebruik van verschillende modellen en uitgangspunten voor de uitstroom- en effectmodellering.

Conclusie

Voor de samenhang heeft het de voorkeur om één rekenmethodiek te hanteren voor alle buisleidingen met waterstof, voor zowel faalfrequenties als voor het softwarepakket. Mocht er voor worden gekozen om voor de huidige waterstoftransportleidingen geen wijzigingen in de voorgeschreven methodiek door te voeren, dan heeft de optie om gebruik te maken van Safeti-NL de voorkeur.

2.10 Overige overwegingen

Tijdens het onderzoekstraject is er ook een alternatieve optie ter sprake gekomen. Deze optie betreft het opnemen van gegevens vanuit Safeti-NL in CAROLA. Om onderstaande redenen vervalt deze alternatieve optie. Wanneer gegevens vanuit Safeti-NL in CAROLA opgenomen zouden worden, zijn de effecten die bepaald worden met de softwarepakketten gelijk. In dat geval is er geen verschil in validiteit tussen de softwarepakketten. Echter op de onderzochte opties is er dan verlies op de punten van transparantie, verifieerbaarheid en toekomstbestendigheid. Wanneer de effecten vanuit Safeti-NL in CAROLA worden opgenomen, is dit minder eenvoudig en is de kans groot dat CAROLA niet uitgaat van de laatste stand der techniek qua effectmodellering. De ontwikkelingen die plaatsvinden in Safeti-NL komen namelijk niet automatisch in CAROLA terecht.

3. Algemene conclusie

Voor het advies over het te gebruiken softwarepakket zijn de criteria robuustheid, validiteit, transparantie en verifieerbaarheid de doorslaggevende (wetenschappelijke) criteria. Kijkend naar deze vier criteria concluderen wij dat er wetenschappelijk gezien geen duidelijke verschillen zijn tussen beide opties. Wij adviseren om de validiteit van de softwarepakketten nogmaals te onderzoeken wanneer nieuwe informatie beschikbaar komt.

Naast deze vier criteria, is ook het criterium toekomstbestendigheid belangrijk uit het oogpunt van modelbeheer. Qua toekomstbestendigheid heeft de optie met Safeti-NL de voorkeur. Omdat het RIVM de toekomstbestendigheid van de rekenmethoden belangrijk vindt, adviseren wij u om Safeti-NL aan te wijzen als softwarepakket voor alle waterstoftransportleidingen.

Daarnaast zijn ook de criteria kosten, ontwikkeltijd en gebruikersgemak bekeken. Op het punt van ontwikkeltijd heeft het gebruik van Safeti-NL de voorkeur, omdat het aantal benodigde aanpassingen minder is dan de optie met het gebruik van CAROLA. Qua gebruikersgemak heeft CAROLA de voorkeur. De ontwikkelkosten zijn voor beide opties nog niet uitgewerkt, maar naar verwachting zijn de ontwikkelkosten voor CAROLA hoger.

Uit oogpunt van consistentie van de methodieken, speelt voor de uiteindelijke keuze ook mee welke keuze voor de huidige waterstoftransportleidingen wordt gemaakt. Het meest logische is om voor alle waterstoftransportleidingen dezelfde methodiek te hanteren. Mocht er voor worden gekozen om voor de huidige waterstoftransportleidingen geen wijzigingen in de voorgeschreven methodiek door te voeren, dan heeft de optie om gebruik te maken van Safeti-NL de voorkeur.

Voor beide opties moet wel nog een aantal zaken worden geïmplementeerd.

Voor optie 1, CAROLA met de waterstof module van PIPESAFE, zijn dit:

- Opnemen van de PIPESAFE waterstofmodule. Deze komt naar verwachting eind 2021 beschikbaar.
 - Aanpassen van de CAROLA software:
 - o Opnemen van de waterstof effectgebieden;
 - o Aanpassen van de standaardrapportage;
 - o Aanpassen van de leidingbestanden, zodat duidelijk is of het een aardgastransportleiding of een waterstoftransportleiding betreft;
 - o Geschikt maken voor het meenemen van windturbines etc.;
 - o Het beschikbaar maken van tussenresultaten.
- Deze aanpassingen kunnen naar verwachting in 2022 worden gestart.

Voor optie 2, Safeti-NL, zijn dit:

- Verhogen van het aantal secties per buisleiding van 100 naar 3000. Deze aanpassing is geïmplementeerd in versie 8.5 van Safeti-NL. De

aanpassing moet vervolgens nog wel worden getest voor verschillende praktijksituaties.

- Maken van een invoermodule die de faalfrequenties en overige leidinggegevens genereert.

In de Handleiding Risicoberekeningen Bevb moet voor de volgende punten een keuze worden gemaakt:

- Uitgaan van de maximale werkdruk of ontwerpdruk van de buisleiding. Indien voor optie 1 (CAROLA met de waterstofmodule van PIPESAFE) wordt gekozen, dan is het aansluiten bij de uitgangspunten voor de aardgastransportleidingen door uit te gaan van de ontwerpdruk de meest logische keuze. Indien wordt gekozen voor Safeti-NL, dan is aansluiting bij de uitgangspunten voor de chemicaliënleiding door uit te gaan van de maximale werkdruk de meest logische keuze. Om de aanpak voor beiden methodieken met elkaar lijn te brengen, is het een logische keuze om voor aardgastransportleidingen ook uit te gaan van de maximale werkdruk.
- Wel of geen drukval. Voorgesteld wordt om geen drukval over de leiding mee te nemen, omdat het ook om ringsystemen gaat. Dit is een conservatieve aanname.

4. Referenties

1. J. Heitink en G.A.M. Golbach, *Risicoanalyse/Risicomodellering buisleiding-transport van waterstof*, Rapport 19385122 AVIV, 2019.
2. L. Gooijer, G.M.H. Laheij, en A.G. Wolting, *Protocol aanpassing rekenmethodieken Externe veiligheid*, RIVM-Rapport 620550009/2012, RIVM, 2012.
3. *QRA modellering vervoer gevaarlijke stoffen*, Adviesraad Gevaarlijke Stoffen, 2006.
4. *Risicoberekeningen volgens voorschrift, een ritueel voor vergunningverlening*, Adviesraad Gevaarlijke Stoffen, 2010.
5. RIVM-brief, *Afwegingsnota over uniforme berekeningen aan de risico's van windturbines*, kenmerk 000827-VLH, 2019.
6. W. Huinen, *Onderzoek Technische Aspecten van Waterstof in bestaande Buisleidingen t.b.v. de Energietransitie*, Documentnummer: 53052.01-1917001, revisie B, Bilfinger Tebodin Netherlands B.V., 2019.
7. R.P. Cleaver en A.R. Halford, *A model for the initial stages following rupture of a natural gas transmission pipeline*. Process Safety and Environmental protection 2015. **95**: p. 202-214.
8. D. Miller, *New model for predicting thermal radiation from flares and high pressure jet fires for hydrogen and syngas*. Process Safety Progress, 2017. **38**(3).
9. G.M.H. Laheij, A.A.C. van Vliet, en E.S. Kooi, *Achtergronden bij de vervanging van zoneringafstanden hogedruk aardgastransportleidingen van de N.V. Nederlandse Gasunie*, RIVM-rapport 620121001/2008, RIVM, 2008.
10. *Risicoanalyse aardgastransportleidingen*, RT 2003.R.0355, versie 9.4., NV Nederlandse Gasunie, 2003.
11. *Risicoanalyse aardgastransportleidingen*, NV Nederlandse Gasunie, 2008.
12. DNV, *Safeti-NL versie 8.3, Theory manual GASPIPE*, 2021.
13. DNV, *Safeti-NL versie 8.3, Theory manual CRATER*, 2021.
14. RIVM, *Handleiding Risicoberekeningen Bevb versie 3.2*, 2021.



With its headquarters in Amersfoort, The Netherlands, Royal HaskoningDHV is an independent, international project management, engineering and consultancy service provider. Ranking globally in the top 10 of independently owned, nonlisted companies and top 40 overall, the Company's 6,500 staff provide services across the world from more than 100 offices in over 35 countries.

Our connections

Innovation is a collaborative process, which is why Royal HaskoningDHV works in association with clients, project partners, universities, government agencies, NGOs and many other organisations to develop and introduce new ways of living and working to enhance society together, now and in the future.

Memberships

Royal HaskoningDHV is a member of the recognised engineering and environmental bodies in those countries where it has a permanent office base.

All Royal HaskoningDHV consultants, architects and engineers are members of their individual branch organisations in their various countries.