

VERMILION
E N E R G Y



Vermilion Energy Netherlands B.V.

**Actualisatie Loon Op Zand en Loon Op Zand Zuid
Winningsplan**

Versie 1.3

24 augustus 2017

Inhoud

Inhoud	2
Samenvatting	5
Formulier aanvraag instemming winningsplan.....	7
1 Inleiding	10
1.1 Doel van het Winningsplan	10
1.2 Leeswijzer	10
2 Plaats van winning	12
2.1 Voorkomens in dit winningsplan.....	12
2.2 Overzicht ligging voorkomens, gasputten	12
2.3 Schematische weergave gas-behandeling en afvoer	16
3 Boringen	17
3.1 Inleiding: Algemene beschrijving van een put.....	17
3.2 Overzicht boringen in voorkomen	19
3.3 Schematische voorstelling putverbuizing(en)	20
3.3.1 WWS-01 – Well schema	20
3.3.2 WWS-02 – Well schema	21
3.3.3 WWS-03 – Well schema	22
3.4 Plaats en wijze waarop koolwaterstoffen in verbuizing treden	23
3.5 Putbehandelingen	23
4 Ondergrond	24
4.1 Inleiding: hoe worden de ondergrond-eigenschappen gemeten.....	24
4.2 Geologie en gesteente-eigenschappen van het voorkomen	24
4.2.1 Gesteente-afzetting	24
4.2.2 Structuur	25
4.2.3 Bron koolwaterstoffen en migratie(patronen)	25
4.2.4 Geologische doorsnede van voorkomen(s)	25
4.3 Gesteente-eigenschappen van de bovenliggende lagen.....	30
4.4 Andere gebruiksmogelijkheden van de ondergrond	31
5 Ontwikkelingsvooruitzichten	33
5.1 Inleiding	33
5.2 Historische Productie	33
5.3 Onzekerheden.....	36
5.4 Winnings-strategie & reservoir management.....	36
5.5 Winningssnelheid (hoeveelheden per voorkomen/per jaar)	36
5.5.1 Loon Op Zand	36
5.5.2 Loon Op Zand Zuid	38
5.5.3 Loon Op Zand Zuid Prospect.....	39
5.6 Duur van de winning	41
5.7 Jaarlijks eigengebruik bij winning.....	41
5.8 Jaarlijks bij winning afgeblazen/afgefakkelde koolwaterstoffen.....	41
5.9 Stoffen die jaarlijks worden mee geproduceerd.....	41

5.10	Jaarlijks bij winning in de ondergrond terug te brengen delfstoffen en andere stoffen	43
6	Bodemdaling	44
6.1	Inleiding: hoe komt bodemdaling tot stand	44
6.1.1	Gaswinning.....	44
6.1.2	De oorzaken van bodemdaling	44
6.1.3	Autonome bodemdaling	45
6.1.4	Metten en voorspellen van bodemdaling	47
6.2	Bodemdalingsmodel en Historische bodemdaling	47
6.3	Bodemdalingsvooruitzichten en onzekerheid	53
6.4	Monitoring van bodemdaling	53
6.5	Mogelijke gevolgen van de verwachte bodemdaling	53
6.6	Maatregelen om (gevolgen van) bodemdaling te voorkomen of te beperken	53
7	Bodemtrilling.....	54
7.1	Inleiding: hoe komen bevingen ten gevolge van gaswinning tot stand.....	54
7.2	Historische bevingen in de voorkomens van dit winningsplan.....	54
7.3	Seismische Risico Analyse	54
7.4	Monitoring van bodemtrillingen	55
7.5	Mogelijke gevolgen van bevingen ten gevolge van gaswinning uit de voorkomens in dit winningsplan	56
7.5.1	Schade aan openbare infrastructuur door bevingen ten gevolge van gaswinning	56
7.5.2	Schade aan bouwwerken door bevingen ten gevolge van gaswinning	56
7.5.3	Schade aan natuur en milieu door bevingen ten gevolge van gaswinning	56
7.6	Maatregelen om (de gevolgen van) bodemtrillingen te voorkomen of te beperken.....	57
8	Overige Omgevingsaspecten.....	58
8.1	Inleiding	58
8.2	Bodem / Grondwaterverontreiniging	58
8.3	Luchtverontreiniging	58
8.4	Oppervlaktewaterverontreiniging	59
8.5	Externe veiligheid	59
8.6	Natuur.....	59
8.7	Loon Op Zand & Loon Op Zand Zuid.....	59
9	Verklarende woordenlijst.....	60
10	Referenties	61
11	Bijlage: Plotplan Loon Op Zand Locatie.....	62
12	Bijlage: Schematische weergave Waalwijk Concessie gas behandeling.	65
13	Bijlage: Risico Inventarisatie Hydraulische stimulatie	66
13.1	Samenvatting	66
13.2	Inleiding	66
13.3	Stimulatiemodel.....	67
13.4	Seismisch risico.....	67
13.5	Integriteit van de afsluitende lagen	74
13.6	Geochemische interacties	75

13.7	Integriteit van de put.....	75
13.7.1	Controles/ werkzaamheden voor aanvang hydraulische stimulatie	75
13.7.2	Controles na hydraulische stimulatie	76
13.8	Blootstelling gevaarlijke stoffen.....	76
13.9	Referenties	77
14	Bijlage: Seismische Risico Analyse: Details en Achtergronden	78
14.1	Algemeen kader voor Seismische Risico Analyse	78
14.2	Seismische Risico Analyse voor de voorkomens in dit winningsplan.....	79
14.2.1	Niveau 1: Screening Potentieel Loon Op Zand.....	79
14.2.2	Niveau 1: Screening Potentieel Loon Op Zand Zuid.....	82
14.2.3	Niveau 1: Screening Potentieel Loon Op Zand Zuid Prospect	85

Samenvatting

Dit winningsplan is een actualisatie van het winningsplan Waalwijk d.d. 29 juni 2016. Het winningsplan Waalwijk omvatte meerdere gasvoorkomens in de winningsvergunning Waalwijk. Het onderhavige winningsplan Loon Op Zand en Loon Op Zand Zuid is gericht op de gasvoorkomens Loon Op Zand en Loon Op Zand Zuid.

De actualisatie is van belang omdat de productie van de bestaande putten langer zal doorgaan dan verwacht. Verder ziet Vermilion Energy Netherlands B.V. (VEN) mogelijkheden om de productie uit de gasvoorkomens Loon Op Zand en Loon Op Zand Zuid te verhogen. Dit zou kunnen door middel van wijzigingen in de bestaande put en stimulatiewerkzaamheden, het boren van een aftakking van een bestaande put in het gasvoorkomen of eventueel het boren van een nieuwe put in het gasvoorkomen. Verder ziet VEN ook een prospect ten westen van het Loon Op Zand Zuid gasveld. Het ligt in de planning om dit prospect aan te boren vanaf de bestaande mijnbouwlocatie Loon Op Zand. Deze nieuwe inzichten vereisen een actualisatie van de productie- en de bodemdalingvoorspellingen.

In dit document wordt ingegaan op de manier waarop het gas gewonnen wordt, de geologie en de eigenschappen van het ondergrondse gasvoorkomen en de voorspelde productiehoeveelheden, de mate van bodemdaling en het risico op aardbevingen.

De maximale hoeveelheid productie en de uiterlijke productie datum staan aangegeven in de tabel hieronder.

Voorkomen:	Loon Op Zand	
Productie tot uiterlijk:	2026	
Hoeveelheid productie:	492	miljoen nm ³
(waarvan na 1-1-2017:	35	miljoen nm ³
Seismisch Risico Categorie:	Categorie I	
Verwachte maximale bodemdaling:	1	cm
(waarvan na 1-1-2017 verwacht maximaal:	0.5	cm
Samengestelde bodemdaling verwacht maximaal:	1	cm
(waarvan na 1-1-2017 verwacht maximaal:	0.5	cm

Voorkomen:	Loon Op Zand Zuid	
Productie tot uiterlijk:	2026	
Hoeveelheid productie:	261	miljoen nm ³
(waarvan na 1-1-2017:	148	miljoen nm ³
Seismisch Risico Categorie:	Categorie I	
Verwachte maximale bodemdaling:	1	cm
(waarvan na 1-1-2017 verwacht maximaal:	0.8	cm
Samengestelde bodemdaling verwacht maximaal:	1	cm
(waarvan na 1-1-2017 verwacht maximaal:	0.8	cm

Voorkomen:	Loon Op Zand Zuid Prospect	
Productie tot uiterlijk:	2026	
Hoeveelheid productie:	264	miljoen nm ³
(waarvan na 1-1-2017:	264	miljoen nm ³
Seismisch Risico Categorie:	Categorie I	
Verwachte maximale bodemdaling:	1	cm
(waarvan na 1-1-2017 verwacht maximaal:	1	cm
Samengestelde bodemdaling verwacht maximaal:	1	cm
(waarvan na 1-1-2017 verwacht maximaal:	1	cm

Vermilion hoopt tussen de 187 en 447 miljoen nm³ aardgas te winnen over de periode 2017-2026 uit de voorkomens Loon Op Zand, Loon Op Zand Zuid en het prospect ten westen van Loon Op Zand Zuid. De uiteindelijke hoeveelheid zal afhangen van het succes van de operaties om het gas te produceren.

De bodemdalingsresultaten zijn de dalingen bij de uiteindelijke gasvoorkomen einddruk, dat wil zeggen, aan het eind van de levensduur van het gasvoorkomen. De modellen laten zien dat de maximale bodemdaling in het diepste punt van de bodemdalingskom boven de voorkomens Loon Op Zand, Loon Op Zand Zuid en Loon Op Zand Zuid Prospect minder dan 1 cm zal zijn. De daadwerkelijke bodemdaling wordt gemonitord via een meetnet van Vermilion, dat wordt gecontroleerd door Staatstoezicht op de Mijnen. Het seismische risico wordt in de laagste categorie ingeschaald (categorie I). Het daadwerkelijk optreden van bodemtrillingen wordt gemonitord via het KNMI-meetnet.

Voor zowel bodemdaling als bodemtrillingen wordt geen schade verwacht. Mochten omwonenden toch een effect of schade ondervinden, dan kan dat gemeld worden bij Vermilion, of bij het Landelijk Loket Mijnbouwschade.

Het winningsplan heeft de instemming van de Minister van Economische Zaken. Op de voorbereiding van dit instemmingsbesluit is de uniforme openbare voorbereidingsprocedure van toepassing. Dat betekent onder andere dat iedereen zienswijzen naar voren kan brengen op het ontwerpbesluit van de minister. Daarnaast wordt advies gevraagd aan de overheden binnen het gebied waar het winningsplan betrekking op heeft. Deze zijn weergegeven in de tabel hieronder.

Provincie	Noord-Brabant
Waterschap	De Dommel
Gemeenten	Loon Op Zand Tilburg

Op het definitieve besluit van de Minister is beroep mogelijk bij de afdeling bestuursrechtspraak van de Raad van State.

Formulier aanvraag instemming winningsplan

ex artikel 34 lid 1 Mijnbouwwet (Mw) juncto artikel 24 Mijnbouwbesluit (Mb)

Elektronisch in te dienen bij:

De Minister van Economische Zaken
Directoraat-Generaal voor Energie, Telecom en Mededinging
Directie Energie en Omgeving
mijnbouwaanvragen@minez.nl

<u>Artikel 1)</u>	<u>Onderwerp</u>	<u>Beschrijving</u>
Mw 34 lid 1	Verzoek om instemming voor een wijziging / actualisatie van het winningsplan Loon Op Zand en Loon Op Zand Zuid	☐ een winningsplan voor voorkomens in het continentaal plat vanaf de 3 zeemijlszone ☒ een winningsplan voor voorkomens in Nederlands territorium tot 3 zeemijl De wijziging / actualisatie bestaat uit een actualisatie van de seismische risico analyse, productie- en bodemdalings-voorspellingen naar aanleiding van het reservoir gedrag.
	A) Algemene gegevens	
	A1.1) Naam indiener	Vermilion Energy Netherlands B.V.
	A1.2) Adres	Zuidwalweg 2 8861 NV Harlingen The Netherlands
	A1.3) Contactpersoon	
	A1.4) E-mail	@vermilionenergy.com
	A1.5) Fax	+31 (0) 517 493 333
Mw 22	A1.6) Indiener	☐ is houder van de vergunning ☒ is uitvoerder cf artikel 22 Mw
	A2) Winningsvergunninggebied(en)	Waalwijk Concessie
Mw 34 lid 1 Mb 24 lid 1a	A2.1) Voorkomens koolwaterstoffen	Loon Op Zand en Loon Op Zand Zuid
Mb 24 lid 1a	A2.2) Soort koolwaterstof die wordt gewonnen	☐ olie ☒ hoog calorisch gas ☐ Groningen kwaliteit gas ☐ laag calorisch gas ☐ zwavelhoudend gas ☒ aardgascondensaat
Mr 1.2.1 lid 3	A3) Bestaande of nieuwe winning	☒ winningsplan voor reeds bestaande winning (inclusief voorziene uitbreiding) ☐ winningsplan voor nieuwe winning
Mw 38	A4) Samenloop vergunningen Wet milieubeheer	☒ nee, productie neemt plaats op bestaande winning ☐ ja: te weten:

	Bedrijfs- en productiegegevens	Paragraaf
Mw 35 lid 1	Beknopte beschrijving van het winningsplan	1
Mw 35 lid 1c Mb 24 lid 1c,d	Beknopte beschrijving van wijze van winning door middel van (een) mijnbouwwerk(en)	2
Mb 24 lid 1a	Geologische beschrijving van voorkomen(s)	4.2
Mb 24 lid 1a Mb 24 lid 1b	Geologische doorsnede van voorkomen(s)	4.2
Mw 35 lid 1a Mb 24 lid 1d,e	Overzicht ligging voorkomens, gasputten	2.2
Mb 24 lid 1d,e,g	Situering mijnbouwwerken situatietekening /eventueel foto	2.2
Mb 24 lid 1e,f	Overzicht boringen in voorkomen(s)	3.2
Mb 24 lid 1g	Schematische voorstelling putverbuizing(en)	3.3
Mb 24 lid 1h	Plaats en wijze waarop koolwaterstoffen in verbuizing treden	3.4
Mb 24 lid 2	Productieontwikkeling strategie	5.4
Mb 24 lid 2	Productie filosofie	5.4
Mb 24 lid 2	Reservoir management	5.4
Mw 35 lid 1a,d Mb 24 lid 1a	Omvang winning (hoeveelheden per voorkomen/per jaar)	5.5
Mw 35 lid 1b	Duur van de winning (per voorkomen)	5.5
Mb 24 lid 1i	Stoffen die jaarlijks worden mee geproduceerd	5.9
Mb 24 lid 1j	Jaarlijks eigengebruik bij winning	5.7
Mb 24 lid 1j	Jaarlijks bij winning afgeblazen/afgefakkelde koolwaterstoffen	5.8
Mb 24 lid 1k	Jaarlijks bij winning in de ondergrond terug te brengen delfstoffen en andere stoffen	5.10
Mw 36 lid 1 sub b	Planmatig gebruik of beheer van delfstoffen, aardwarmte, andere natuurlijke rijkdommen, waaronder grondwater met het oog op de winning van drinkwater, of mogelijkheden tot het opslaan van stoffen	4.4

	Gegevens inzake bodemdaling als gevolg van de winning van koolwaterstoffen.	Paragraaf
Mw 35 lid 1f	Aard van de bodemdaling alsmede de daarmee verband houdende activiteiten	6.1
Mb 24 lid 1m Mb 24 lid 1n Mb 24 lid 1o	Gekalibreerde bodemdaling en bodemdalingprognoses (uiteindelijk verwachte mate van bodemdaling)	6.2, 6.3
Mb 24 lid 1q	Omvang en aard van de schade	6.5
Mb 24 lid 1r	Maatregelen om bodemdaling te voorkomen / te beperken	6.6
Mb 24 lid 1s Mw 35 lid 1f	Maatregelen die gevolgen van schade door bodemdaling beperken of voorkomen	6.6

	Gegevens inzake bodemtrilling als gevolg van de winning van koolwaterstoffen.	Paragraaf
Mw 35 lid 1f	Aard van de bodemtrilling alsmede de daarmee verband houdende activiteiten	7.1
Mb 24 lid 1p	Risicoanalyse bodemtrilling	7.3
Mb 24 lid 1q	Omvang en aard van de schade	7.5
Mb 24 lid 1r	Maatregelen om bodemtrillingen te voorkomen / te beperken	7.6
Mb 24 lid 1s Mw 35 lid 1f	Maatregelen die gevolgen van schade door bodemtrillingen beperken of voorkomen	7.6

	Overige veiligheidsaspecten	Paragraaf
Mw 35 lid 1g	De risico's voor omwonenden, gebouwen of infrastructurele werken of de functionaliteit daarvan met een risicobeoordeling, voor zover het winnen van delfstoffen niet geschiedt in het continentaal plat	8
Ondertekening 	Datum: 24 augustus 2017 Plaats: Amsterdam	
Functie: Commercial Manager		

1 Inleiding

Dit Winningsplan is een actualisatie van het Waalwijk Concessie Winningsplan d.d. 29 juni 2016.

Op 29 juni 2016 heeft Vermilion Energy Netherlands B.V. (Vermilion of VEN) een geactualiseerd winningsplan ingediend voor de gasvoorkomens binnen het gebied van de winningsvergunning Waalwijk. Met de inwerkingtreding van de nieuwe Mijnbouwwet op 1 januari 2017 is meer duidelijkheid gekomen over de additionele informatie die gevraagd wordt ter beoordeling van winningsplannen. Verder werd duidelijk na gesprekken met het Ministerie van Economische Zaken dat de beoordeling van het winningsplan Waalwijk d.d. 29 juni 2016 nog niet was gestart. Om die reden heeft VEN in overleg met het ministerie besloten het winningsplan Waalwijk opnieuw in te dienen en te splitsen in drie winningsplannen. Deze zijn:

1. Waalwijk-Noord
2. Sprang
3. Loon Op Zand

Dit document is de actualisatie van het winningsplan voor de gasvoorkomens Loon Op Zand, Loon Op Zand Zuid en het prospect ten westen van Loon Op Zand Zuid.

1.1 Doel van het Winningsplan

Vermilion is houder van de winningsvergunning Waalwijk. Conform artikel 34 Mijnbouwwet (Mw) dient de winning van koolwaterstoffen te gebeuren overeenkomstig een winningsplan. In het Mijnbouwbesluit (Mb) is in artikel 24 aangegeven welke informatie het winningsplan moet bevatten.

De winningsvergunning Waalwijk omvat o.a. de gasvelden Loon Op Zand, Loon Op Zand Zuid en het prospect ten westen van Loon Op Zand Zuid. De redenen voor de actualisatie van het winningsplan voor deze voorkomens zijn:

- De productie van de bestaande putten zal langer doorgaan dan verwacht.
- VEN ziet mogelijkheden om de gasproductie van de voorkomens te verhogen. Dit zou kunnen door middel van put interventies en stimulatie, het boren van een aftakking van een bestaande put in het voorkomen of eventueel het boren van een nieuwe put in het voorkomen.
- VEN ziet een prospect ten westen van het Loon Op Zand Zuid voorkomen en wil dat gaan aanboren en indien er gas zit in het prospect dit voorkomen gaan ontwikkelen.
- Deze nieuwe inzichten vereisen een actualisatie van productie- en bodemdalingsvoorspellingen.

Tabel 1-1: Geschiedenis Winningsplan Loon Op Zand en Loon Op Zand Zuid.

Datum	Versie	Opmerkingen
29 december 2003		Winningsplan actualisatie voor de gasvoorkomens Waalwijk-Noord, Sprang en Loon Op Zand
oktober 2004		winningsplan voor het gasvoorkomen Loon Op Zand-Zuid
15 oktober 2012		winningsplan actualisatie voor de hele winningsvergunning Waalwijk
29 juni 2016		winningsplan actualisatie voor de hele winningsvergunning Waalwijk. Nog niet in behandeling genomen door EZ. In overleg met EZ vervangen door aparte winningsplannen voor Waalwijk-Noord, Sprang en Loon Op Zand & Loon Op Zand-Zuid.
24 augustus 2017	1.3	Winningsplan actualisatie voor alleen Loon Op Zand, Loon Op Zand Zuid en het prospect ten westen van Loon Op Zand Zuid (dit document).

1.2 Leeswijzer

In dit document wordt ingegaan op de manier waarop het gas gewonnen wordt, de geologie en de eigenschappen van het ondergrondse aardgasvoorkomen en de voorspelde productiehoeveelheden,

de mate van bodemdaling en het risico op aardbevingen. De cursief gedrukte stukken in de diverse hoofdstukken geven meer specialistische informatie.

De voorkomens Loon Op Zand en Loon Op Zand Zuid produceren gas vanaf de mijnbouwlocatie Loon Op Zand naar het Waalwijk gasbehandelingsstation (Waalwijk Treatment Centre, WTC) op de mijnbouwlocatie Waalwijk-Noord. Paragrafen 2.2 en 2.3 geven aan waar zowel de mijnbouwlocatie, de voorkomens en de producerende putten zich bevinden.

VEN is voornemens om het Loon Op Zand Zuid Prospect aan te boren en indien het gas bevat te ontwikkelen. De voorlopige planning van de boring hangt af van wanneer de vergunningen worden verleend.

De verwachte bodemdaling door productie uit de voorkomens Loon Op Zand, Loon Op Zand Zuid en Loon Op Zand Zuid Prospect wordt beschreven in Hoofdstuk 6. De bodemdalingsresultaten zijn de dalingen bij de uiteindelijke gasvoorkomen einddruk, dat wil zeggen, aan het eind van de levensduur van het gasvoorkomen. De modellen laten zien dat de maximale bodemdaling in het diepste punt van de bodemdalingskom boven de voorkomens Loon Op Zand, Loon Op Zand Zuid en Loon Op Zand Zuid Prospect minder dan 1 cm zal zijn. In de bodemdalingsanalyse is ook meegenomen het effect van het nabij gelegen gasvoorkomen Sprang. De bodemdaling wordt regelmatig gemonitord volgens een meetplan dat is beoordeeld door Staatstoezicht op de Mijnen (SodM).

De seismische risicoanalyse laat zien dat de voorkomens Loon Op Zand, Loon Op Zand Zuid en Loon Op Zand Zuid Prospect in de laagste seismische risicocategorie vallen. Hoofdstuk 7 gaat verder in op de seismische risico analyse.

De berekeningen en inschattingen worden gecontroleerd door Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) en de Technische Commissie Bodembeweging (TCBB). Betrokken overheden (provincie, gemeente(n), waterschap(pen)) brengen advies uit aan de Minister. Als laatste brengt de Mijnraad advies uit, gebaseerd op alle eerdere adviezen.

Het winningsplan zal aangepast worden als nieuwe inzichten tot een wijziging van de dalingsvoorspelling of seismische risicoanalyse leiden, bijvoorbeeld door meetresultaten. Een dergelijke actualisatie vereist opnieuw de instemming van de minister van Economische Zaken, waarvoor weer de uniforme openbare voorbereidingsprocedure wordt gevolgd, met advies van de eerdergenoemde adviseurs. Als voorzien wordt dat de cumulatieve productie uit de voorkomens Loon Op Zand, Loon Op Zand Zuid en Loon Op Zand Zuid Prospect gaat uitkomen boven de prognose van de uiteindelijke cumulatieve productie zoals in dit winningsplan beschreven, zal dit besproken worden met de regulerende overheden. Eventuele toekomstige activiteiten op de mijnbouwlocatie (b.v. compressie) of in het gasvoorkomen (b.v. extra putten) zullen de gangbare vergunningsprocedures volgen. De overige benodigde vergunningen en in deze procedures te toetsen waarden, staan beschreven in Hoofdstuk 8. Wanneer sprake is van zowel een wijziging van het winningsplan als aanvragen voor overige vergunningen, worden deze procedures gecoördineerd.

Een klein onderdeel van het winningsplan wordt apart toegezonden aan het Ministerie van Economische Zaken. Dit vertrouwelijke deel bevat bedrijfsgevoelige informatie en kan VEN's concurrentiepositie in gevaar brengen. Dit onderdeel is daarom niet openbaar. Het onderdeel bevat informatie over de verwachte productiekosten en investeringskosten, alsmede concurrentiegevoelige details over de geplande put en gasvolumeberekeningen.

2 Plaats van winning

2.1 Voorkomens in dit winningsplan

Dit winningsplan beschrijft de productie uit de voorkomens Loon Op zand en Loon Op Zand Zuid. Het voorkomen Loon Op Zand is aangetoond door de put WWS-01, welke in 1991 geboord is. Het voorkomen Loon Op Zand Zuid is aangetoond met de put WWS-02, welke in 2004 geboord is. Beide putten zijn vanaf dezelfde mijnbouwlocatie geboord. Er zijn verder geen putten geboord in deze voorkomens.

Opmerking: de putnamen hebben de afkorting WWS aan het begin, zoals WWS-01. Deze afkorting komt uit de periode dat de putten werden aangeduid als Waalwijk South. De voorkomens staan bekend onder de naam Loon Op Zand en Loon Op Zand Zuid. Deze namen hebben de afkorting LOZ en LOZZ.

2.2 Overzicht ligging voorkomens, gasputten

De voorkomens Loon Op Zand en Loon Op Zand Zuid liggen in de winningsvergunning Waalwijk in de provincie Noord-Brabant, zie Figuur 2-1. Het Loon Op Zand Zuid prospect ligt ten westen van het Loon Op Zand Zuid voorkomen.

De voorkomens Waalwijk Noord en Sprang liggen ook in de winningsvergunning Waalwijk. De productie van deze voorkomens wordt niet behandeld in dit winningsplan, maar in afzonderlijke winningsplannen.

Figuur 2-2 is een topografische kaart met de locatie van de voorkomens, de oppervlakte locatie waarvandaan de voorkomens zijn aangeboord, de putten en pijpleidingen.

De kadastrale informatie van de mijnbouwlocatie is gegeven in de onderstaande tabellen. De putten die zijn geboord vanaf deze mijnbouwlocatie en de status van de putten, staan onder de tabel met kadastrale gegevens. Bijlage 11 geeft een plattegrondtekening van de mijnbouwlocatie en foto's van deze locatie.

Vermilion ziet mogelijkheden om de gasproductie van de bestaande velden te verhogen. Dit zou kunnen door middel van put interventies en stimulatie, het boren van een aftakking van een bestaande put in het veld of eventueel het boren van een nieuwe put in het veld.

Vermilion is voornemens om het Loon Op Zand Zuid Prospect aan te boren vanaf de mijnbouwlocatie Loon Op Zand en indien het gas bevat te ontwikkelen. Er is nog geen put geboord in dit prospect. De voorlopige planning van de boring hangt af van wanneer de vergunningen worden verleend. Deze put zou vanaf dezelfde locatie geboord kunnen worden, dus vanaf de Mijnbouwlocatie Loon Op Zand.

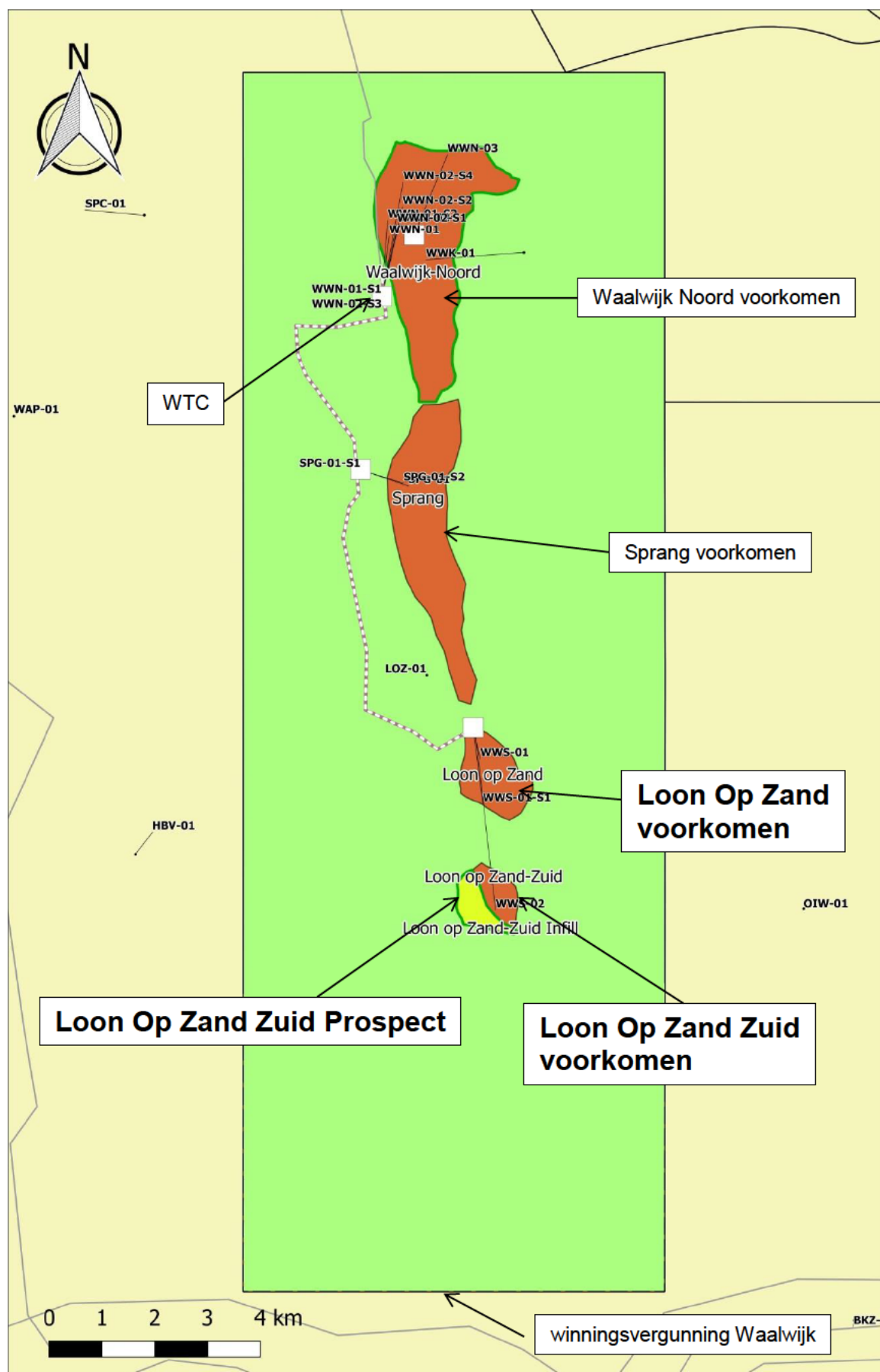
Kadastrale gegevens	
Gemeente	Loon Op Zand
Sectie	sectie E
Nummer	nrs. 3510
Plaatselijk bekend als	Mijnbouwlocatie Loon Op Zand

Put	WWS-01	WWS-02
Status	Gasproductie	Gasproductie
Formatie	Röt Fringe en Hardegse	Röt Fringe en Hardegse

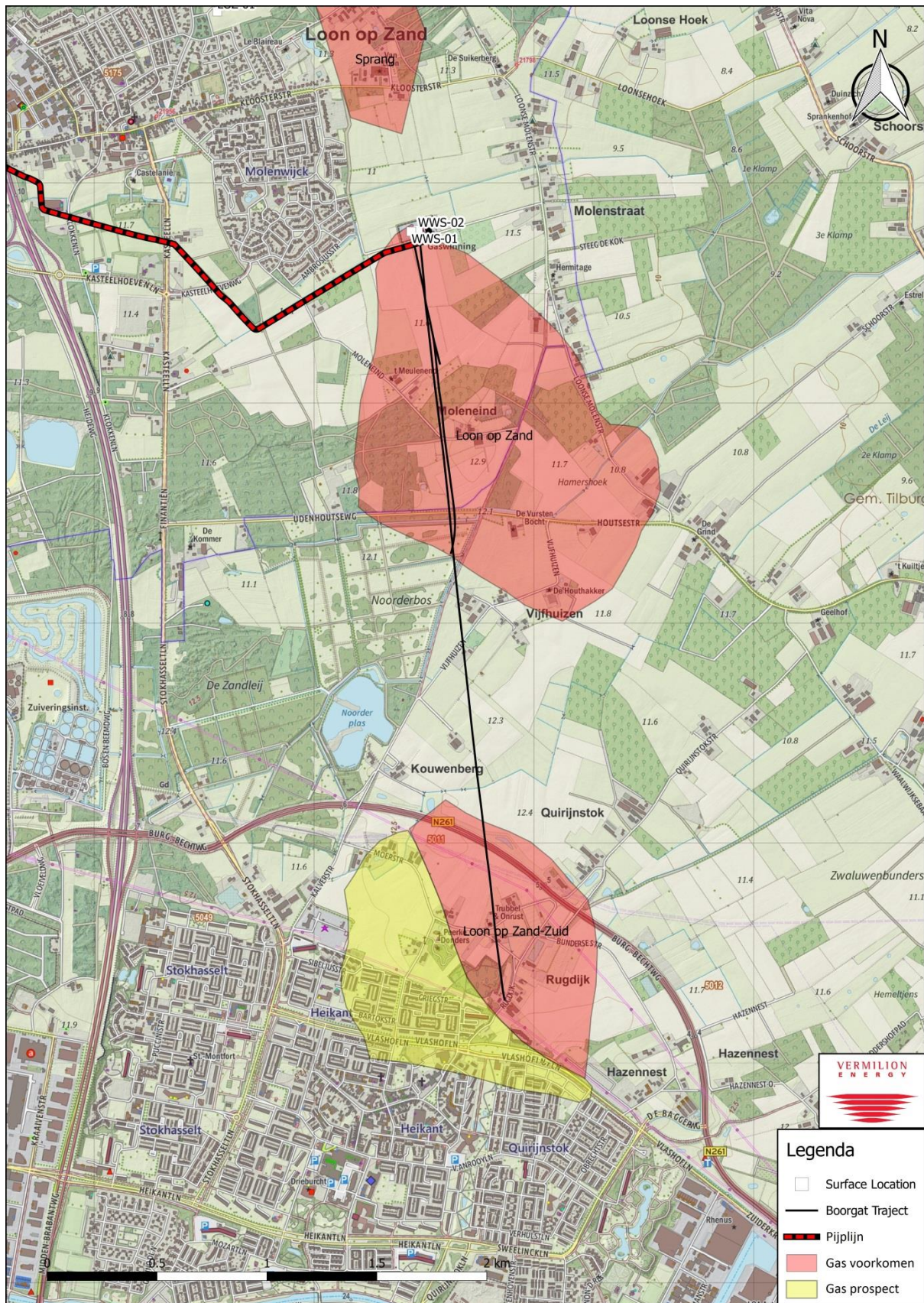
Tabel 2-1 geeft een lijst van de gemeenten, waterschappen en provincie waarop het Loon Op Zand en Loon Op Zand Zuid winningsplan betrekking heeft (art. 34.5 Mbw).

Tabel 2-1: Lijst met provincie, gemeente(n) en waterschap(pen) binnen het gebied waarop het Waalwijk Noord winningsplan betrekking heeft (art. 34.5 Mbw).

Provincie	Noord-Brabant
Waterschap	De Dommel
Gemeenten	Loon Op Zand Tilburg



Figuur 2-1: Kaart van winningsvergunning Waalwijk.



Figuur 2-2: Topografische kaart met voorkomens Loon Op Zand, Loon Op Zand Zuid en Loon Op Zand Zuid Prospect.

De mijnbouwlocatie is met een wit vierkantje aangeduid. De voorkomens Loon Op Zand en Loon Op Zand Zuid zijn rood. Het Loon Op Zand Zuid Prospect is geel. De zwarte lijntjes zijn de bestaande putten. De gaspijpleiding is zwart-rood.

2.3 Schematische weergave gas-behandeling en afvoer

In de bijlage, Hoofdstuk 12, is een schematische weergave voor de winningsvergunning Waalwijk opgenomen van de aanvoer van het geproduceerde aardgas naar het gasbehandelingsstation WTC en afvoer daarvan. Het gas van de voorkomens Waalwijk-Noord, Sprang, Loon Op Zand en Loon Op Zand-Zuid wordt centraal verwerkt door het WTC op de mijnbouwlocatie Waalwijk-Noord. De gasproductie van deze vier voorkomens vindt plaats via vier mijnbouwlocaties:

1. De mijnbouwlocatie Waalwijk-Noord (WWN), met het daarbij horende aardgascondensaat verlaadstation aan de haven van Waalwijk
2. De mijnbouwlocatie Waalwijk-Noord-3
3. De mijnbouwlocatie Sprang-A
4. De mijnbouwlocatie Waalwijk-Zuid

De putten WWS-01 en WWS-02 bevinden zich op de mijnbouwlocatie Loon Op Zand. Het vrije water wordt op deze locatie afgescheiden en opgeslagen. Dit water wordt per vrachtwagen afgevoerd naar een erkende afval verwerker. Het gas en condensaat worden via een 10 inch diameter pijpleiding over een lengte van circa 12.3 km getransporteerd naar hoofdlocatie WWN. Op de Sprang A locatie staat verder een compressor zodat er meer gas geproduceerd kan worden uit het Sprang voorkomen. Eventueel kan de pijpleiding vanaf Loon Op Zand ook op deze compressor aangesloten worden waardoor er meer gas uit de voorkomens Loon Op Zand en Loon Op Zand Zuid geproduceerd kan worden.

De mijnbouwlocaties worden op afstand gecontroleerd en gemonitord vanuit een controlekamer op de mijnbouwlocatie Waalwijk-Noord. Operators bezoeken regelmatig de mijnbouwlocaties voor controles en onderhoud.

3 Boringen

3.1 Inleiding: Algemene beschrijving van een put

Figuur 3-1 is een schematische weergave van een gasproductieput. De belangrijkste onderdelen worden hier besproken.

Een boorgat bestaat uit telescopisch gevormd gat, waarvan de diameter afneemt met de diepte. Het boorgat wordt verstevigd door middel van een metalen buis: een casing. De casing wordt in het boorgat vast gecementeerd. Hierdoor ontstaat een strek en stabiel boorgat. Door het cement tussen het boorgat en de metalen verbuizingen wordt voorkomen, dat stroming van vloeistoffen optreedt tussen verschillende aardlagen via de ruimte tussen boorgatwand en verbuizingen. Een liner is een metalen verbuizing die niet helemaal tot aan de oppervlakte gaat maar eindigt in de laatste metalen verbuizing. De liner wordt vast gecementeerd in de laatste metalen verbuizing en de boorgatwand.

De bovenste verbuizing (conductor) is extra zwaar uitgevoerd en dient behalve voor de stabiliteit ook als fundering voor de putafsluiters.

De diepte waar een nieuwe buizenserie wordt aangebracht, hangt af van de diepte van het gat, de eigenschappen, de dikte en de druk van de vloeistoffen in de aardlagen. Nadat de laatste verbuizing is gecementeerd wordt de put afgewerkt.

Het aardgas wordt door een productie stijgbuis, ook well tubing genoemd, geproduceerd. De productie stijgbuis zit onderin de put vast met een productie packer aan de metalen verbuizing. De ruimte tussen de productie stijgbuis en de metalen verbuizing wordt A-annulus genoemd.

Er worden gaten geschoten in de metalen verbuizing tegenover het gasvoorkomen. Dit worden ook wel perforaties genoemd. Door deze gaten stroomt het gas van het voorkomen de productieput in.

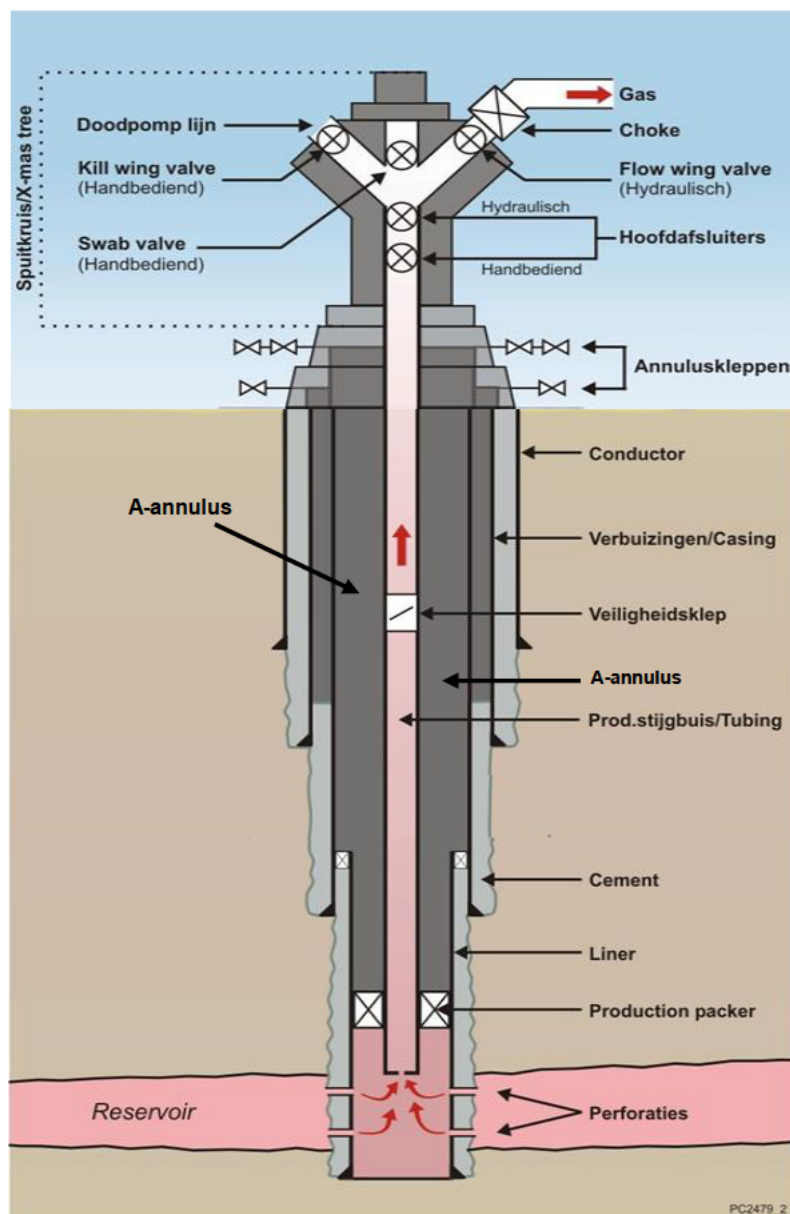
De put is voorzien van beveiligingskleppen, die met behulp van hydraulische druk kunnen worden geopend respectievelijk kunnen worden opengehouden en voorts (in noodgevallen) zijn/worden dicht gestuurd.

In de put zijn de volgende beveiligingskleppen aanwezig:

- een ondergrondse veiligheidsklep in de stijgbuis van de put
- er zijn 2 hoofdafsluiters op het spuitkruis van de put; de bovenste hoofdafsluiter wordt hydraulisch aangestuurd, de onderste hoofdafsluiter is handbediend.

Het spuitkruis wordt ook wel de X-mas tree genoemd.

De put heeft een aansluiting voor het doodpompen van de put, ook well Kill Wing Valve genoemd. Dit doodpompen kan in uitzonderingsgevallen nodig zijn bij reparatie of storing aan de put.



Figuur 3-1: Schematische weergave van een gasproductieput.

3.2 Overzicht boringen in voorkomen

Tabel 3-1 is een overzicht van de geboorde en actieve putten in de voorkomens Loon Op Zand en Loon Op Zand Zuid.

In de nabije toekomst is het de bedoeling om het Loon Op Zand Zuid Prospect aan te boren. Deze boring kan plaatsvinden vanaf de Loon Op Zand Zuid locatie. Dit kan gebeuren door gebruik te maken van een nieuwe put, WWS-03 of het boren van een side-track, een aftakking, van een van de bestaande putten WWS-01 of WWS-02. De uiteindelijke put oplossing om het Loon Op Zand Zuid prospect aan te boren is op dit moment nog niet bekend. Dit hangt af van het productie gedrag van de putten WWS-01 en WWS-02. De exacte planning van de boring of aftakking van bestaande put is nog niet bekend. Deze hangt af van het verlenen van de vergunningen om deze put te mogen boren en te produceren.

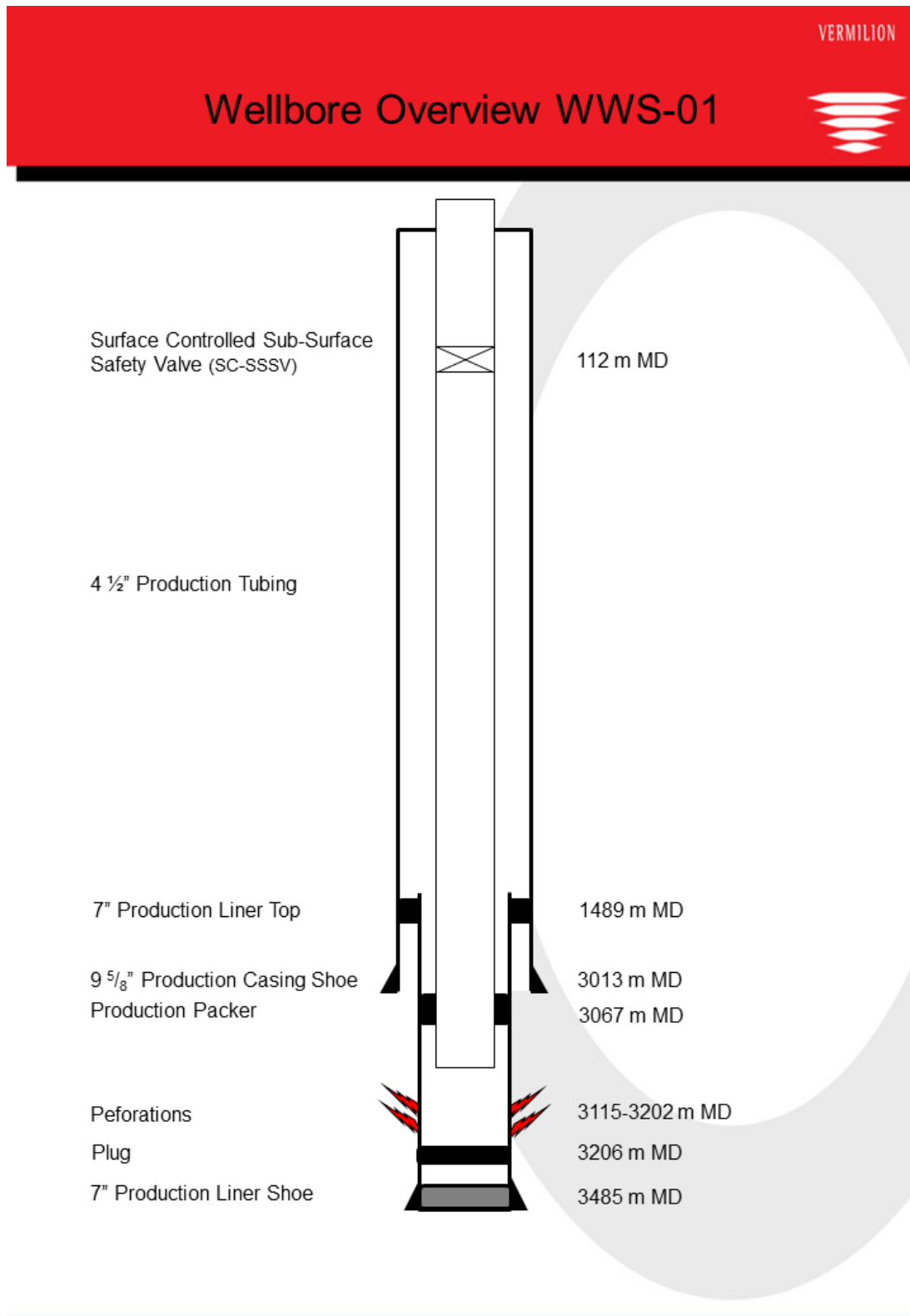
Put	Jaar geboord	Gas reservoir	Cumulative gasproductie per 1/Feb/2017 [x10 ⁶ Nm ³]	Status
WWS-01	1991	Röt Fringe en Hardeggen	457	Producterend
WWS-02	2004	Röt Fringe en Hardeggen	113	Producterend
WWS-03	Toekomstige boring	Röt Fringe en Hardeggen	-	Toekomstige productie put

Tabel 3-1: Status putten in Loon Op Zand en Loon Op Zand Zuid reservoirs.

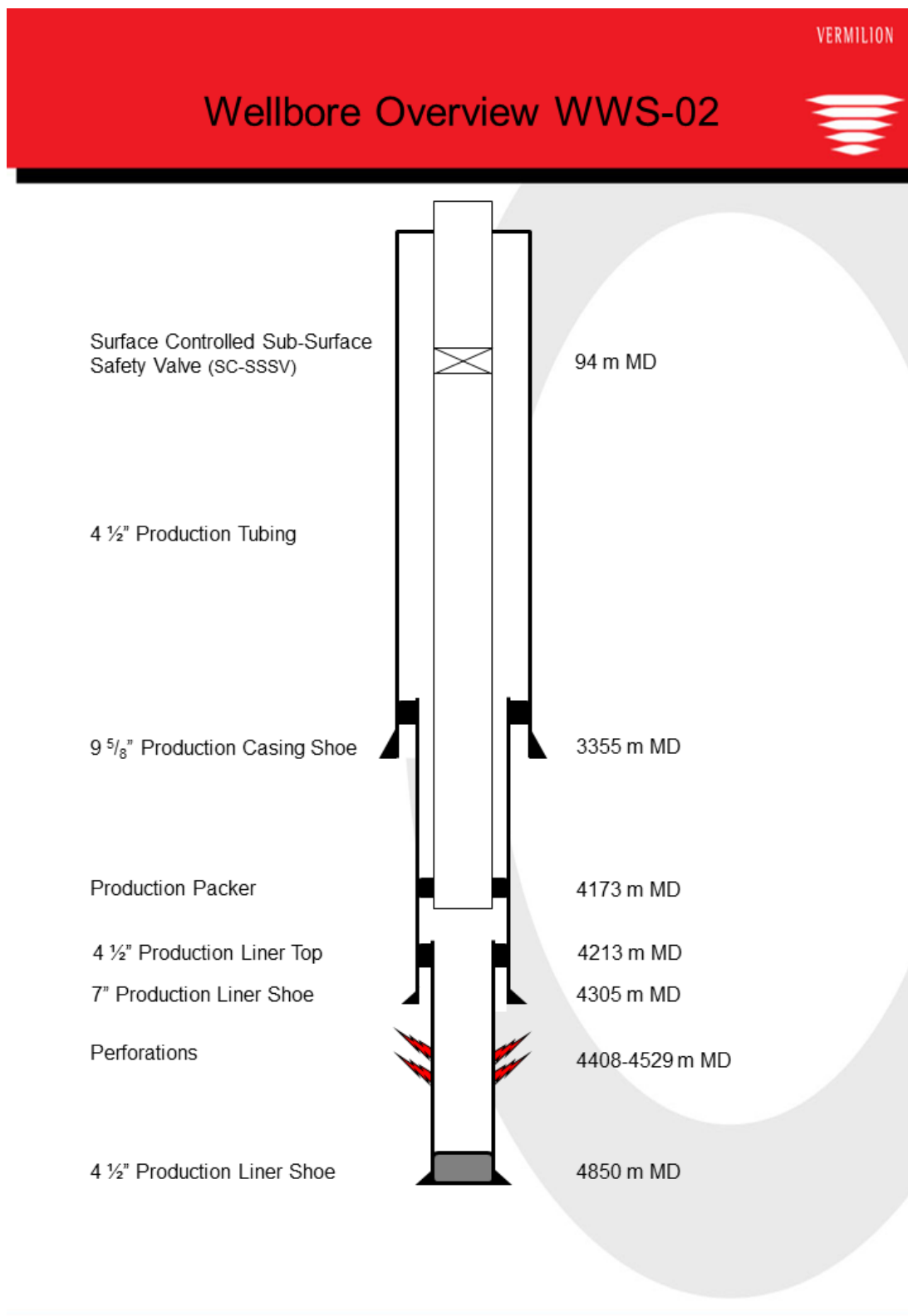
3.3 Schematische voorstelling putverbuizing(en)

In de onderstaande figuren is schematisch de verbuizing van de putten in de gasvelden Loon Op Zand en Loon Op Zand Zuid.

3.3.1 WWS-01 – Well schema



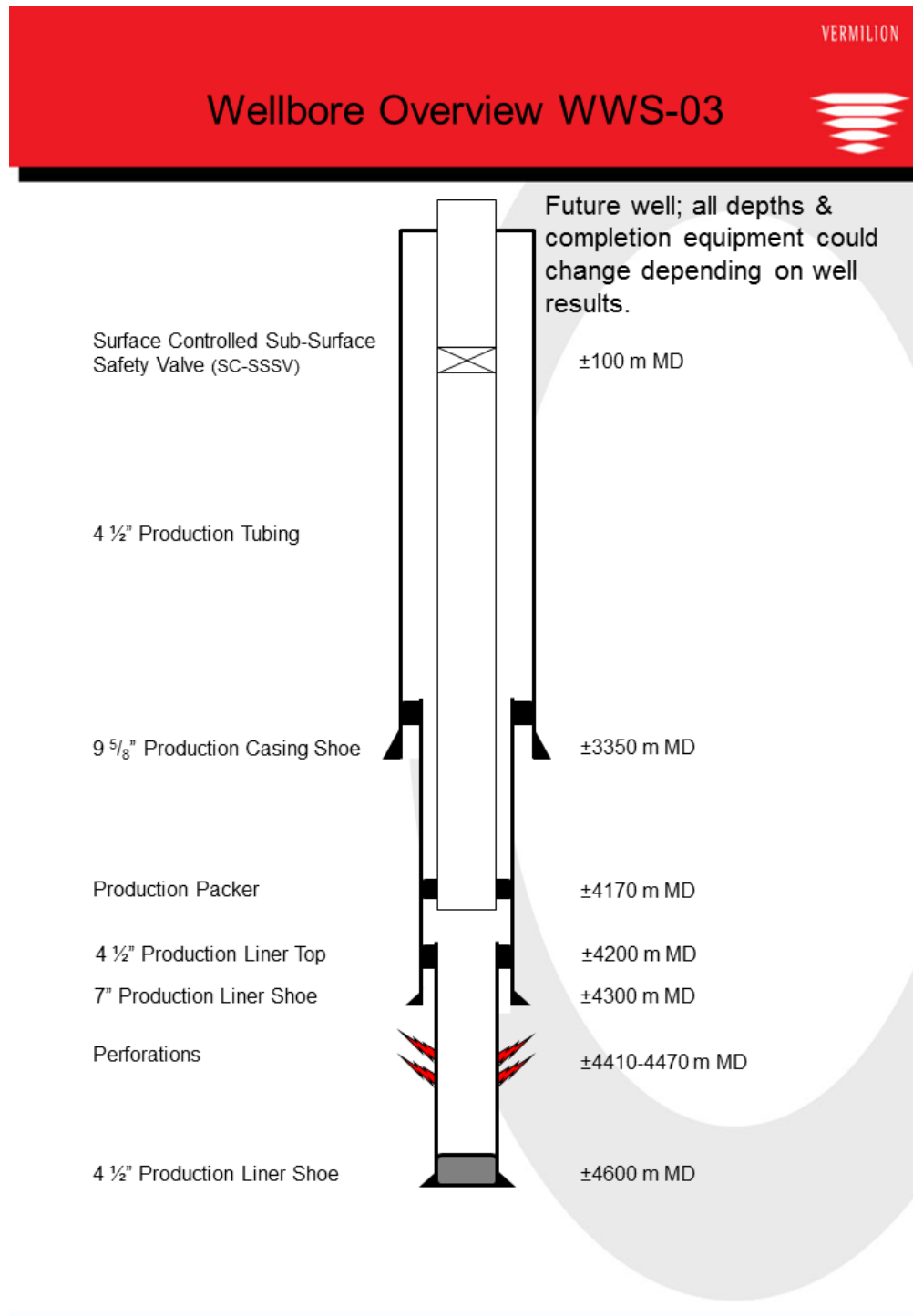
3.3.2 WWS-02 – Well schema



3.3.3 WWS-03 – Well schema

WWS-03 is een toekomstige put om het Loon Op Zand Zuid prospect aan te boren en te ontwikkelen. Indien de boring succesvol is zal het put schema er ongeveer uitzien als hieronder. Het put schema hieronder is een voorlopig schema. Dit zal aangepast worden naar aanleiding van de resultaten van de boring.

Tevens zou put WWS-01 of put WWS-02 gebruikt kunnen worden om het Loon Op Zand Zuid prospect aan te boren. In dit geval zou de put naam anders worden.



3.4 *Plaats en wijze waarop koolwaterstoffen in verbuizing treden*

De completering van de putten bestaat uit perforaties door de mantelbuis die het gasvoorkomen in verbinding stelt met de productie-stijgbuis. Via de productie-stijgbuis worden de koolwaterstoffen naar het oppervlak geproduceerd. De wellbore schema's in de vorige secties laten dit duidelijk zien voor de putten WWS-01, WWS-02 en de toekomstige put WWS-03.

In de toekomst zou eventueel een kleinere productie stijgbuis in de put geïnstalleerd kunnen worden om de snelheid van gasproductie te verhogen en daardoor de gasproductie verder te verlengen.

3.5 *Putbehandelingen*

Gedurende het leven van een put kan het voorkomen dat er aanslag (zgn. scaling, bijv. kalk of zout) optreedt aan de binnenkant van de verbuizing, en in de perforaties. Om deze scaling te verwijderen kan het voorkomen dat de put met zuur behandeld wordt. Dit is een routinehandeling, waarbij geen overdruk gebruikt wordt. Dit duurt ongeveer een dag, en wordt uitgevoerd door een kleine onderhoudsploeg (er is geen boortoren nodig).

Daarnaast kan het voorkomen dat er nieuwe perforaties gemaakt worden om een iets groter deel van het voorkomen met de put in communicatie te brengen. Dit duurt een dag of twee, en wordt uitgevoerd door een kleine onderhoudsploeg (er is geen boortoren nodig).

Tijdens het leven van de put kan het nodig zijn de diameter van de verbuizing aan te passen, groter als de productiviteit van het voorkomen beter is dan verwacht, kleiner tegen het eind van het leven als de hoeveelheid condenswater toeneemt. Deze operatie gebeurt met een kleine installatie (een zgn. workover unit, geen boortoren).

Tenslotte zullen gedurende de levensduur van een put diverse andere onderhoudshandelingen plaatsvinden aan verbuizingen, kleppen, etc.

Alle operationele handelingen, waaronder de genoemde, staan onder toezicht van SodM, en worden uitgevoerd overeenkomstig de daarvoor geldende regelgeving.

Hydraulische stimulatie

De gas doorlatendheid van het reservoir gesteente is de voorkomens Loon Op Zand en Loon Op Zand Zuid is laag. Om die reden is in het verleden hydraulische stimulatie (het met behulp van overdruk bewerken van een voorkomen om de productiviteit te verbeteren, ook wel 'fracking' genoemd) op de put WWS-01 uitgevoerd. Op put WWS-02 is geen hydraulische stimulatie uitgevoerd.; zie Tabel 3-2.

Tabel 3-2: Hydraulisch gestimuleerde putten in Loon Op Zand voorkomen.

Well	Date fracture stimulation
WWS-01	Jul/2000

VEN voorziet dat in de nabije toekomst opnieuw hydraulische stimulatie nodig zal zijn in één of meer van de putten om alle gasreserves te kunnen produceren. Bijlage 13 geeft een risico-analyse van hydraulische stimulatie in een put. Dit is een algemene beschrijving. Deze risico-analyse zal specifiek worden gemaakt in een werkprogramma voor hydraulische stimulatie wanneer de plannen voor hydraulische stimulatie van een bepaalde put concreet zijn geworden; dit werkprogramma wordt ingediend bij, gecontroleerd door en goedgekeurd door SodM vóór de uitvoering van de werkzaamheden.

De hydraulische stimulatie kan bestaan uit één of enkele fracking behandelingen. Het aantal behandeling per put is afhankelijk van de hoeveelheid reservoirlagen in de put en de lengte van de put om een netwerk van stromingspaden te creëren. Het aantal behandelingen staat beschreven in het werkprogramma voor hydraulische stimulatie. Dit werkprogramma wordt ingediend bij, gecontroleerd door en goedgekeurd door SodM vóór de uitvoering van de werkzaamheden.

4 Ondergrond

4.1 Inleiding: hoe worden de ondergrond-eigenschappen gemeten

Aardgas bevindt zich op ongeveer 2 kilometer diepte onder druk in een poreuze gesteentelaag, zoals zandsteen. Doordat de vorm van het voorkomen alleen uit indirecte metingen kan worden vastgesteld, en doordat gesteente-eigenschappen alleen worden gemeten in en vlakbij de putten, bestaat een onzekerheid over de grootte en de andere eigenschappen van het voorkomen. Voorspellingen zullen daardoor altijd door een onzekerheidsmarge omgeven zijn. De grootte van de onzekerheidsmarge verschilt van parameter tot parameter, en zal dus een verschillende impact op verschillende voorspellingen hebben. In de volgende hoofdstukken worden deze onzekerheidsmarges nader besproken.

De fysische eigenschappen van gesteente, zoals dichtheid en snelheid (druk- en schuifgolven), zijn belangrijke parameters voor het bepalen van gesteente-eigenschappen als porositeit, saturatie en permeabiliteit (doorlaatbaarheid). Deze fysische eigenschappen worden gemeten door middel van boorgatmetingen die verkregen zijn na het boren van de putten in het voorkomen Waalwijk-Noord.

Uit deze boorgatmetingen worden de gesteente-eigenschappen berekend rond de boorgaten. De eigenschappen van het voorkomen worden gecorreleerd tussen de verschillende boorgaten om een model van de ondergrond te maken. Inherent hieraan zijn relatief grote onzekerheden, omdat de eigenschappen van enkele putten over het hele voorkomen geëxtrapoleerd worden.

Het Loon Op Zand veld heeft een lengte van ongeveer 1 km en een breedte van ongeveer 1 km. Het Loon Op Zand Zuid veld heeft een lengte van ongeveer 1 km en een breedte van ongeveer ½ km. Een boorgat heeft een diameter van gemiddeld 8½ inch of 0.22 m. Dit boorgat heeft dus een oppervlakte van 0.0366 m² in het reservoir doorboord en bemonsterd. In elk gasveld is maar 1 put geboord. Deze berekening laat zien dat de putten maar een klein oppervlakte van het reservoir bemonsteren.

4.2 Geologie en gesteente-eigenschappen van het voorkomen

De gasvoorkomens Waalwijk-Noord, Sprang, Loon Op Zand en Loon Op Zand-Zuid liggen in de winningsvergunning Waalwijk, in de provincie Noord-Brabant. Uit de vier voorkomens wordt gas geproduceerd via zes putten die gas produceren uit zandsteenlagen van Trias ouderdom. De vier gasvoorkomens zijn gekarteerd op basis van 3D seismiek die is gekoppeld aan de omringende putten. De voorkomens bestaan uit hellende 'horst' blokken begrensd door breuken.

4.2.1 Gesteente-afzetting

De gasproducerende voorkomens in de winningsvergunning Waalwijk zijn de Triassische Bunter zandstenen van de Röt Fringe en Hardeggen Formaties.

De gasvoorkomens in de winningsvergunning Waalwijk lagen gedurende het Trias in een NW-ZO georiënteerd bekken dat gekenmerkt werd door een droog woestijnlandschap met enkele rivieren. De beste zandlagen zijn de door rivieren afgezette Röt Fringe zanden met fijne tot middelgrote korrels bestaande uit 10-15m dikke zandpakketten onderling begrensd door kleilagen van enkele meters dikte. Het totale pakket van zand- en kleilagen heeft een dikte tot 100m. Deze Röt Fringe Formatie is gasvoerend in alle Waalwijk voorkomens.

De zanden van de Hardeggen Formatie vormen minder goede voorkomens en zijn als dunne zanden uitgestreken over brede rivier-vlaktes in een droog en warm woestijnklimaat. De zanden zijn zowel door rivieren als door de wind getransporteerd in meerdere cycli en worden afgewisseld met kleilagen. Het totale pakket heeft een dikte tot 50m. De Hardeggen Formatie is gasvoerend in alle Waalwijk voorkomens.

De Hardeggen Formatie wordt aan de bovenkant begrensd door een discordantie met daarboven kleistenen van de Solling Formatie van zo'n 20m dik. De Solling kleisteen wordt aan de bovenkant begrensd door de Röt Fringe Formatie.

4.2.2 Structuur

De lagen zijn over grote afstanden aanwezig. Door bewegingen van en botsingen tussen de aardplaten in de geologische geschiedenis zijn er golvingen ontstaan in de lagen. Omdat gesteente niet zo buigzaam is leidt dit tot breuken. In dit gebied is het resultaat dat het gesteente uit licht schuinliggende breukblokken bestaat. Het gas zal, omdat het lichter dan water is, zich verzamelen in de hoogste plaatsen; boringen zullen dan ook op zulke plaatsen gericht zijn.

Tijdens het Trias en Jura maakte het gebied rond de winningsvergunning Waalwijk deel uit van een groot bekken dat zich uitstreckte over Noordwest Europa. Door de opening van de Atlantische Oceaan werd dit bekken blootgesteld aan een extensioneel spanningsveld, waardoor het grote bekken veranderde in kleine afzonderlijke hogen ("horsts") en lagen ("grabens") begrensd door breuken. Door het extensionele spanningsveld zijn de horsts gekanteld waardoor structuren zijn ontstaan waarin koolwaterstoffen ingesloten worden. Het spanningsveld veranderde in het Krijt van extensioneel naar compressioneel. Dit leidde tot verticale bewegingen langs breuken met erosie in bovenliggende lagen, maar de invloed hiervan op de configuratie van de Waalwijk aardgasvoorkomens lijkt beperkt.

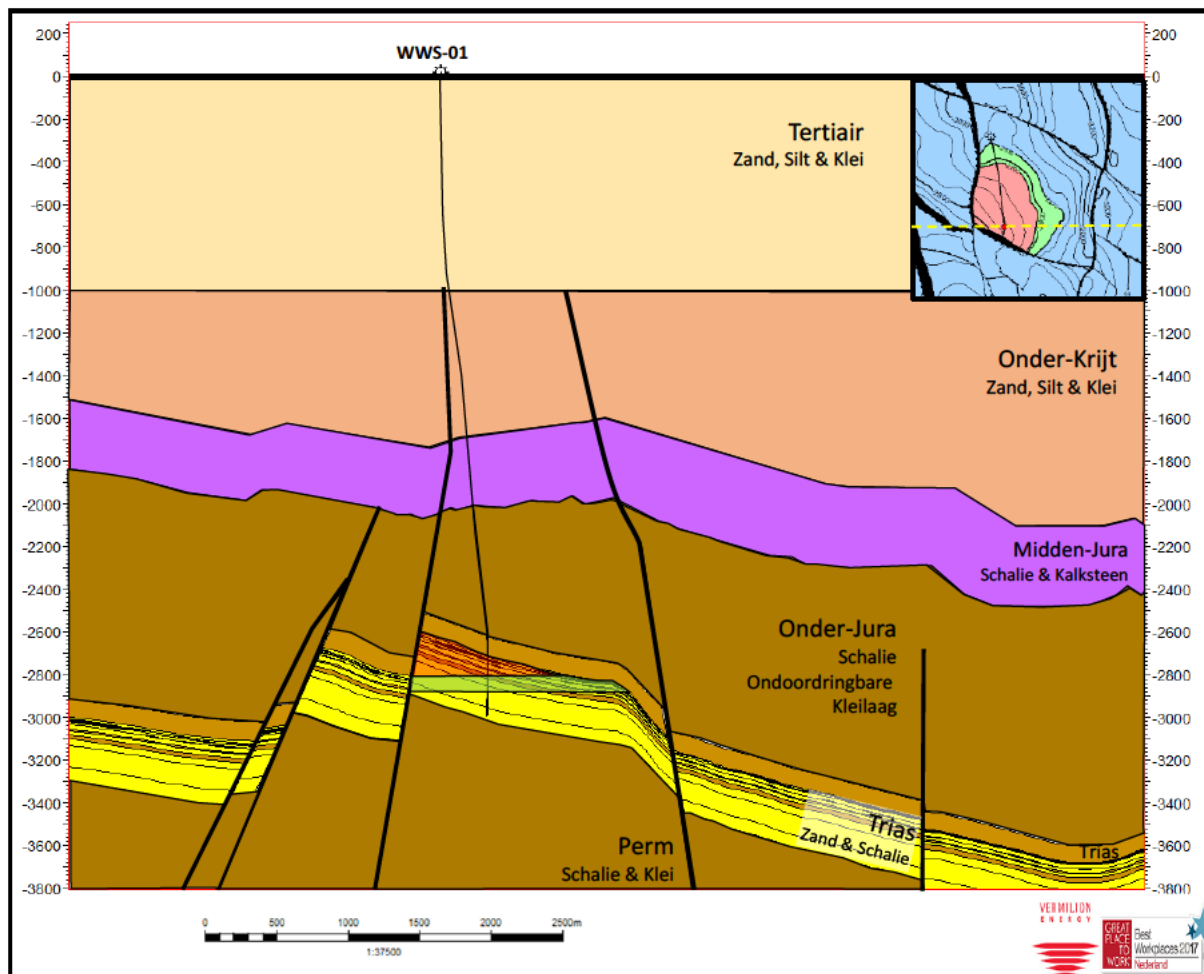
4.2.3 Bron koolwaterstoffen en migratie(patronen)

Tijdens de geologische geschiedenis worden lagen die organische bestanddelen bevatten soms diep begraven. Dat kan leiden tot het genereren van gas of olie. Hier gebeurde het genereren van gas in het Carboon pakket dat onder de Waalwijk structuren ligt. Dat gas is daarna naar boven gestroomd en in de Röt Fringe en Hardeggen Formaties van het voorkomen Waalwijk-Noord terechtgekomen.

De dieper gelegen "Westfaal kolen" van Carboon ouderdom zijn de bewezen bron voor de koolwaterstoffen in de Waalwijk gasvoorkomens. Door continue begraving en verhoogde temperatuur tijdens het Perm, Trias en Jura zijn deze koollagen koolwaterstoffen gaan genereren. Deze zijn in miljoenen jaren naar boven gemigreerd totdat ze werden opgevangen in de Waalwijk structuren. Dit proces is gestopt in het Krijt, toen door verticale breukbewegingen de temperatuur te laag werd voor gasgeneratie. Hernieuwde gasgeneratie heeft waarschijnlijk plaatsgevonden in het Tertiair, maar de invloed hiervan op de Waalwijk gasvoorkomens is onbekend.

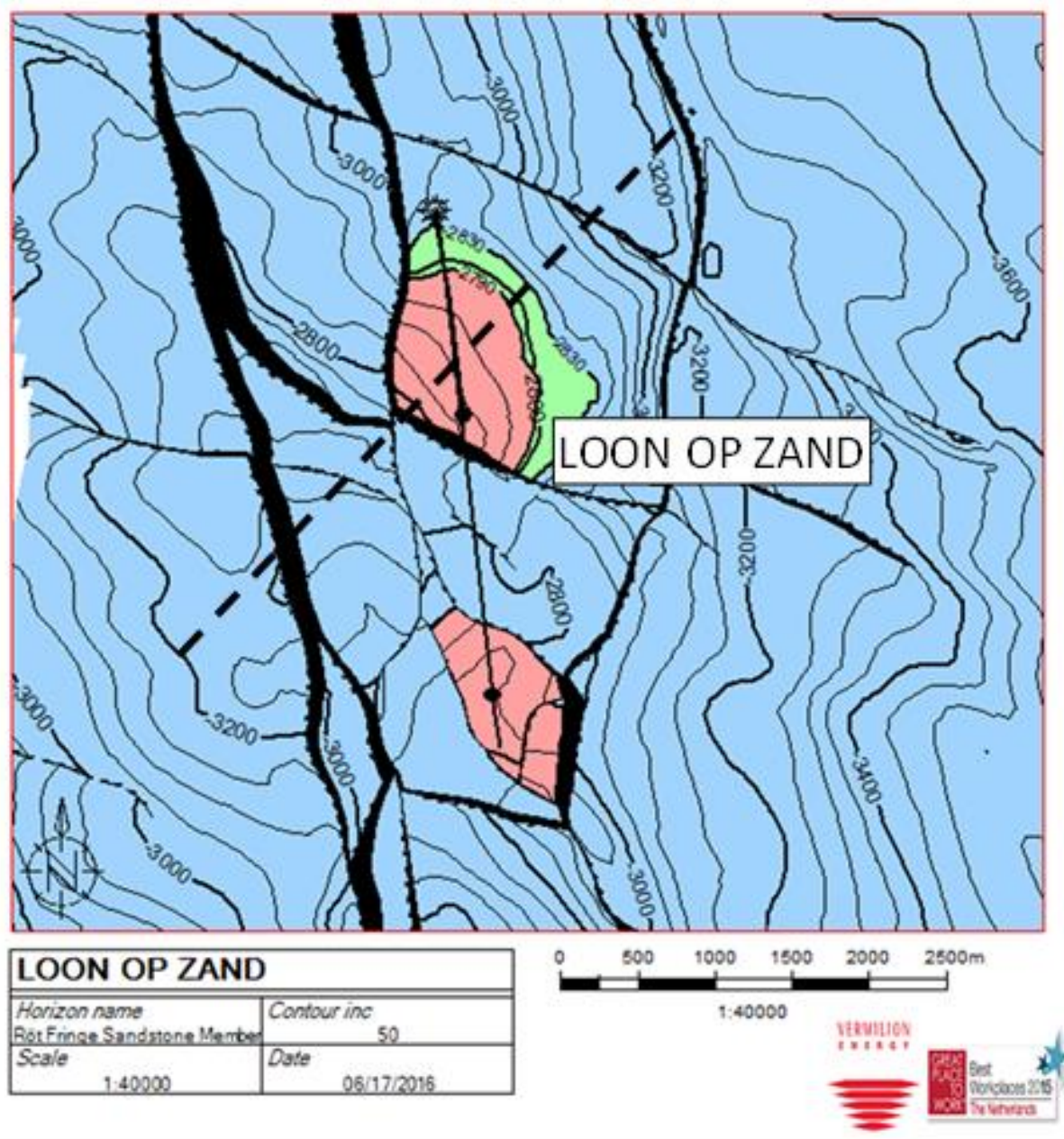
4.2.4 Geologische doorsnede van voorkomen(s)

Figuur 4-1 is een west-oost doorsnede van het gasvoorkomen Loon Op Zand. De inzet in de figuur laat zien waar de doorsnede loopt.

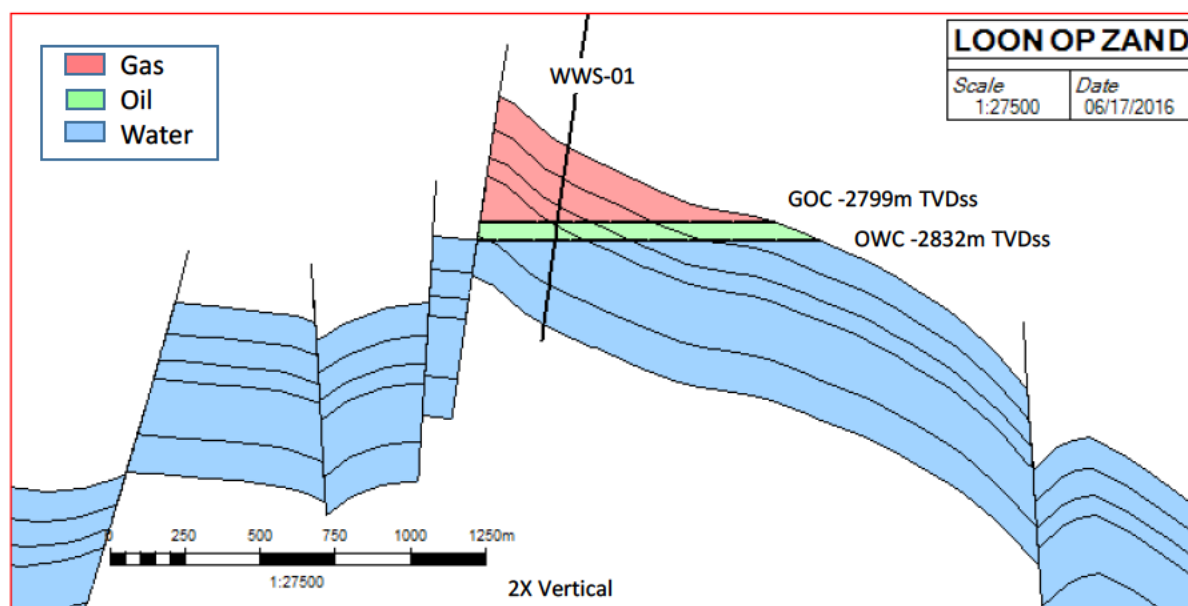


Figuur 4-1: West-oost doorsnede voorkomen Loon Op Zand.

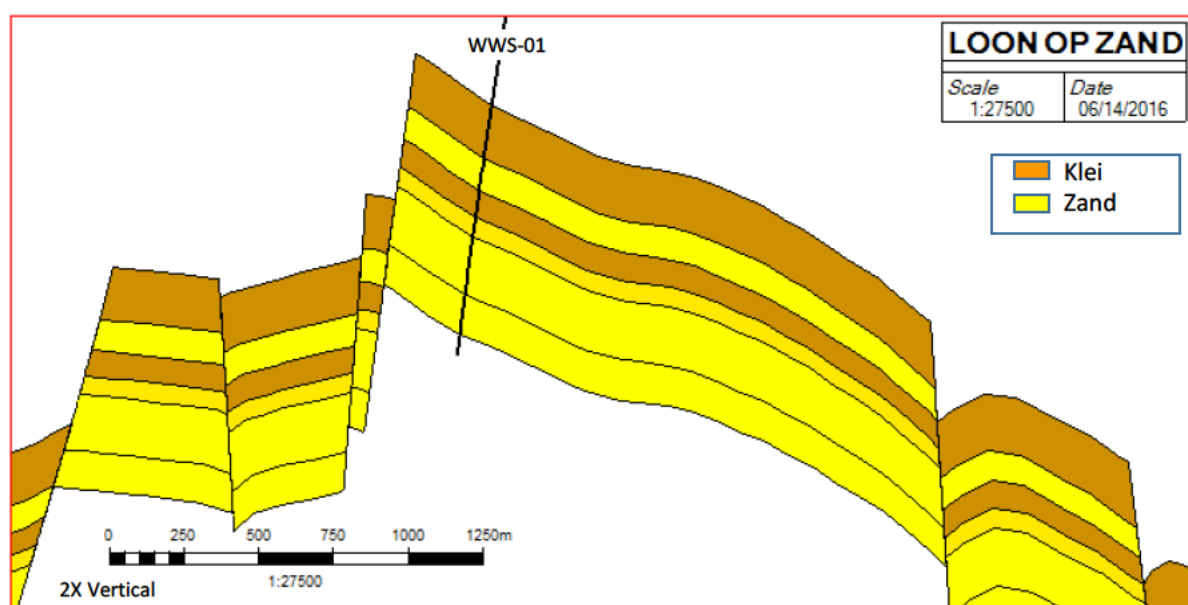
Figuur 4-2 is een top structuurkaart van het Loon Op Zand veld; rood is gas blauw is water. De zwarte lijn is een doorsnede die te zien zijn in Figuur 4-3 en Figuur 4-4.



Figuur 4-2: Top structuurkaart Loon Op Zand veld met lijn van doorsnede; rood is gas, groen is olie, blauw is water. De stippenlijn is de lijn van doorsnede.

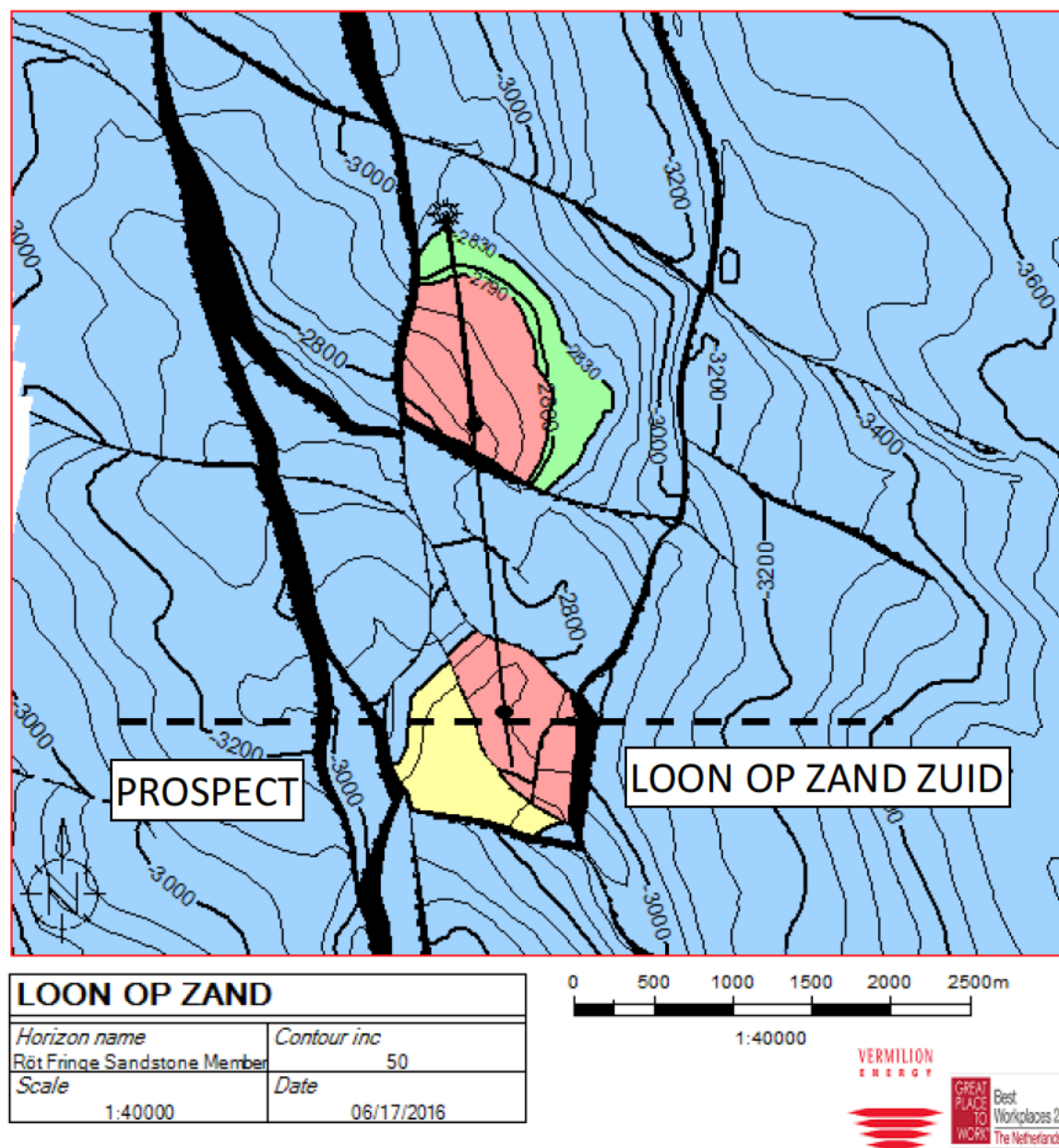


Figuur 4-3: Doorsnede door Loon Op Zand veld met gas water contact.

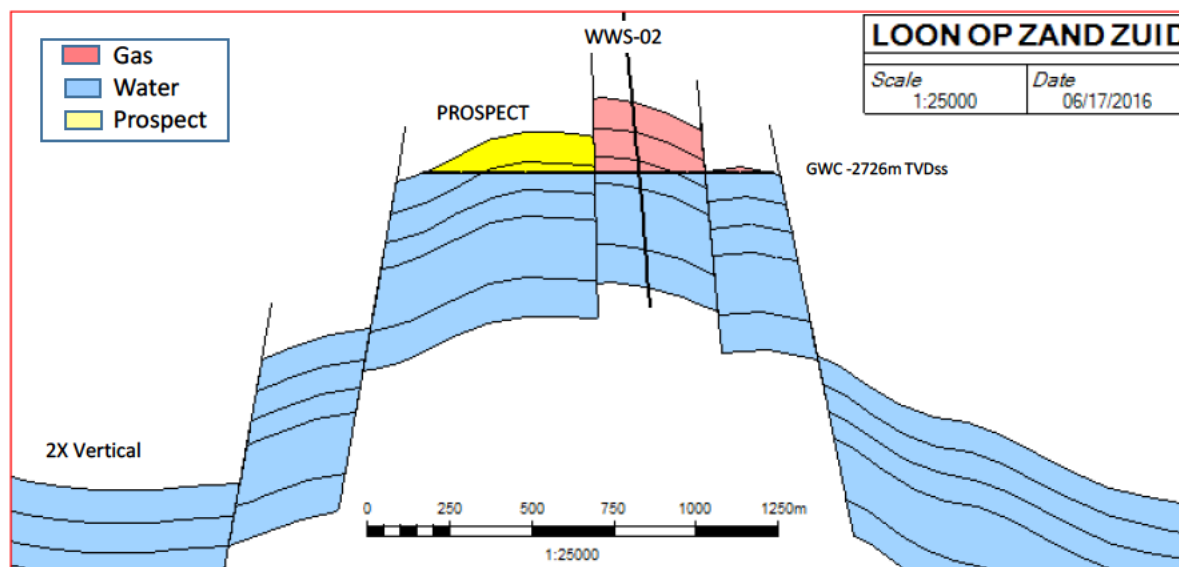


Figuur 4-4: Doorsnede Loon Op Zand veld met zand en klei formaties.

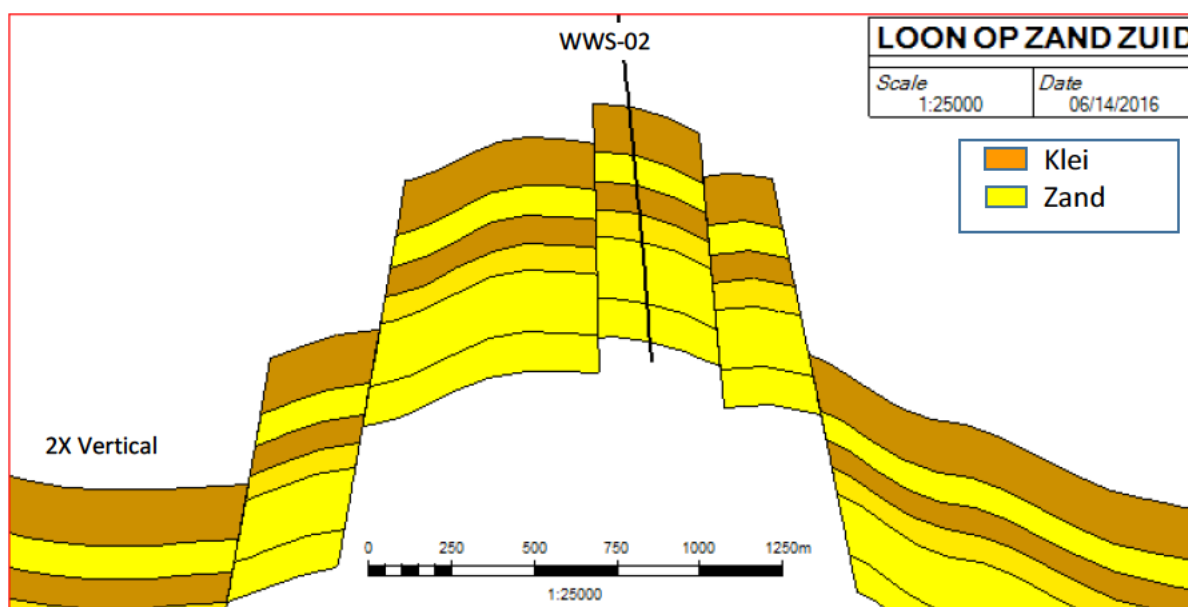
Figuur 4-5 is een top structuurkaart van het Loon Op Zand Zuid veld en het Loon Op Zand Zuid prospect; rood is gas blauw is water. De zwarte lijn is een doorsnede die te zien zijn in Figuur 4-6 en Figuur 4-7.



Figuur 4-5: Top structuurkaart Loon Op Zand Zuid veld en het prospect; rood is gas, groen is olie, blauw is water, geel is het prospect. De stippenlijn is de lijn van doorsnede.



Figuur 4-6: Doorsnede door Loon Op Zand Zuid veld en prospect met gas water contact.



Figuur 4-7: Doorsnede Loon Op Zand Zuid veld met zand en klei formaties.

4.3 Gesteente-eigenschappen van de bovenliggende lagen

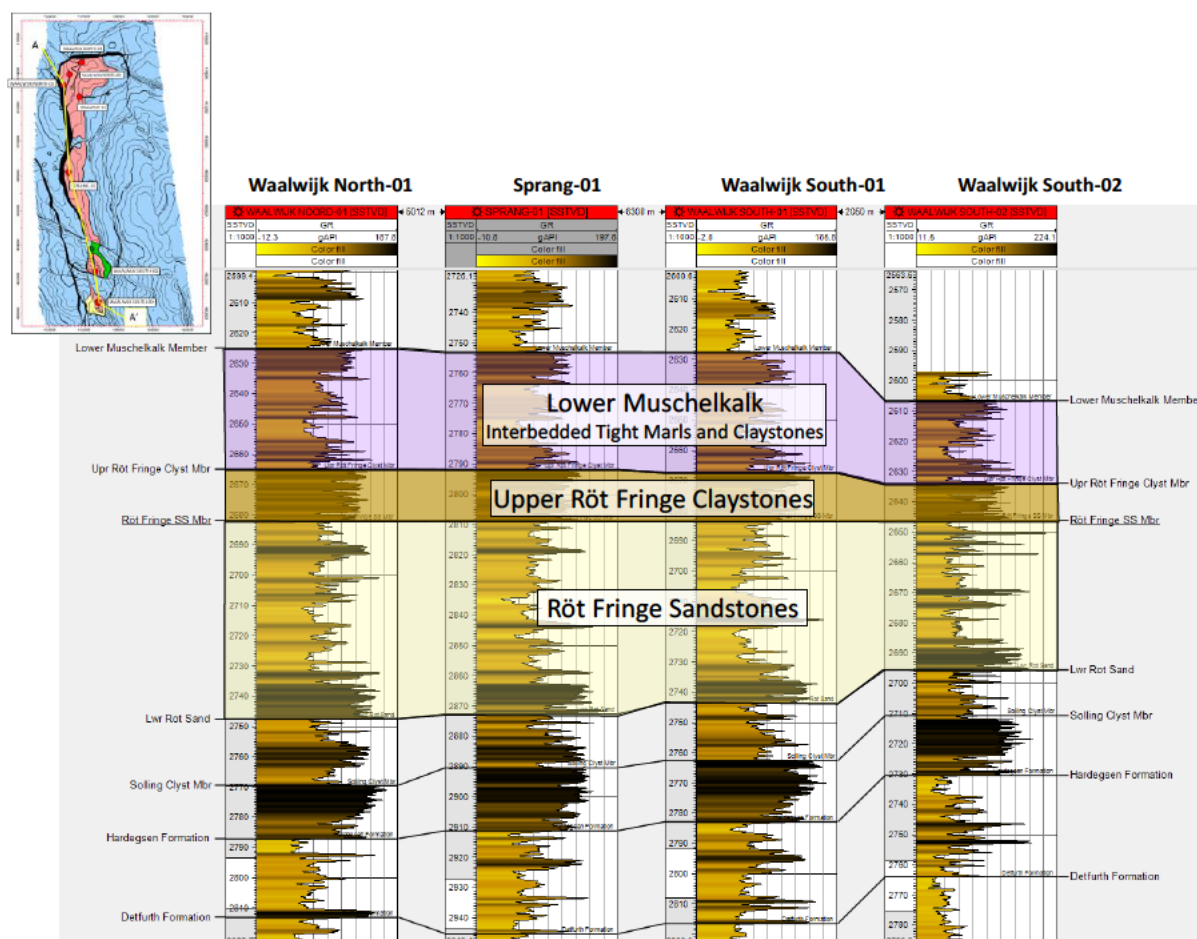
Boven de gasvoerende formatie, die hierboven besproken is, bevindt zich nog ongeveer 2650 m gesteente.

De uiteindelijk afsluitende laag, die bovenop de reservoirsteentelagen ligt, wordt gevormd door de Upper Röt Fringe Claystone en Lower Muschelkalk formaties (Trias). Deze gesteenten bestaan voornamelijk uit kleistenen met anhydriet, impermeabele (niet-doorlatende) carbonaten en mergels. Gezamenlijk hebben ze een constante dikte van ongeveer 50m in de winningsvergunning Waalwijk.

Figuur 4-8 geeft de putcorrelatie weer van deze formaties in de omgeving. De kleistenen en carbonaten zijn van nature impermeabel. Hierdoor kan het gas niet naar boven ontsnappen en zit het opgesloten in de poreuze zanden van de Röt Fringe Zandsteen.

De lateraal afsluitende laag, die naast de reservoirgesteentes ligt, wordt gevormd door impermeabele schalies van de Aalborg Formatie (Jura). Deze hebben in de winningsvergunning Waalwijk een dikte van ongeveer 400-500m.

De voorkomens Loon Op Zand, Loon Op Zand Zuid en Loon Op Zand Zuid Prospect liggen dus op grote diepte en er bevindt zich een groot aantal impermeabele (niet-doorlatende) lagen tussen het voorkomen en het maaiveld.



Figuur 4-8: Correlatie panel met de dikte van afsluitende laag in winningsvergunning Waalwijk.

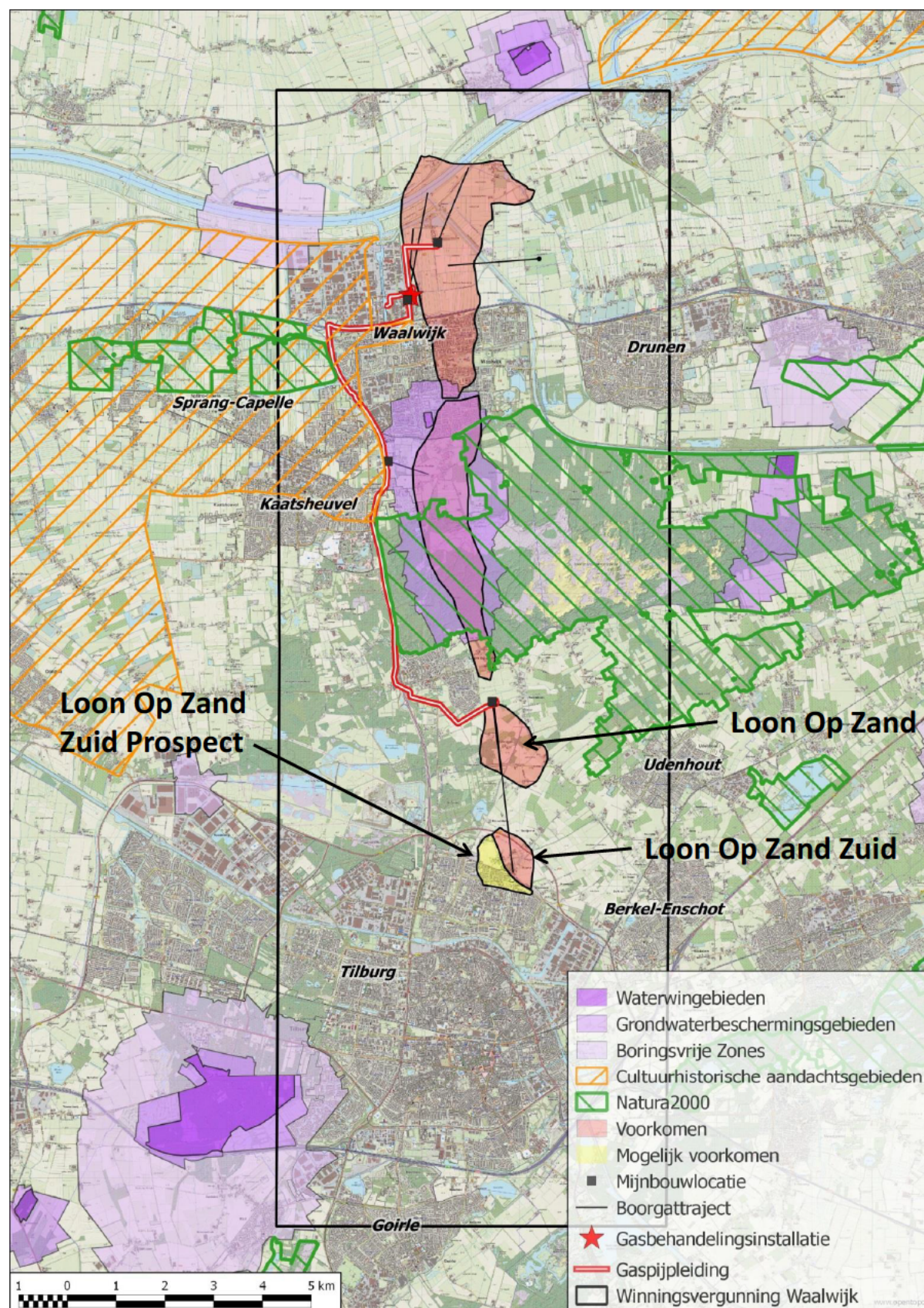
4.4 Andere gebruiksmogelijkheden van de ondergrond

Figuur 4-9 is een kaart met grondwaterbeschermingsgebied en boringsvrije zones rond de voorkomens in de winningsvergunning Waalwijk. Hieruit blijkt dat de voorkomens Loon Op Zand, Loon Op Zand Zuid en Loon Op Zand Zuid Prospect niet liggen onder één van deze gebieden.

Het Loon Op Zand Zuid Prospect ligt net onder de rand van de stad Tilburg.

Er is momenteel geen geothermie project in de directe omgeving van de gasvelden Loon Op Zand en Loon Op Zand Zuid en Loon Op Zand Zuid Prospect.

Gasopslag of zoutwinning, of andere gebruiksmogelijkheden zijn niet voorzien voor de gasvelden Loon Op Zand en Loon Op Zand Zuid en Loon Op Zand Zuid Prospect.



Figuur 4-9: Beschermd zones in en rond de winningsvergunning Waalwijk.

5 Ontwikkelingsvooruitzichten

5.1 Inleiding

De winningsvergunning Waalwijk ligt in de provincie Noord-Brabant.

Het Loon Op Zand voorkomen werd gevonden met put WWS-01 in 1991. Productie van dit veld startte in 1995 na constructie van een pijpleiding naar het Waalwijk gasbehandelingsstation.

Het Loon Op zand Zuid voorkomen werd gevonden met put WWS-02 in 2004. Deze put was geboord van dezelfde locatie als put WWS-01. Productie startte in januari 2005.

Dit winningsplan behandelt alleen de gasvelden Loon Op Zand, Loon Op Zand Zuid en het Loon Op Zand Zuid prospect.

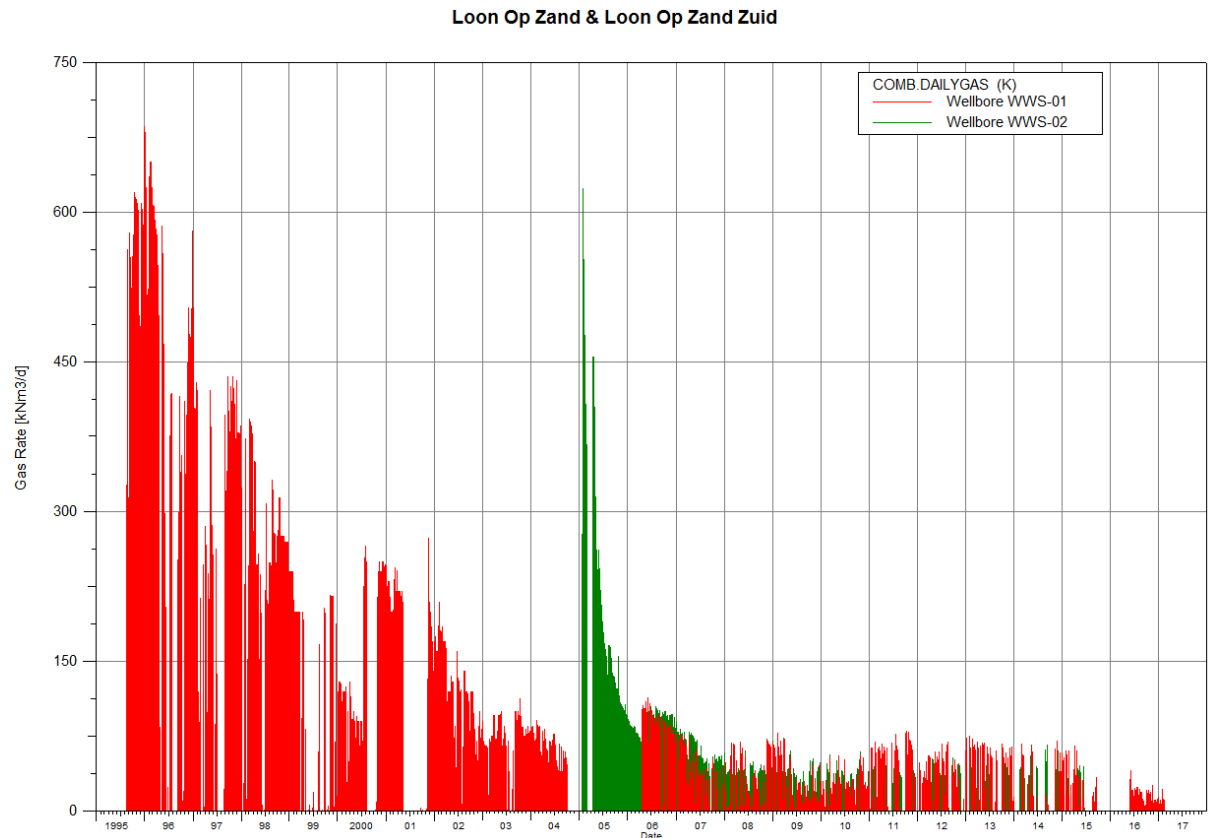
5.2 Historische Productie

Gasproductie uit het Loon Op Zand gasveld startte in 1995 met put WWS-01. Put WWS-01 werd gestimuleerd met een hydraulische frack in 2000.

In 2004 werd het veld Loon Op Zand Zuid aangeboord met put WWS-02. Productie uit dit veld startte in 2005. In deze begin periode was put WWS-01 ingesloten aangezien de pijpleiding druk te hoog was door productie van WWS-02 om WWS-01 ook te kunnen produceren. Vanaf 2006 werden de putten om beurten geproduceerd.

Eind 2015 / begin 2016 was het Waalwijk gasbehandeling station ingesloten voor onderhoud.

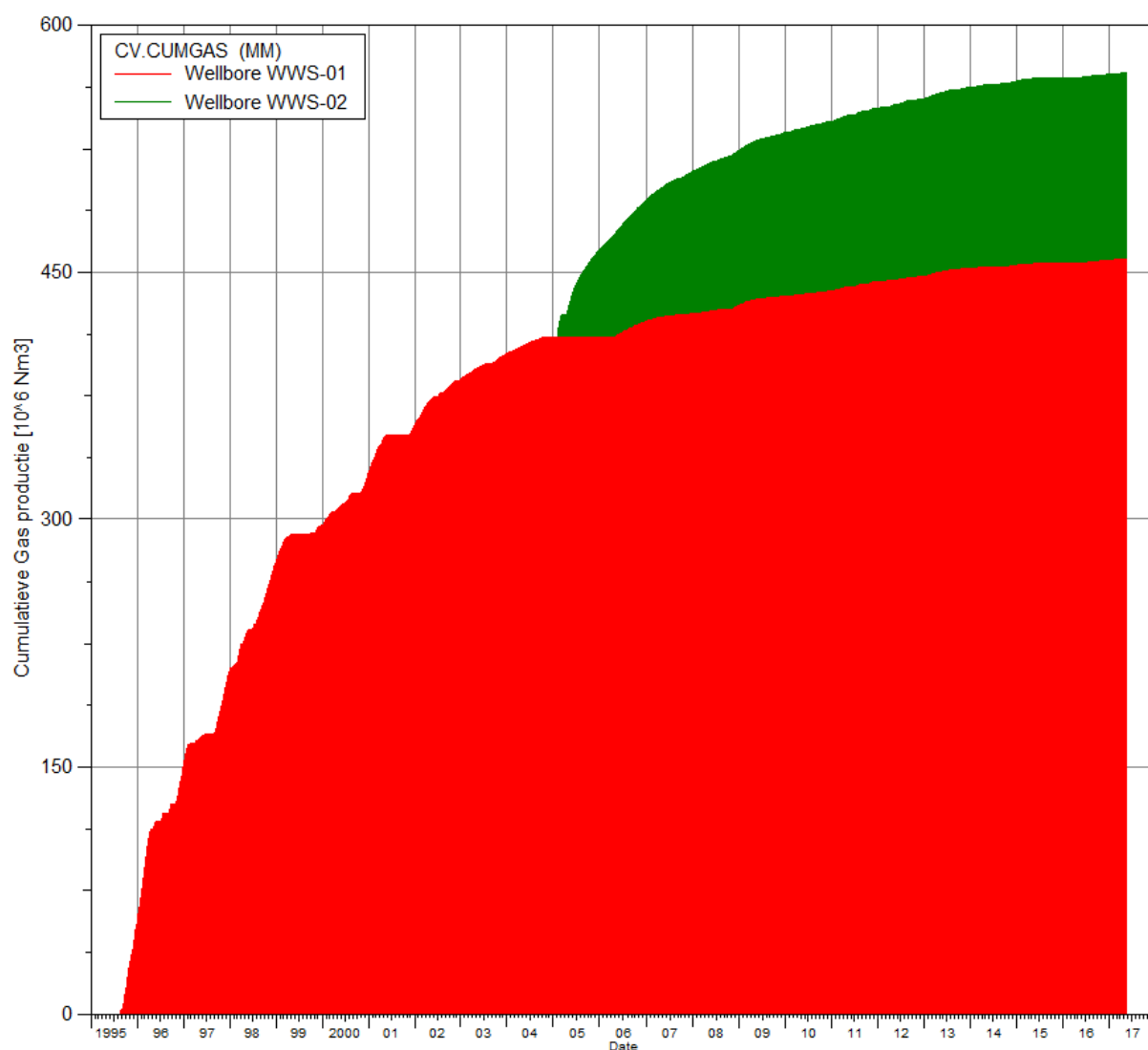
Figuur 5-1 laat de productie snelheden van de gasvelden zien. Figuur 5-2 laat de cumulatieve productie van de gasvelden zien.



Figuur 5-1: Productie snelheid historie Loon Op Zand en Loon Op Zand Zuid voorkomens.

Put WWS-01 heeft in het begin ongeveer 600.000 Nm³/d geproduceerd. Put WWS-02 heeft in het begin ongeveer 450.000 Nm³/d geproduceerd. Momenteel is de gezamenlijke productie circa 30.000 Nm³/d.

Loon Op Zand & Loon Op Zand Zuid



Figuur 5-2: Cumulatieve gasproductie historie Loon Op Zand en Loon Op Zand Zuid voorkomens.

Tot nu toe is circa 560 miljoen Nm³ geproduceerd uit de voorkomens Loon Op Zand en Loon Op Zand Zuid.

5.3 Onzekerheden

Gasproductie uit Loon Op Zand begon in 1995. Gasproductie uit Loon Op Zand Zuid begon in 2005. Er is dus redelijk veel data bekend van de voorkomens, maar er zijn ook nog steeds onzekerheden:

1. Hoe lang kan de bestaande put economisch verantwoord door produceren.
2. De hoeveelheid gas die daadwerkelijk gewonnen kan worden.
3. De grootte en productie snelheid van het Loon Op Zand Zuid prospect.

De onzekerheden zullen afnemen door monitoring van reservoir gedrag naarmate er meer geproduceerd wordt en nieuwe put gegevens beschikbaar komen.

5.4 Winnings-strategie & reservoir management

De winning vindt plaats door middel van natuurlijke stroming door de aanwezige reservoirdruk ('depletion drive'). De druk in de pijpleiding waarmee het gas wordt afgevoerd, wordt zo laag mogelijk gehouden door middel van compressie. Zo kan, ondanks de lagere druk in de formatie, het gas nog steeds toestromen. De reservoirprestaties worden gemonitord door:

- Regelmatige druk metingen;
- Water, condensaat en gasproductie metingen.

Een grote hoeveelheid gas is al onttrokken uit deze voorkomens. Mogelijk zullen in de toekomst put behandelingen plaatsvinden om de productiesnelheid op peil te houden, zoals zuurbehandeling, her-perforaties, toevoegen nieuwe perforaties, hydraulische stimulering, installeren van een kleinere diameter productiestijgbuis, toepassen van nog verdere compressie (zie ook Paragraaf 3.5).

Verder blijkt uit geologische berekeningen dat de hoeveelheid gas in het voorkomen Loon Op Zand Zuid groter moet zijn dan wat de productie van de put laat zien. Uit een evaluatie van de beschikbare putmetingen is gebleken dat niet alle gaslagen bijdragen aan de gasproductie in de put. Er zijn eventueel putbehandelingen, aftakkingen of nieuwe putten noodzakelijk om het gas te produceren dat niet door de huidige put wordt geproduceerd. VEN doet momenteel onderzoek wat de beste manier is om dit achtergebleven gas te produceren.

VEN is voornemens om het Loon Op Zand Zuid prospect aan te boren en indien het gas bevat te ontwikkelen. De voorlopige planning van de boring hangt af van wanneer de vergunningen worden verleend.

5.5 Winningssnelheid (hoeveelheden per voorkomen/per jaar)

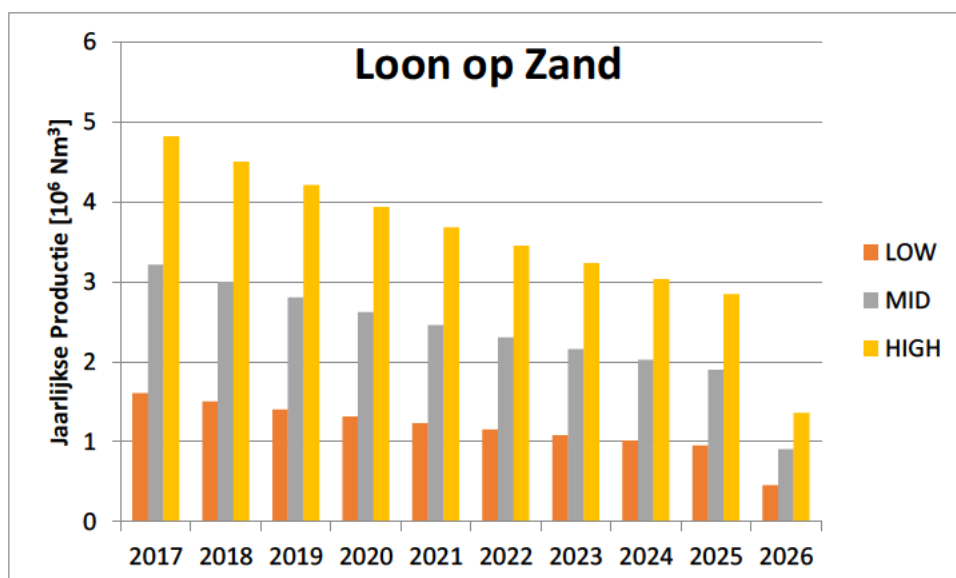
5.5.1 Loon Op Zand

Het verwachte productie profiel van Loon Op Zand voorkomen is hieronder weergegeven. Er zijn drie productieprofielen gegeven (Laag, Midden, Hoog) om de onzekerheid in tijd en volume aan te geven. De werkelijk gerealiseerde productie zal niet precies overeenkomen met (één van) de hieronder geschetste profielen. Deze profielen zijn dus indicatief.

Opgemerkt dient te worden dat de gegeven getallen jaargemiddelden zijn. Op een dag-basis kunnen dus andere waarden voorkomen.

De productie op de mijnbouwlocatie zal binnen de grenzen blijven die door de relevante vergunningen gesteld zijn. Zo begrenst de omgevingsvergunning de maximaal toegestane dagproductie (Hoofdstuk 8).

Eventueel kan er een put behandeling plaatsvinden om de productie te optimaliseren, zie Paragraaf 3.5.



Figuur 5-3: Loon Op Zand voorkomen productie voorspellingen.
In de HIGH case wordt net iets minder dan 5 miljoen Nm³ geproduceerd. Afhankelijk van de exacte momenten van activiteiten kan de piekproductie in de tijd verschuiven.

	LOW	MID	HIGH
	GAS	GAS	GAS
	VOLUME	VOLUME	VOLUME
YEAR	10 ⁶ Nm ³	10 ⁶ Nm ³	10 ⁶ Nm ³
2017	2	3	5
2018	2	3	5
2019	1	3	4
2020	1	3	4
2021	1	2	4
2022	1	2	3
2023	1	2	3
2024	1	2	3
2025	1	2	3
2026	0	1	1
[10⁶ Nm³]	12	23	35
Cum prod 31/dec/2016	457	457	457
GIIP [10⁶ Nm³]	500	559	671
RF	94%	86%	73%

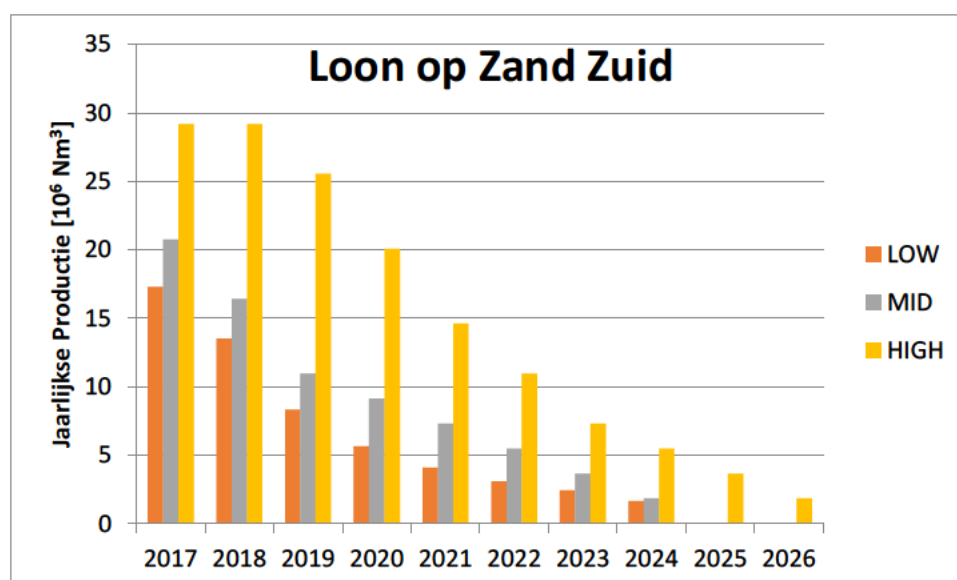
Tabel 5-1: Productiegetallen, conform Figuur 5-3, in miljoen nm³.
In de HIGH case wordt net iets minder dan 5 miljoen Nm³ geproduceerd. Afhankelijk van de exacte momenten van activiteiten kan de piekproductie in de tijd verschuiven.

5.5.2 Loon Op Zand Zuid

Het verwachte productie profiel van Loon Op Zand Zuid voorkomen is hieronder weergegeven. Er zijn drie productieprofielen gegeven (Laag, Midden, Hoog) om de onzekerheid in tijd en volume aan te geven. De werkelijk gerealiseerde productie zal niet precies overeenkomen met (één van) de hieronder geschetste profielen. Deze profielen zijn dus indicatief.

Opgemerkt dient te worden dat de gegeven getallen jaargemiddelden zijn. Op een dag-basis kunnen dus andere waarden voorkomen.

De productie op de mijnbouwlocatie zal binnen de grenzen blijven die door de relevante vergunningen gesteld zijn. Zo begrenst de omgevingsvergunning de maximaal toegestane dagproductie (Hoofdstuk 8).



Figuur 5-4: Loon Op Zand Zuid voorkomen productie voorspellingen. In de HIGH case wordt 29 miljoen Nm³ geproduceerd. Afhankelijk van de exacte momenten van activiteiten kan de piekproductie in de tijd verschuiven.

	LOW	MID	HIGH
	GAS	GAS	GAS
	VOLUME	VOLUME	VOLUME
YEAR	10 ⁶ Nm ³	10 ⁶ Nm ³	10 ⁶ Nm ³
2017	17	21	29
2018	13	16	29
2019	8	11	26
2020	6	9	20
2021	4	7	15
2022	3	5	11
2023	2	4	7
2024	2	2	5
2025	0	0	4
2026	0	0	2
[10⁶ Nm³]	56	75	148
Cum prod 31/dec/2016	113	113	113
GIIP [10⁶ Nm³]	209	265	324
RF	81%	71%	81%

Tabel 5-2: Productiegetallen, conform Figuur 5-4, in miljoen nm³.
In de HIGH case wordt 29 miljoen Nm³ geproduceerd. Afhankelijk van de exacte momenten van activiteiten kan de piekproductie in de tijd verschuiven.

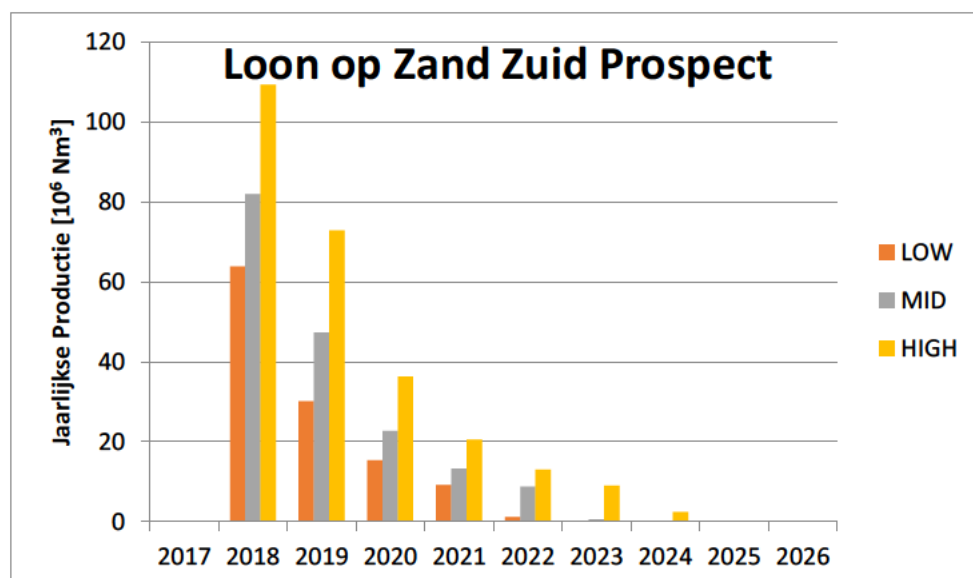
5.5.3 Loon Op Zand Zuid Prospect

VEN is voornemens om het Loon Op Zand Zuid prospect aan te boren en indien het gas bevat te ontwikkelen. De voorlopige planning van de boring hangt af van wanneer de vergunningen worden verleend.

Het verwachte productie profiel van Loon Op Zand Zuid Prospect is hieronder weergegeven. Hierbij wordt uitgegaan van een boring in 2018. Dit jaartal is indicatief. De exacte planning van de boring is nog niet bekend. Deze hangt af van het verlenen van de vergunningen om de boring te mogen ontplooiën. Er zijn drie productieprofielen gegeven (Laag, Midden, Hoog) om de onzekerheid in tijd en volume aan te geven. De werkelijk gerealiseerde productie zal niet precies overeenkomen met (één van) de hieronder geschetste profielen. Deze profielen zijn dus indicatief.

Opgemerkt dient te worden dat de gegeven getallen jaargemiddelden zijn. Op een dag-basis kunnen dus andere waarden voorkomen.

De productie op de mijnbouwlocatie zal binnen de grenzen blijven die door de relevante vergunningen gesteld zijn. Zo begrenst de omgevingsvergunning de maximaal toegestane dagproductie (Hoofdstuk 8).



Figuur 5-5: Loon Op Zand Zuid Prospect productie voorspellingen.
In de HIGH case wordt 110 miljoen Nm³ geproduceerd in 2018. Afhankelijk van het exacte moment van de boring van het Loon Op Zand Zuid Prospect kan de piek productie in de tijd verschuiven.

	LOW	MID	HIGH
	GAS	GAS	GAS
	VOLUME	VOLUME	VOLUME
YEAR	10 ⁶ Nm ³	10 ⁶ Nm ³	10 ⁶ Nm ³
2017	0	0	0
2018	64	82	110
2019	30	47	73
2020	15	23	36
2021	9	13	21
2022	1	9	13
2023	0	1	9
2024	0	0	2
2025	0	0	0
2026	0	0	0
[10 ⁶ Nm ³]	120	175	264
Cum prod 31/dec/2016	0	0	0
GIIP [10 ⁶ Nm ³]	159	214	283
RF	76%	82%	93%

Tabel 5-3: Productiegetallen, conform Figuur 5-5, in miljoen nm³.
In de HIGH case wordt 110 miljoen Nm³ geproduceerd in 2018. Afhankelijk van het exacte moment van de boring van het Loon Op Zand Zuid Prospect kan de piek productie in de tijd verschuiven.

5.6 Duur van de winning

Gezien de verschillende factoren die invloed hebben op de winning, is het moeilijk nauwkeurig te voorspellen hoe lang de winning nog kan worden voortgezet.

De grote onbekenden zijn de hoeveelheid gas die het Loon Op Zand Zuid Prospect zal aantonen en de te verwachten extra productie van putbehandelingen en eventueel boringen om het resterende gas wat berekend is in de voorkomens te vinden en te produceren. Indien succesvol zou de totale productie uit de voorkomens Loon Op Zand, Loon Op Zand Zuid en Loon Op Zand Zuid Prospect zich kunnen voortzetten tot december 2026.

Belangrijk voor het economisch verantwoord voortzetten van de winning uit de voorkomens Loon Op Zand, Loon Op Zand Zuid en Loon Op Zand Zuid Prospect, is de mate waarin het WTC op de mijnbouwlocatie Waalwijk-Noord op voldoende capaciteit kan draaien. Op dit moment wordt verwacht dat de gezamenlijke productie vanuit deze voorkomens en de andere voorkomens in het gebied van de winningsvergunning Waalwijk, aangevuld met eventuele nieuwe voorkomens, nog enkele jaren verantwoord in stand kan worden gehouden.

De productie zal worden gestopt als de totale productiekosten de productieopbrengsten zullen overstijgen en geen zicht meer is op het vinden en produceren van nieuwe gasvolumes die via het WTC op de mijnbouwlocatie Waalwijk-Noord geproduceerd zouden kunnen worden. Einde van de productie zou eerder of later kunnen plaatsvinden als gevolg van onverwachte technische, geologische, geofysische of andere oorzaken.

De einddatum van productie is dus onzeker, niet alleen doordat er onzekerheden in de analyse van de ondergrond zitten, maar ook doordat toekomstige operationele ontwikkelingen niet allemaal voorspeld kunnen worden.

5.7 Jaarlijks eigengebruik bij winning

Er zal geen eigen gebruik zijn van koolwaterstoffen op locatie.

5.8 Jaarlijks bij winning afgeblazen/afgefakkelde koolwaterstoffen

De hoeveelheid afgefakkeld en afgeblazen aardgas is marginaal en beperkt zich tot hoeveelheden die verloren gaan bij het druk-vrij maken van het systeem in verband met geplande onderhouds- en inspectiewerkzaamheden.

5.9 Stoffen die jaarlijks worden mee geproduceerd

Tabel 5-4 is een gedetailleerde analyse van het Loon Op Zand gas; het is een gas monster van put WWS-01.

Tabel 5-5 is een gedetailleerde analyse van het Loon Op Zand Zuid gas; het is een gas monster van put WWS-02.

Het gas van deze voorkomens heeft ongeveer dezelfde compositie.

Het Loon Op Zand Zuid Prospect is nog niet aangeboord. De verwachting is dat het dezelfde gas compositie zal hebben als Loon Op Zand Zuid voorkomen.

Tabel 5-4: Gedetailleerde gas analyse van put WWS-01.



**CORE
LABORATORIES**
Advanced Technology Centre

LOZ

Page 11 of 26

File RFLA 910182

Well Waalwijk S 1 DST 2

HYDROCARBON ANALYSIS OF SEPARATOR PRODUCTS TO DODECANES PLUS

AND CALCULATED WELLSTREAM

SAMPLES 2.28, 2.29

Component	Separator Liquid Mole%	Separator Gas Mole%	GPM	Wellstream Mole %	GPM
Hydrogen sulphide	0.00	0.00		0.00	
Carbon dioxide	0.28	1.56		1.55	
Nitrogen	0.03	1.58		1.56	
Methane	7.34	88.61		87.83	
Ethane	2.42	5.40	1.441	5.37	1.433
Propane	1.57	1.60	0.440	1.60	0.440
i-Butane	0.71	0.23	0.075	0.23	0.075
n-Butane	1.75	0.42	0.132	0.43	0.135
i-Pentane	1.24	0.12	0.044	0.13	0.047
n-Pentane	1.78	0.13	0.047	0.15	0.054
Hexanes	4.96	0.13	0.050	0.18	0.070
Heptanes	10.64	0.14	0.089 *	0.24	0.545 *
Octanes	14.72	0.07		0.21	
Nonanes	10.52	0.01		0.11	
Decanes	9.09	0.00		0.09	
Undecanes	6.98	0.00		0.07	
Dodecanes plus	25.97	0.00		0.25	
Totals :	100.00	100.00	2.318	100.00	2.799

Tabel 5-5: Gedetailleerde gas analyse van put WWS-02.

GASSAMENSTELLING EN FYSISCHE KENGROOTHEDEN

Datum 10.03.2014



Samplenummer	EXT-1403-005	Cilindernummer	8	
Plaats	VERMILION OIL & GAS NETHERL	Monsterdatum van	20.02.2014	tot
Monstercode	A-695-NM-0511-AY	Analist	AJB-PROD	
Klantnaam	Vermilion Oil & Gas the Netherlar	Analysedatum	03.03.2014	
Soort Monster	Extern	Apparaat	GC1	

Analyse volgens ISO 6974

Component	mol %
HELIUM	0.057
WATERSTOF	0.000
ZUURSTOF	0.000
STIKSTOF	2.112
KOOLSTOFDIOXIDE	1.371
METHAAN	85.998
ETHAAN	6.082
N-PROPAAN	2.209
2-METHYLPROPAAN	0.357
N-BUTAAN	0.585
2,2-DIMETHYLPROPAAN	0.006
2-METHYLBUTAAN	0.196
N-PENTAAN	0.202
CYCLOPENTAAN	0.000
2,2-DIMETHYLBUTAAN	0.009
2,3-DIMETHYLBUTAAN + 2-METHYLPENT	0.092
3-METHYLPENTAAN	0.037
N-HEXAAN	0.104
CYCLOHEXAAN	0.097
BENZEEN	0.033
HEPTAAN	0.190
METHYLCYCLOHEXAAN	0.108
TOLUEEN	0.043
OCTAAN	0.110

Totaal van de componenten 100.000

Berekeningen volgens ISO 6976 - 1995 (Tabel 3)

CALORISCHE BOVENWAARDE	44.25	MJ/m3
CALORISCHE ONDERWAARDE	40.07	MJ/m3
HI/HS	0.9056	
WOBBE INDEX	53.96	MJ/m3
RELATIEVE DICHTHEID	0.6723	
DICHTHEID	0.8692	kg/m3

Opmerking

Field: LOZ 2
Monster bevat condensaat.

Met het aardgas worden water (condenswater en formatiewater) en aardgascondensaat mee geproduceerd. Deze productiehoeveelheid is afhankelijk van de gasproductiesnelheid. In de tabel hieronder is een schatting gemaakt van de meegeproduceerde hoeveelheden. Deze worden weergegeven als verhoudingsgetal per miljoen Nm³ geproduceerd aardgas.

Tabel 5-6: Maximum water- en condensaat productie-verwachtingen voor de voorkomens Loon Op Zand, Loon Op Zand Zuid en Loon Op Zand Zuid Prospect.

Mee geproduceerde stoffen	
Water productie	Max 10-50 m ³ /10 ⁶ Nm ³
Aardgascondensaat	35 m ³ /10 ⁶ Nm ³

5.10 Jaarlijks bij winning in de ondergrond terug te brengen delfstoffen en andere stoffen

In de gasvoorkomens Loon Op Zand en Loon Op Zand Zuid en Loon Op Zand Zuid Prospect worden geen delfstoffen of andere stoffen geïnjecteerd, opgeslagen of op andere manier terug in de ondergrond gebracht.

Het geproduceerde water wordt opgeslagen op de mijnbouwlocatie Loon Op Zand locatie en per vrachtwagen afgevoerd om verwerkt te worden door een erkende verwerker.

Het aardgascondensaat wordt, samen met het aardgas, via een ondergrondse transportleiding getransporteerd naar het WTC op de mijnbouwlocatie Waalwijk. Het geproduceerde aardgascondensaat wordt opgeslagen op het WTC en per vrachtwagen als grondstof afgevoerd naar de petrochemische industrie.

6 Bodemdaling

De bodemdalingsresultaten zijn de dalingen bij de uiteindelijke gasvoorkomen einddruk, dat wil zeggen, aan het eind van de levensduur van het gasvoorkomen. De modellen laten zien dat de maximale bodemdaling in het diepste punt van de bodemdalingskom boven de voorkomens Loon Op Zand, Loon Op Zand Zuid en Loon Op Zand Zuid Prospect minder dan 1 cm zal zijn.

Uit de laatste bodemdaling metingen in 2013 bleek dat de maximale daling boven het Loon Op Zand veld 5 mm was en boven het Loon Op Zand Zuid veld 2 mm (zie Ref. 9).

De bodemdaling van de voorkomens Loon Op Zand, Loon Op Zand Zuid en Loon Op Zand Zuid Prospect wordt beïnvloed door de bodemdalingskom van het noordelijk gelegen voorkomen Sprang. De invloed van het Sprang voorkomen is in de berekeningen meegenomen.

6.1 Inleiding: hoe komt bodemdaling tot stand

6.1.1 Gaswinning

Aardgas zit op ongeveer 2 kilometer diepte onder druk in een poreuze gesteentelaag, zoals zandsteen- of kalksteenlagen. Het gasvoorkomen wordt afgesloten door een niet-doorlatend gesteente, bijvoorbeeld een kleisteen of steenzout.

De lagen zijn in het algemeen over grote afstanden aanwezig. Door tektonische bewegingen in de geologische geschiedenis zijn er golvingen ontstaan in de lagen. Het gas zal, omdat het lichter dan water is, zich verzamelen in de hoogste punten; boringen zullen dan ook op zulke punten gericht zijn.

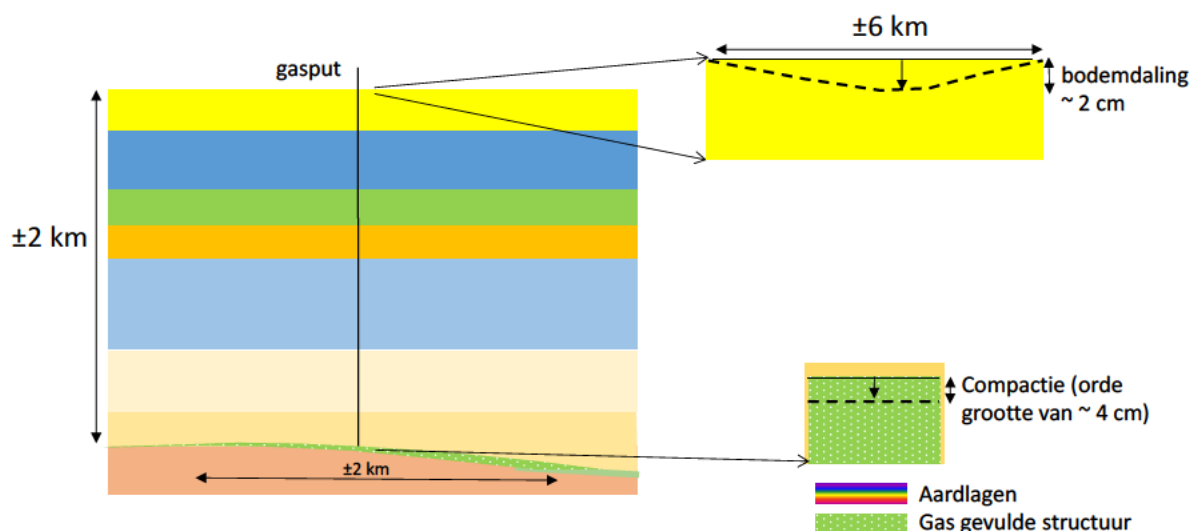
Bij gaswinning laat men het gas ontsnappen door een put die in het hoogste punt van het gasvoorkomen geplaatst wordt. Als gevolg van het ontsnappen van het gas zal de druk in het voorkomen dalen. De winning stopt als de druk zo laag is dat er onvoldoende gas door de put naar boven stroomt, of als de drukdaling ertoe leidt dat het gesteente van het gasvoorkomen volloopt met water.

6.1.2 De oorzaken van bodemdaling

Het gevolg van de drukdaling in het gasvoorkomen is dat het gasvoorkomen compacteert, d.w.z. dat de poriën een klein beetje in elkaar worden gedrukt als gevolg van het gewicht van de bovenliggende aardlagen doordat de tegendruk van het gas vermindert.

De compactie hangt af van de gesteente-eigenschappen, en van de hoeveelheid drukdaling. Een vuistregel is dat de compactie 0,1 % tot 0,2% van de hoogte van het gasvoorkomen bedraagt bij maximale drukdaling in het gasvoorkomen.

Als het gasvoorkomen compacteert op ± 2 km diepte, zullen ook de lagen erboven een beetje zakken. Bij dat dalingsproces, verdeelt het volume van de compactie zich enigszins, zodat aan de oppervlakte een bodemdalingskom ontstaat. De dalingskom heeft de vorm van een heel platte schotel. Aan de randen gaat de daling naar nul, in het midden vindt de grootste daling plaats. Het volume van de kom is ongeveer even groot als de volumeverandering van het gasvoorkomen. Het oppervlak van de kom is groter dan het oppervlak van het gasvoorkomen; aan alle kanten komt er een afstand bij ongeveer gelijk aan de diepte van het gasvoorkomen. Hierdoor is de bodemdaling op het diepste punt van de kom aan de oppervlakte minder dan de compactie op ± 2 km diepte in het gasvoorkomen. Figuur 6-1 geeft dit schematisch weer voor een gasvoorkomen op 2 km diepte met een doorsnede van 2 km.

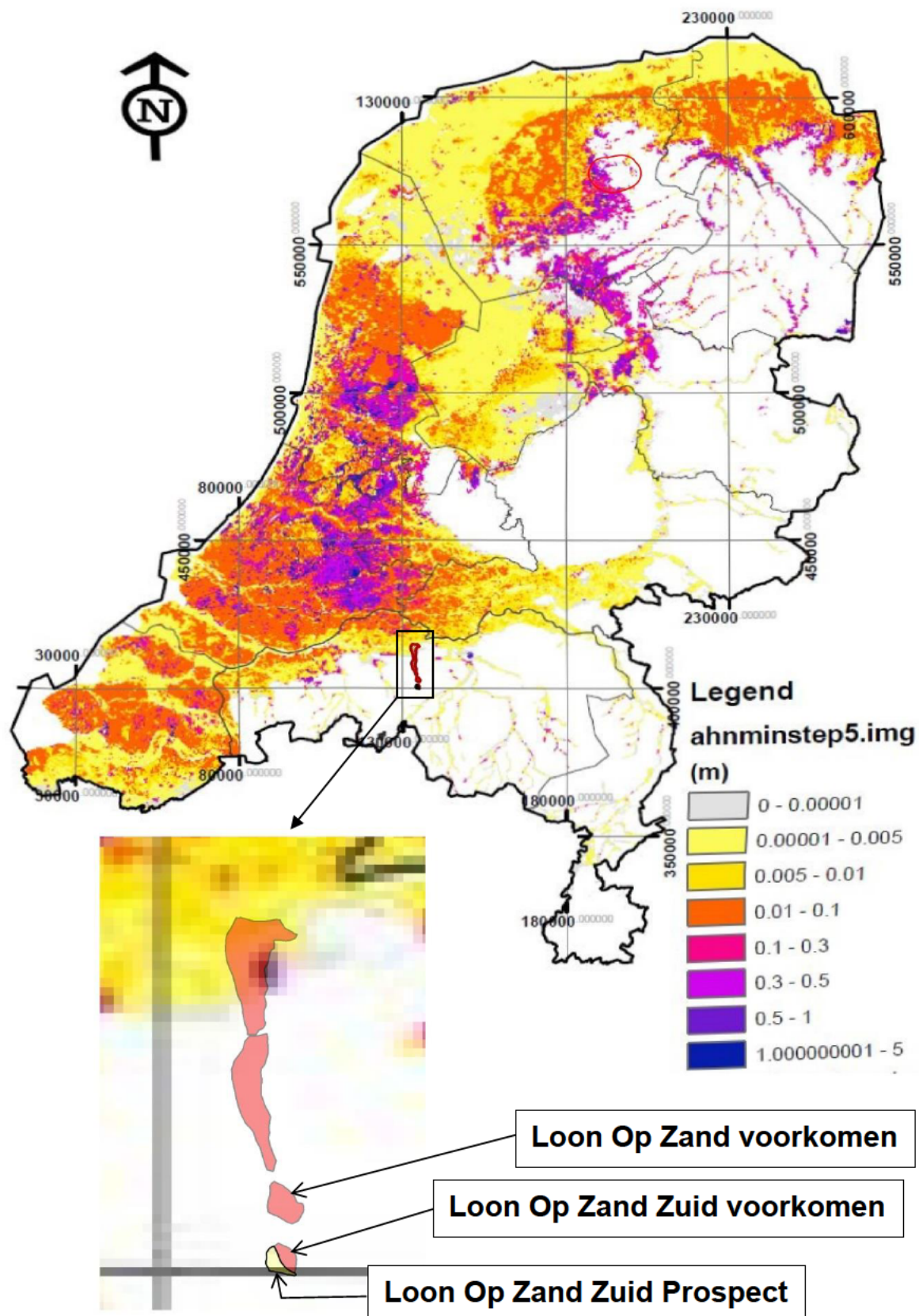


Figuur 6-1: Schetsmatige, generieke, doorsnede van een gasvoorkomen.

6.1.3 Autonome bodemdaling

Naast bodemdaling door gas- en zoutwinning, vindt er ook zgn. *autonome* bodemdaling plaats. Dat gebeurt door verschillende mechanismes, waar veen- en klei-inklinking er een van is. Autonome bodemdaling is bijvoorbeeld door Deltares in kaart gebracht, zie Figuur 6-2. Die bodemdaling is gerelateerd aan de samenstelling van de ondiepere ondergrond (bijvoorbeeld aan de aanwezigheid van veen en klei). Boven de voorkomens Loon Op Zand en Loon Op Zand Zuid alsook boven het Loon Op Zand Zuid Prospect is er volgens deze kaart geen autonome daling over een periode van 50 jaar, zie Figuur 6-2.

Verder heeft het meetplan, zie Paragraaf 6.1.4, ook een aantal meetpunten buiten de invloedssfeer van de gasvoorkomens Loon Op Zand, Loon Op Zand Zuid en Loon Op Zand Zuid Prospect. De analyse van deze punten laat de autonome daling van het gebied zien. Deze meetpunten laten een autonome daling zien van 0.8 cm over een periode van 1995 tot 2013 rond het gasvoorkomen Loon Op Zand [Ref. 10].



Figuur 6-2: Autonome bodemdaling 50 jaar na 2011 (Deltares, Ref 1).
De schaal is in m. De inzet is een uitvergroting op de voorkomens Loon Op Zand en Loon Op Zand Zuid en het Loon Op Zand Zuid Prospect.

6.1.4 Meten en voorspellen van bodemdaling

In het kader van de bodemdaling ten gevolge van gaswinning moet een meetplan opgesteld worden. Hierbij wordt de bodemdaling in een ruim gebied gemeten. Dat gebeurt door waterpassing, vaak aangevuld met GPS metingen op specifieke locaties. Voor het opstellen van een meetplan zijn er regels, vastgesteld door de TCBB. De frequentie van de metingen wordt gekozen in overeenstemming met bestaande regels en richtlijnen. Het plan wordt ter controle aan het SodM toegestuurd. De meetresultaten, de meetregisters, worden op compleetheid en juiste uitvoering gecontroleerd door Rijkswaterstaat en daarna gedeeld met SodM.

De nauwkeurigheid van deze metingen hangt af van de specifieke vorm van het meetnet, en van de mogelijkheid goed gefundeerde peilmerken te plaatsen. In het algemeen zullen de metingen een onnauwkeurigheid van 2-5 mm hebben. Bij de analyse van de metingen moet dan nog bekeken worden in welke mate ze door autonome bodemdaling beïnvloedt worden.

Als de bodemdalingsgebieden van verschillende voorkomens overlappen, dan zullen ook de meetplannen overlappen. In sommige gevallen kan er dan voor gekozen worden de meetplannen samen te voegen.

Voorafgaand aan de winning wordt een model gemaakt om de bodemdaling te voorspellen. De complexiteit van het model zal afhangen van de complexiteit van de ondergrondsituatie. De parameters in het model zijn gebaseerd op ervaringen in eerdere, soortgelijke, voorkomens. De voorspelde bodemdaling wordt vastgelegd in het winningsplan.

Omdat het diepte-verloop van de lagen alleen indirect gemeten kan worden, en de eigenschappen van de gesteentelagen maar op enkele punten bekend zijn (uit eerdere boringen), zijn er onzekerheden in de voorspellingen voor de grootte van een gasvoorkomen. In veel gevallen zal het voorafgaand aan de boring niet zeker zijn of er wel gas aanwezig is.

Er is onzekerheid over de uitgebreidheid van het gasvoorkomen. Daarnaast zal er enige onzekerheid zijn over specifieke parameters (zoals samendrukbaarheid) van het gesteente. Het gevolg is dat de dalingsvoorspelling door onzekerheidsmarges omgeven zijn. Deze onzekerheidsmarges worden in het winningsplan besproken.

Mocht de gemeten bodemdaling onverhoopt niet binnen de in het winningsplan aangegeven grenzen verlopen, dan wordt in overleg met SodM besproken worden hoe daarmee om te gaan.

6.2 Bodemdalingsmodel en Historische bodemdaling

Productie uit de voorkomens in de winningsvergunning Waalwijk is gestart in 1991. Er zijn sindsdien 4 bodemdalingsmetingen verricht: 1991 (de nulmeting), 1995, 2001 en 2013. De bodemdalingsmetingen worden uitgevoerd voor de winningsvergunning Waalwijk als geheel.

Referentie 10 geeft een analyse van de bodemdaling in de winningsvergunning Waalwijk. Er wordt verwezen naar deze analyse voor een volledig historisch overzicht.

De te verwachten bodemdaling is berekend aan de hand van de publicatie van G.H.C. van Opstal [Ref. 7]. Deze methode is verwerkt in het computer programma MATLAB, volgens een methode die door TNO opgezet is, en door SodM goedgekeurd. Voor de diverse parameters die van belang zijn in de bodemdaling, zoals de compactie-coëfficiënt, zijn onzekerheidsmarges aangenomen. De resultaten worden door SodM en TNO gecontroleerd.

Referentie 10 geeft een analyse van de bodemdaling in de winningsvergunning Waalwijk. Hierin worden ook de parameters van het model weergegeven en de resultaten vergeleken met de historische metingen. Er wordt verwezen naar deze analyse voor een volledig overzicht. Dit model komt overeen met de gemeten bodemdalingsmetingen. Dit is een "historie matched" model.

Op basis van het historie matched model, is een voorspelling gemaakt van de bodemdaling. Tabel 6-1, Tabel 6-2 en Tabel 6-3 geven de input parameters voor deze voorspelling. Deze voorspelling

geeft de omvang van de bodemdaling zoals die verwacht wordt op basis van de extra werkzaamheden in het veld en het aanboren en produceren van het Loon Op Zand Prospect.

Tabel 6-1: Gasvoorkomen Loon Op Zand input parameters voor bodemdalingsvoorspellingen.

Parameter	Waarde
Gemiddelde reservoir diepte [m]	2750
Dikte producerende lagen [m]	56.7
Initiële reservoir druk [bara]	288
Reservoir eind druk [bara]	Abandonment: 15 bara
Gesteente compressibiliteit [1/bar]	1×10^{-6} / $2,25 \times 10^{-6}$ / $3,5 \times 10^{-6}$ (LOW / MID / HIGH)
Poisson ratio [-]	0.25
Basement stijfheid factor [-]	1.05

Tabel 6-2: Gasvoorkomen Loon Op Zand Zuid input parameters voor bodemdalingsvoorspellingen.

Parameter	Waarde
Gemiddelde reservoir diepte [m]	2640
Dikte producerende lagen [m]	44.2
Initiële reservoir druk [bara]	278
Reservoir eind druk [bara]	Abandonment: 15 bara
Gesteente compressibiliteit [1/bar]	1×10^{-6} / $2,25 \times 10^{-6}$ / $3,5 \times 10^{-6}$ (LOW / MID / HIGH)
Poisson ratio [-]	0.25
Basement stijfheid factor [-]	1.05

Tabel 6-3: Gasvoorkomen Loon Op Zand Zuid Prospect input parameters voor bodemdalingsvoorspellingen.

Parameter	Waarde
Gemiddelde reservoir diepte [m]	2640
Dikte producerende lagen [m]	40
Initiële reservoir druk [bara]	278
Reservoir eind druk [bara]	Abandonment: 15 bara
Gesteente compressibiliteit [1/bar]	1×10^{-6} / $2,25 \times 10^{-6}$ / $3,5 \times 10^{-6}$ (LOW / MID / HIGH)
Poisson ratio [-]	0.25
Basement stijfheid factor [-]	1.05

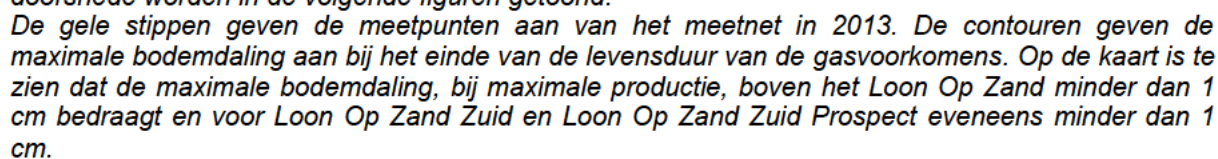
Figuur 6-3 geeft een kaart van de winningsvergunning Waalwijk met de gasvoorkomens en in paars 3 lijnen van doorsnede. De gele cirkels zijn de meetpunten van het meetplan voor de winningsvergunning Waalwijk, zoals gemeten in 2013.

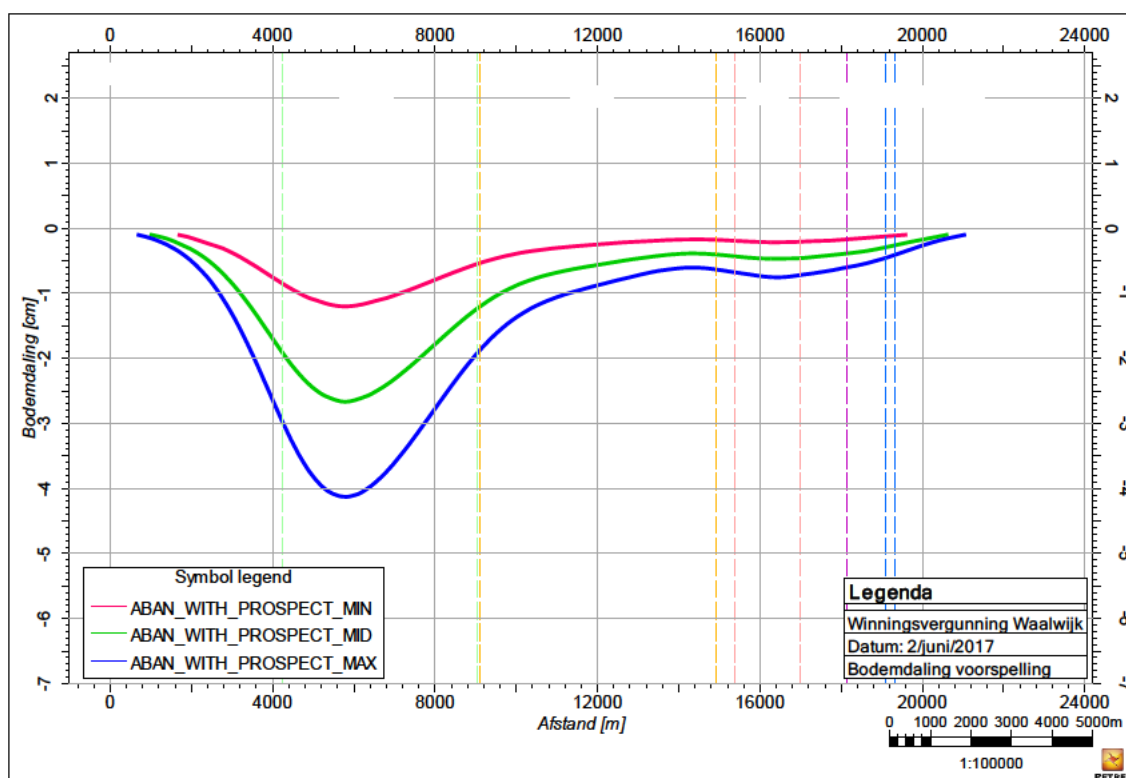
Figuur 6-4 geeft een Noord-Zuid doorsnede door de winningsvergunning Waalwijk met daarop aangegeven de locatie van de gasvoorkomens. De kleuren van de lijnen geven de onzekerheden weer.

Figuur 6-5 geeft een West-Oost doorsnede door het voorkomen Loon Op Zand.

Figuur 6-6 geeft een West-Oost doorsnede door het voorkomen Loon Op Zand Zuid en het Loon Op Zand Zuid Prospect.

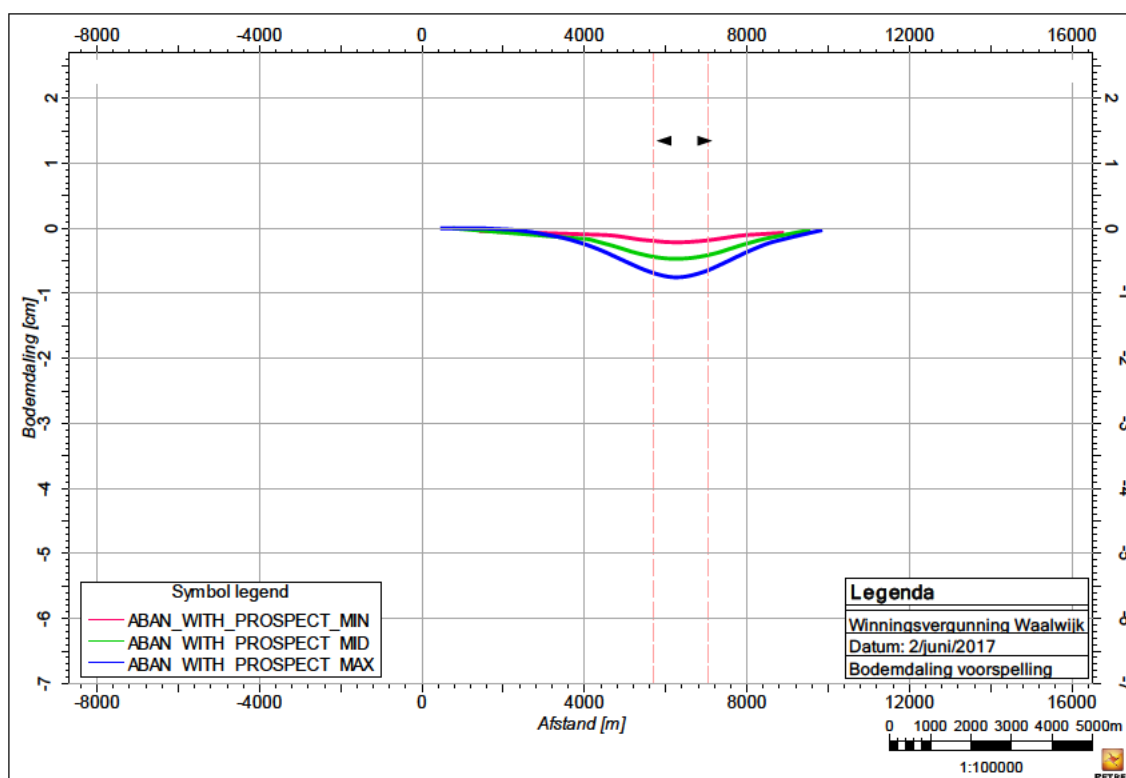
De bodemdalingsresultaten zijn de dalingen bij de uiteindelijke gasvoorkomen einddruk, dat wil zeggen, aan het eind van de levensduur van het gasvoorkomen. De voorspelde bodemdaling boven de voorkomens Loon Op Zand en Loon Op Zand Zuid en het Loon Op Zand Zuid Prospect zal minder dan 1 cm zijn.





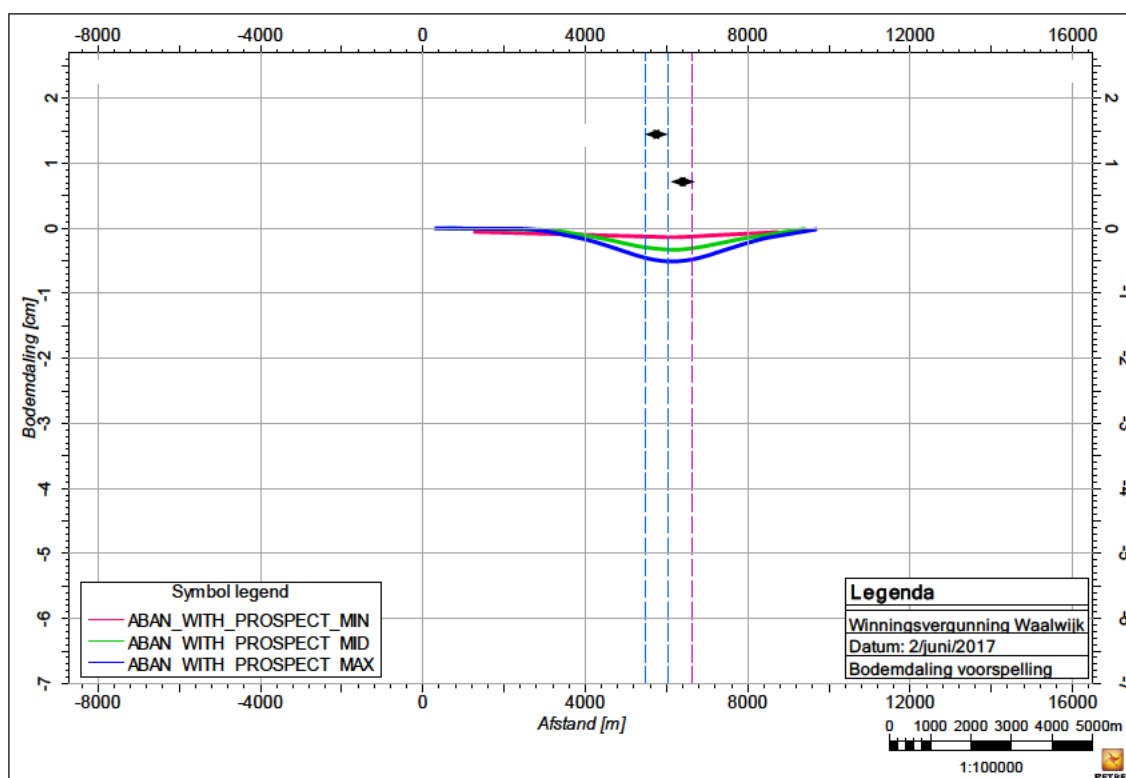
Figuur 6-4: Noord-Zuid doorsnede met voorspelde bodemdaling bij reservoir einddruk.

De voorspelde bodemdaling boven de velden Loon Op Zand en Loon Op Zand Zuid en het Loon Op Zand Zuid Prospect ligt tussen de 0,2 en 0,8 cm op het diepste punt van de dalingskom.



Figuur 6-5: West-Oost doorsnede Loon Op Zand met voorspelde bodemdaling bij reservoir einddruk.

De kleuren geven de onzekerheden weer. De voorspelde bodemdaling boven het voorkomen Loon Op Zand ligt tussen de 0,2 en 0,8 cm op het diepste punt van de dalingskom.



Figuur 6-6: West-Oost doorsnede Loon Op Zand Zuid en Loon Op Zand Zuid prospect met voorspelde bodemdaling bij reservoir einddruk.

De kleuren geven de onzekerheden weer. De voorspelde bodemdaling boven het voorkomen Loon Op Zand Zuid en het Loon Op Zand Zuid Prospect ligt tussen de 0,2 en 0,5 cm op het diepste punt van de dalingskom.

6.3 Bodemdalingsvooruitzichten en onzekerheid

Er is een onzekerheid in de uiteindelijk verwachte bodemdaling. De onzekerheid voor de velden Loon Op Zand, Loon Op Zand Zuid en Loon Op Zand Zuid Prospect zitten voornamelijk in de gesteente compressibiliteit, welk gedeelte van het reservoir produceert en de aanwezigheid van het Loon Op Zand Zuid Prospect. In de berekeningen is uitgegaan van maximale drukdaling (depletie) van deze voorkomens. Verder zijn er 3 waarden voor gesteente compressibiliteit gebruikt; zie Paragraaf 6.2 voor de details.

De modellen laten zien dat de maximale bodemdaling in het diepste punt van de bodemdalingskom boven de voorkomens Loon Op Zand, Loon Op Zand Zuid en Loon Op Zand Zuid Prospect volgens het model minder dan 1 cm zal zijn.

Figuur 6-3 laat de contour lijnen zien van het MAX case model bij gasvoorkomen einddruk.

6.4 Monitoring van bodemdaling

Het monitoren van bodemdaling gebeurt door één keer in de vijf jaar een vlakdekkende waterpasmetering uit te voeren. De meest recente vlakdekkende waterpasmetering was in 2013. De volgende is voorzien in 2018.

De resultaten van de metingen, de meetregisters, worden gedeeld en besproken met SodM, en dat geldt ook voor de analyses die Vermilion van de resultaten maakt.

6.5 Mogelijke gevolgen van de verwachte bodemdaling

Bodemdaling verloopt zeer geleidelijk, ook als de kommen samengesteld zijn. Bodemdaling door gaswinning manifesteert zich aan de oppervlakte in de vorm van een platte, zeer gelijkmatige schotel, die met het oog niet te zien is. Die schotel heeft een zeer geringe helling. De helling is niet meer dan ten hoogste een paar centimeter over een afstand van enkele km's. Dit kan berekend worden uit de lijnen in Figuur 6-5. De lijn met maximale bodemdaling laat op het steilste stuk zien dat de bodemdaling 1 cm is over een afstand van 4000 meter. Dit is 1 mm over een afstand van 400 meter. Zo'n helling is niet merkbaar, en heeft geen effecten op bebouwing.

Bodemdaling is een geleidelijk proces. De opbouw van de dalingskom aan het oppervlak duurt jaren, zodat er geen plotselinge veranderingen plaatsvinden.

Vanwege het geleidelijke verloop en de minimale helling van de bodemdalingskom worden geen nadelige gevolgen verwacht voor gebouwen, infrastructuur, en voor natuur en milieu.

Bij de geringe dalingen die hier verwacht worden, wordt ook niet verwacht dat de bodemdaling significante gevolgen heeft voor het normale beheer en het onderhoud van waterkeringen en waterlopen, en van het waterpeil.

Gezien het bovenstaande wordt niet verwacht dat er nadelige effecten op Natura 2000 en milieubeschermingsgebieden zullen optreden als gevolg van de aardgasproductie.

6.6 Maatregelen om (gevolgen van) bodemdaling te voorkomen of te beperken

Vanwege de geringe maximale bodemdaling, worden geen nadelige gevolgen voorzien, en wordt er niet voorzien in (extra) maatregelen om (gevolgen van) bodemdaling te voorkomen of te beperken.

Mochten de dalingsmetingen die volgens het meetplan uitgevoerd worden, afwijken van de voorspelde waarden, dan zal gehandeld worden als hierboven beschreven.

Indien als gevolg van bodemdaling door gaswinning toch schade ontstaat, dan zal deze door Vermilion worden vergoed overeenkomstig de regels van het burgerlijk recht.

7 Bodemtrilling

De seismische risicoanalyse laat zien dat de voorkomens Loon Op Zand, Loon Op Zand Zuid en Loon Op Zand Zuid Prospect vallen in risico categorie I; dit is de laagste seismische risicocategorie.

7.1 Inleiding: hoe komen bevingen ten gevolge van gaswinning tot stand

Als gevolg van de compactie, het zakken van het gasvoorkomen-gesteente door de drukdaling als gevolg van de gaswinning, ontstaan er kleine verplaatsingen in de diepe ondergrond. Als deze verplaatsingen langs een breuk plaatsvinden, gebeurt het soms dat het gesteente aan weerszijden van de breuk ten opzichte van elkaar beweegt. Dit veroorzaakt een aardbeving. Zo'n beving wordt een geïnduceerde beving genoemd om aan te geven dat hij door menselijk handelen is veroorzaakt. Als gevolg van het feit dat deze trillingen ontstaan door bewegingen langs de breukvlakken in of nabij aardgasvoorkomens, zal het bronpunt van de beving, het zogeheten hypocentrum, op enkele kilometers diepte liggen, terwijl natuurlijke bevingen over het algemeen een veel dieper hypocentrum hebben. Op basis van de diepte van de beving kan het KNMI onderscheiden of een beving veroorzaakt is door gaswinning of een natuurlijke oorzaak heeft.

Hoe groter de compactie van het gasvoorkomen, hoe groter de kans dat er significante zettingsverschillen over een breuk plaatsvinden. Voor bevingen is het dus van belang of en wat voor breuken in de gesteentelagen in (de buurt van) het gasvoorkomen aanwezig zijn. Bij de afschatting van de kans op bevingen wordt dan ook naar de drukdaling en de daaropvolgende compactie gekeken. Daarnaast wordt de breuk-configuratie geanalyseerd, en de stijfheid van het gesteente. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een analyseprotocol dat door SodM in samenwerking met TNO ontwikkeld is [Ref. 5].

Naast de ondergrondsituatie, wordt in dat protocol ook de situatie aan het oppervlak bekeken. De aard van de bebouwing en infrastructuur in de omgeving van het voorkomen wordt meegewogen. Bij de effecten die aan de oppervlakte merkbaar zijn, speelt niet alleen de sterkte en de diepte van de beving een rol, maar ook de samenstelling van de ondiepe ondergrond. Met name bepaalde zand-veencombinaties kunnen extra gevoeligheid veroorzaken. Als de kans op significante bevingen aanwezig is, wordt dus ook met de grondsamenstelling rekening gehouden bij de afschatting van aardbevingsrisico's.

7.2 Historische bevingen in de voorkomens van dit winningsplan

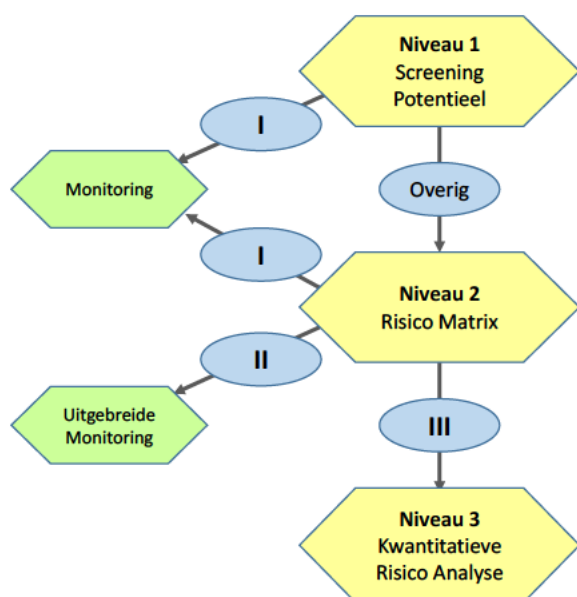
Het KNMI beheert de dataset met aardbevingen in Nederland, zie www.knmi.nl.

Er hebben zich geen historische bevingen ten gevolge van gaswinning voorgedaan in de Waalwijk concessie.

7.3 Seismische Risico Analyse

Het kader en de hier beschreven methodiek is gebaseerd op: Methodiek Voor Risicoanalyse Omtrent Geïnduceerde Bevingen Door Gaswinning; Tijdelijke Leidraad Voor Adressering Mbb. 24.1.P, Versie 1.2, 1 februari 2016, Staatstoezicht op de Mijnen [Ref. 5].

Om het seismisch risicoprofiel vast te stellen van een voorkomen wordt een risico analyse uitgevoerd voor het voorkomen volgens een getrapt model welke bestaat uit drie stappen. Deze drie stappen worden weergegeven in Figuur 7-1. Op basis van de uitkomsten van de verschillende individuele stappen worden vervolgstappen genomen.



Figuur 7-1: Weergave van de verschillende stappen in de seismisch risico analyse (SRA).

Niveau 1: Screening Potentieel

In deze stap wordt het potentiële vermogen van het gasveld om aardbevingen te genereren bepaald. Dit potentiële vermogen wordt bepaald aan de hand van de correlatie die is opgesteld in de studie “Deterministische Hazard Analyse voor Geïnduceerde Seismiciteit in Nederland” [DHAIS analyse, Ref. 3 en 4].

Voor velden welke op basis van deze initiële analyse een verwaarloosbare kans hebben om geïnduceerde bevingen te genereren, is het niet noodzakelijk om aansluitende niveaus 2 en 3 te doorlopen.

Indien de kans op een geïnduceerde beving niet verwaarloosbaar is zullen er aanvullende berekeningen worden uitgevoerd om de sterkte van een potentiële geïnduceerde beving te kunnen bepalen. Als de sterkte (seismisch moment, M) van een potentiële geïnduceerde beving boven de 2.5 ligt dan zal de risico analyse verder worden uitgebreid met de risico matrix (Niveau 2).

Niveau 2: Risico Matrix

In deze stap wordt op basis van een risico matrix benadering het risico ten gevolge van geïnduceerde aardbevingen verder gekwalificeerd.

De inschattingen van het risiconiveau (I, II, III) bepaalt of er aanvullende monitoringsverplichtingen of maatregelen moeten worden genomen met betrekking tot de productie uit het voorkomen.

Niveau 3: Kwantitatieve Risico Analyse

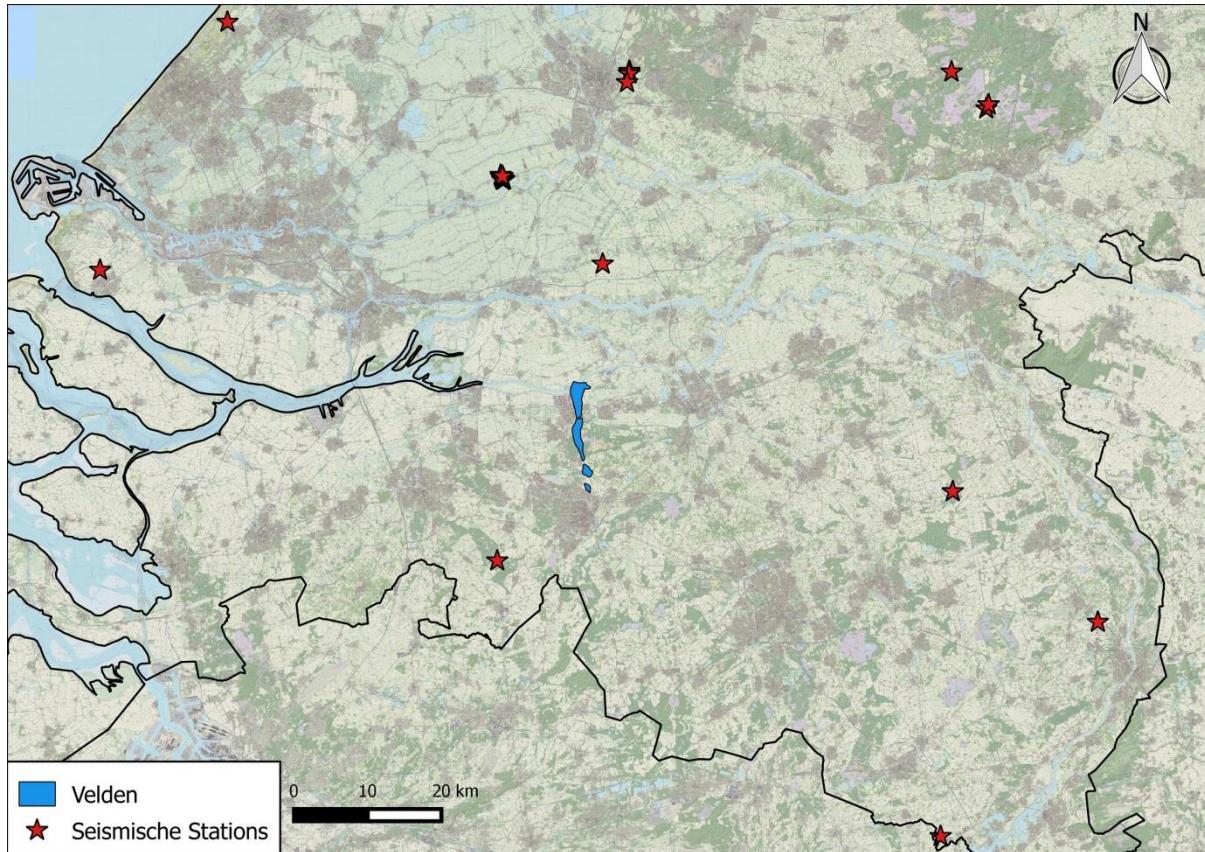
Er zal een aanvullende kwantitatieve risico analyse worden uitgevoerd in het geval dat een voorkomen op basis van de risico matrix als categorie III wordt gekwalificeerd.

De seismische risicoanalyse laat zien dat de voorkomens Loon Op Zand, Loon Op Zand Zuid en Loon Op Zand Zuid Prospect vallen allen in risico categorie I; dit is de laagste risico-categorie. Dit betekent volgens de gepubliceerde richtlijnen dat alleen monitoring van seismische activiteit via het bestaande seismisch monitoring netwerk van het KNMI noodzakelijk is. Hoofdstuk 14, Bijlage: Seismische Risico Analyse: Details en Achtergronden bevat de details omtrent de seismische risico-analyse. Hierbij is gebruik gemaakt van alle beschikbare reservoir-gegevens die belangrijk zijn bij het inschatten van het seismisch risico.

7.4 Monitoring van bodemtrillingen

Het monitoren van de seismische activiteit rondom de voorkomens Loon Op Zand en Loon Op Zand Zuid en het Loon Op Zand Zuid Prospect zal worden gerealiseerd met behulp van het bestaande KNMI netwerk. Figuur 7-2 is een kaart waarop de gasvelden in de winningsvergunning Waalwijk zijn

weergegeven en het bestaande seismisch netwerk van het KNMI. Hieruit blijkt dat de dekking rondom de gasvelden in de winningsvergunning Waalwijk beperkt is. Om bij een eventueel optredende beving, de herkomst (natuurlijk of geïnduceerd door gaswinning) en de locatie van het epicentrum beter te kunnen achterhalen is een uitbreiding van dit netwerk verstandig. Op basis van een advies van een onafhankelijk bureau en in overleg met het KNMI is Vermilion van plan om ervoor te zorgen dat in ieder geval één extra seismisch station geplaatst wordt in de buurt van de bestaande gasvelden in de winningsvergunning Waalwijk om de dekking van seismische stations te verhogen. De locatie van dit station moet nog nader bepaald worden.



Figuur 7-2: Kaart met bestaande gasvelden in winningsvergunning Waalwijk en het bestaande (d.d. augustus 2017) seismisch netwerk van het KNMI.

7.5 Mogelijke gevolgen van bevingen ten gevolge van gaswinning uit de voorkomens in dit winningsplan

7.5.1 Schade aan openbare infrastructuur door bevingen ten gevolge van gaswinning

Omdat de kans op aardbevingen als gevolg van gasproductie verwaarloosbaar is, is de kans op schade ook verwaarloosbaar.

7.5.2 Schade aan bouwwerken door bevingen ten gevolge van gaswinning

Omdat de kans op aardbevingen als gevolg van gasproductie verwaarloosbaar is, is de kans op schade ook verwaarloosbaar.

7.5.3 Schade aan natuur en milieu door bevingen ten gevolge van gaswinning

Schadelijke effecten op natuur en milieu door bevingen ten gevolge van gaswinning worden niet verwacht.

Aangezien de kans op aardbevingen als gevolg van de gasproductie verwaarloosbaar is, wordt niet verwacht dat er nadelige effecten op Natura 2000 en milieubeschermingsgebieden zullen optreden.

7.6 *Maatregelen om (de gevolgen van) bodemtrillingen te voorkomen of te beperken*

Gezien de indeling in categorie I wordt er geen schade van betekenis verwacht, en voorziet het productieproces niet in maatregelen om trillingen te voorkomen of te beperken.

Indien als gevolg van bodemtrillingen door gaswinning toch schade ontstaat, dan zal deze worden vergoed overeenkomstig de regels van het burgerlijk recht.

8 Overige Omgevingsaspecten

8.1 Inleiding

De opsporing, winning en opslag van aardgas kan mogelijke gevolgen, anders dan bodemdaling en trilling met zich meebrengen voor de omgeving. Deze mogelijke gevolgen worden beoordeeld door het bevoegd gezag in andere vergunningen dan het winningsplan.

Een overzicht van de mogelijke gevolgen en in welke vergunningen deze worden behandeld, staat in de volgende tabel.

Gevolgen m.b.t.	Besluit
Bodemverontreiniging	MER(beoordeling) omgevingsvergunning milieu
Luchtverontreiniging (emissies)	MER(beoordeling) omgevingsvergunning milieu
Grondwaterverontreiniging	MER(beoordeling) omgevingsvergunning milieu
Oppervlaktewaterverontreiniging	MER(beoordeling) omgevingsvergunning milieu evt. Watervergunning
Externe veiligheid	MER(beoordeling) omgevingsvergunning milieu
Natuur	MER(beoordeling) Wet Natuurbescherming

De Minister van Economische Zaken bevordert op grond van artikel 34 lid 7 Mijnbouwwet een doelmatige en samenhangende besluitvorming ten aanzien van het besluit omtrent instemming met het winningsplan en een aantal overige besluiten, waaronder de besluiten zoals genoemd in bovenstaande tabel (coördinatieregeling).

Met betrekking tot bovenstaande tabel zal hieronder worden aangegeven wat door mijnbouwondernemingen wordt gedaan om genoemde gevolgen te voorkomen, dan wel de effecten hiervan te beperken.

8.2 Bodem / Grondwaterverontreiniging

De mijnbouwonderneming dient zich in te spannen om installaties zo te bouwen, onderhouden en beheren dat het risico op bodem/grondwaterverontreiniging verwaarloosbaar klein is. De wijze waarop dit dient te gebeuren is vastgelegd in onder andere de Nederlandse Richtlijn Bodembescherming (NRB) en de Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen (PGS). Hierdoor worden de risico's tot een minimum beperkt en blijven de eventuele gevolgen beheersbaar. De NRB en de PGS worden voorgeschreven in het Activiteitenbesluit en de omgevingsvergunning. Toezicht vindt plaats door Staatstoezicht op de Mijnen (SodM).

Indien toch door een incident bodem/grondwaterverontreiniging is ontstaan, dient de mijnbouwonderneming deze verontreiniging te saneren in het kader van de Wet bodembescherming. De desbetreffende provincie is hiervoor bevoegd gezag.

De mijnbouwonderneming en toezichthouders hanteren een strikt controlebeleid waardoor de kans op bodemverontreiniging zeer gering is. Gevaar voor de volksgezondheid door het optreden van incidenten is niet te verwachten.

8.3 Luchtverontreiniging

De maximale uitstoot van stoffen die vrijkomen bij de activiteiten ten behoeve van gaswinning (zoals NO_x, SO₂, etc.) naar de lucht (emissies), de wijze van meten en rapporteren is vastgelegd in het Activiteitenbesluit en de omgevingsvergunning. SodM controleert of wordt voldaan aan de voorschriften. Mijnbouwondernemers streven altijd naar een zo laag als redelijkerwijs mogelijke

emissie. Verder hanteren de mijnbouwonderneming en toezichthouders een strikt controlebeleid op emissies. Gevaar voor de volksgezondheid door het optreden van incidenten is niet te verwachten.

8.4 Oppervlaktewaterverontreiniging

De mijnbouwonderneming dient zich in te spannen om installaties zo te bouwen, onderhouden en beheren dat het risico op oppervlaktewater verwaarloosbaar klein is. De wijze waarop dit dient te gebeuren is vastgelegd in onder andere de Nederlandse Richtlijn Bodembescherming (NRB) en de Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen (PGS). Hierdoor worden de risico's tot een minimum beperkt en blijven de eventuele gevolgen beheersbaar. De NRB en de PGS worden voorgeschreven in het Activiteitenbesluit en de omgevingsvergunning. Toezicht vindt plaats door Staatstoezicht op de Mijnen (SodM).

Indien toch door een incident het oppervlaktewater verontreinigd is, dient de mijnbouwonderneming deze verontreiniging te saneren in het kader van de Waterwet en eventueel de Wet bodembescherming. De desbetreffende waterbeheerder en provincie zijn hiervoor bevoegd gezag.

De mijnbouwonderneming en toezichthouders hanteren een strikt controlebeleid waardoor de kans op verontreiniging van het oppervlaktewater zeer gering is. Gevaar voor de volksgezondheid door het optreden van incidenten is niet te verwachten.

8.5 Externe veiligheid

De beoordeling van het risico voor personen buiten de mijnbouwlocatie (kwantitatieve risicoanalyse) vindt plaats in het kader van de omgevingsvergunning (Wabo).

Verder moet voor ieder mijnbouwwerk een rapport inzake grote gevaren worden opgesteld. Dit rapport bestaat uit o.a. het reeds bestaande veiligheids- en gezondheidsdocument op grond van het Arbeidsomstandighedenbesluit, het rampenbestrijdingsplan, het bedrijfsbeleid inzake het voorkomen van zware ongevallen, en gegevens omtrent de milieuveiligheid.

Voor nieuwe installaties moet al een rapport inzake grote gevaren worden opgesteld; voor bestaande installaties geldt deze verplichting in ieder geval vanaf 19 juli 2018.

8.6 Natuur

Voor natuur geldt een rechtstreekse zorgplicht van beschermde flora en fauna. Als mijnbouwactiviteiten negatieve effecten zouden kunnen hebben op de aanwezige flora en fauna, dient een ecologisch onderzoek uitgevoerd te worden. Indien effecten niet uitgesloten kunnen worden, dient een ontheffing aangevraagd te worden.

Indien mijnbouwactiviteiten of de gevolgen hiervan invloed kunnen hebben op de instandhoudingdoelstellingen van aangewezen Natura 2000-gebieden, dienen de effecten en gevolgen onderzocht te worden en eventueel een passende beoordeling opgesteld te worden. Indien hieruit blijkt dat negatieve effecten kunnen optreden, is een vergunning nodig. Een en ander wordt geregeld in de Wet Natuurbescherming.

8.7 Loon Op Zand & Loon Op Zand Zuid

Deze sectie is een verwijzing naar specifiek vergunningen waarin de aspecten van sectie 8.1 worden behandeld.

Vergunning Wet milieubeheer d.d. 18 maart 2004 met het kenmerk ME/EP/UM/4019046.

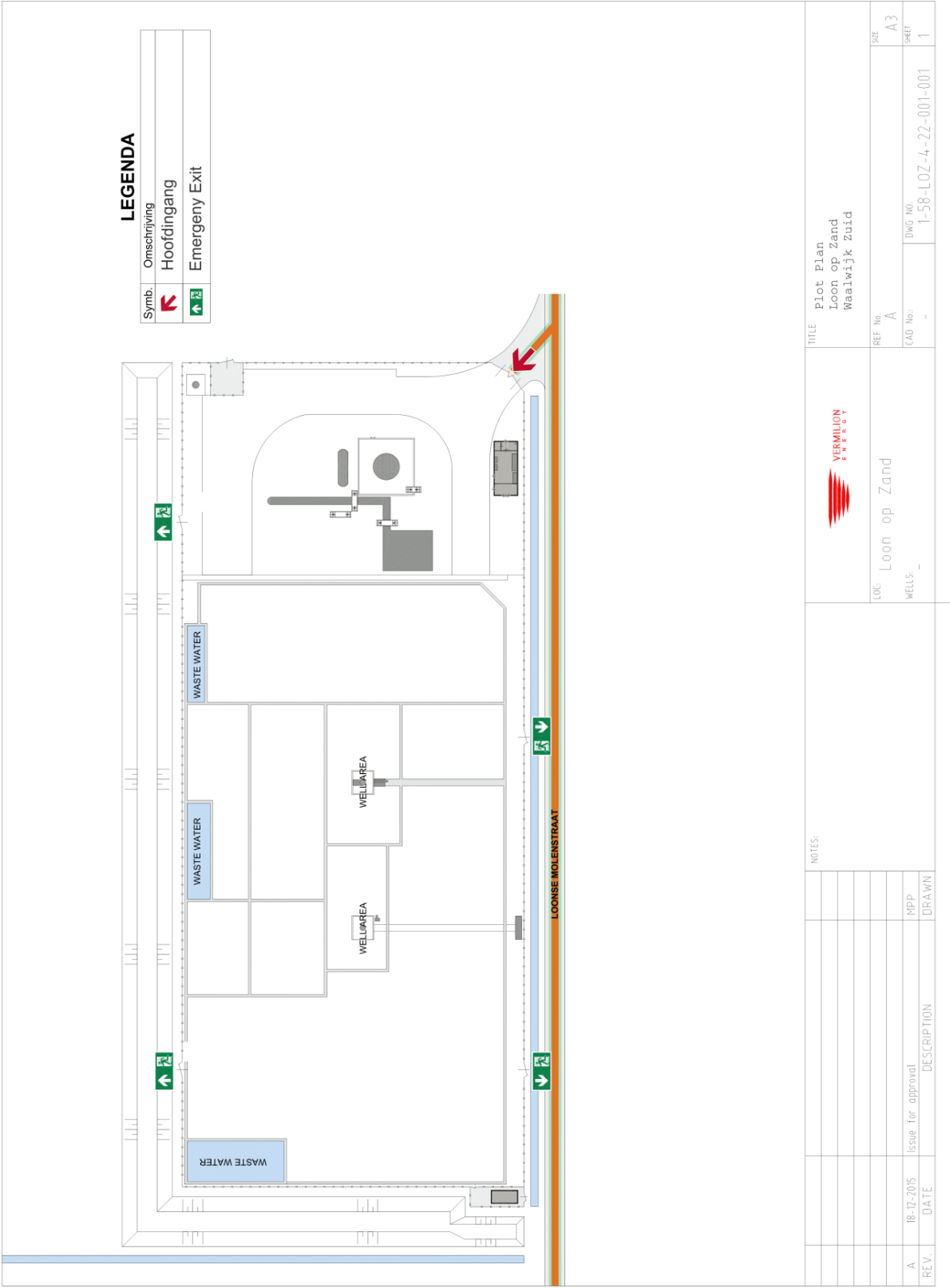
9 Verklarende woordenlijst

Aquifer	Watervoerend deel van het gasvoorkomen. Dat kan naast en/of onder het gasvoerende deel gelegen zijn.
Cm	Uniaxiale compactie-coëfficiënt; mate van samendrukbaarheid van het gesteente
Compactie	Het samendrukken van het gasvoorkomengesteente als door productie de druk van de vloeistof in de poriën daalt, en onvoldoende tegenwicht geeft aan het gewicht van bovenliggende gesteenten.
Compressibiliteit	Samendrukbaarheid
Depletie	Drukdaling door het onttrekken van gas (of olie of water) uit gasvoorkomengesteente
EZ	Ministerie van Economische Zaken
GIIP	Volume gas initieel aanwezig in het voorkomen (in Nm ³)
GPS	Global Positioning System: systeem voor plaats- en hoogtebepaling met behulp van satellieten
GWC	Gas-water contact diepte (in m onder NAP)
Hypocentrum	Het hypocentrum is het ondergrondse gebied waar een aardbeving ontstaat.
Kern	Gesteentemonster uit de ondergrond verkregen bij het boren van een put
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
LOZ	Loon Op Zand
LOZZ	Loon Op Zand Zuid
m RT	Diepte gemeten in m langs het boortraject, vanaf de boortafel (RT)
Mb	Mijnbouwbesluit
MER	Milieu-Effect-Rapportage
Mw	Mijnbouwwet
NAM	Nederlandse Aardolie Maatschappij
Nm ³	m ³ bij 0 °C en 1.01325 bara [Ref.8]
Permeabiliteit	De mate waarin een (poreuze) vaste stof een andere stof (gas of vloeistof) doorlaat. Indien een materiaal een andere stof niet doorlaat heet het materiaal voor die stof impermeabel.
Porositeit	Verhouding tussen het poriënvolume en het totale volume van het gesteente.
RD coördinaat	Coördinaten in het topografische kaartmateriaal zijn vermeld in het stelsel van de Rijksdriehoeksmeting (RD). De auteursrechten en databankrechten zijn voorbehouden aan de Topografische Dienst Kadaster, Emmen, 2006
Saturatie	Het gedeelte van het poriënvolume dat met water en gas is gevuld
SodM	Staatstoezicht op de Mijnen
SPG	Sprang
SRA	Seismische Risico Analyse
TCBB	Technische Commissie Bodembeweging
TNO	Nederlandse Organisatie voor Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek
VEN	Vermilion Energy Netherlands B.V.
Vermilion	Vermilion Energy Netherlands B.V.
WTC	Waalwijk Treatment Centre, ook wel Waalwijk gasbehandelingsstation
WWN	Waalwijk-Noord

10 Referenties

1. Deltares, Bodemdalingskaarten, 2011.
2. TCBB, Industrieleidraad ter Geodetische bepaling van bodembeweging als gevolg van mijnbouwactiviteiten, 2014.
3. TNO, Deterministische Hazard Analyse voor Geïnduceerde Seismiciteit in Nederland, 2004 (NITG 04-171-C).
4. TNO, Deterministische Hazard Analyse voor Geïnduceerde Seismiciteit in Nederland, update 2012 (R10198).
5. SodM, Methodiek voor Risico-Analyse omtrent geïnduceerde bevingen door gaswinning (Tijdelijke Leidraad), Februari 2016.
6. TNO, Seismiciteit onshore gasvelden Nederland, 2016 (R10164).
7. G.H.C. van Opstal: "The effect of base-rock rigidity on subsidence due to reservoir compaction". Proc. 3rd Congress. Int. Soc. Rock Mech., Denver Colorado, September 1974, vol 2, part B.
8. Physical Properties of Natural Gases, Nederlandse Gasunie, 1988.
9. Meetregister bij het meetplan Waalwijk, Rapportage van de nauwkeurigheidswaterpassing 2013, Project nr. 0258145, revisie 01, 26 maart 2014, door Antea Group.
10. Analyse Bodemdaling Meetplan Waalwijk, datum: 2 juni 2017, Vermilion interne rapportage.

11 Bijlage: Plotplan Loon Op Zand Locatie





Figuur 11-1: Foto toegangshek locatie Loon Op Zand.



Figuur 11-2: Foto productie water opslag tank op locatie Loon Op Zand.

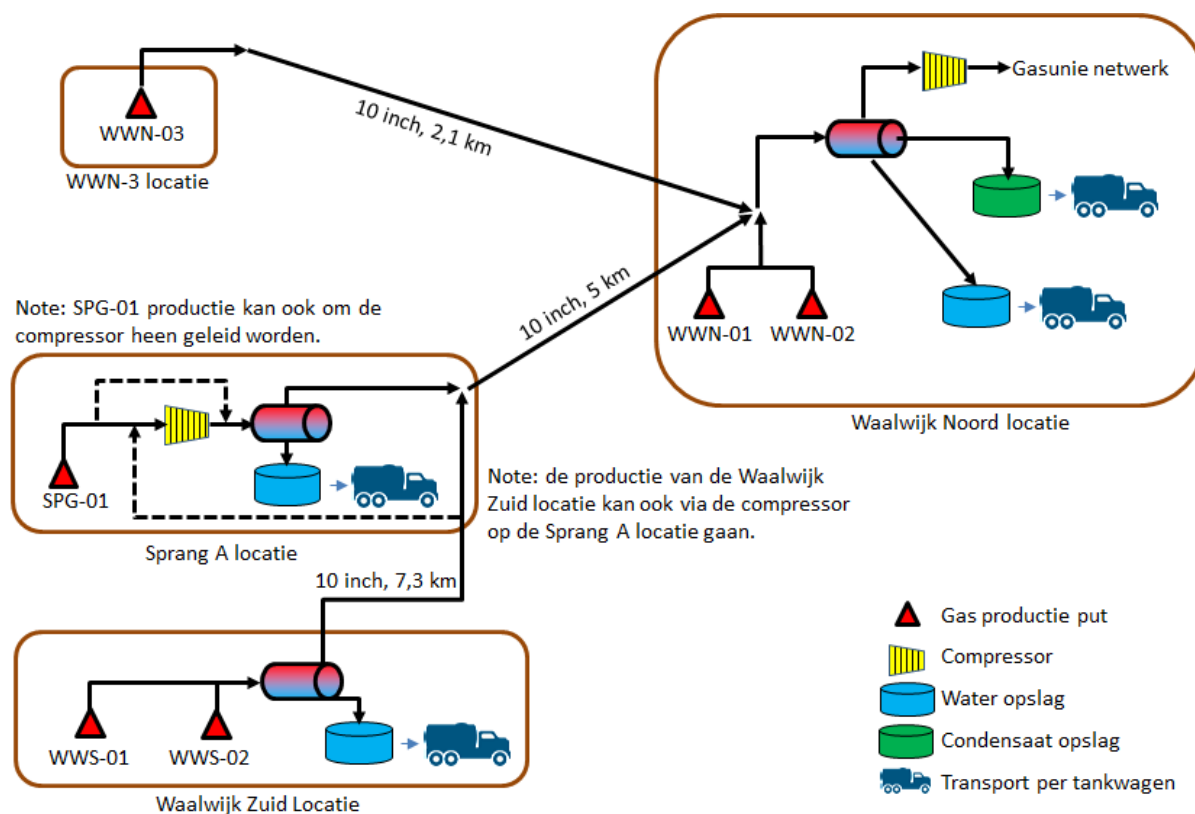


Figuur 11-3: Foto separator pakket op locatie Loon Op Zand.



Figuur 11-4: Foto wellhead put WWS-01.

12 Bijlage: Schematische weergave Waalwijk Concessie gas behandeling.



13 Bijlage: Risico Inventarisatie Hydraulische stimulatie

13.1 Samenvatting

Bij hydraulisch stimuleren wordt vloeistof onder hoge druk via de perforaties in de boorput in het gesteente gebracht. Door de hoge druk ontstaan op gecontroleerde wijze plaatselijk kleine scheuren in het gashoudende gesteente op ongeveer 2700 meter diepte.

Voordat de werkzaamheden op locatie beginnen, doen deskundigen van Vermilion en in hydraulische stimulatie gespecialiseerde adviesbureaus uitgebreid onderzoek naar alle aspecten die relevant zijn voor het veilig en succesvol uitvoeren van de stimulatiewerkzaamheden. Hierbij wordt onder andere gekeken naar de conditie van de boorput. Ook worden de diverse afsluiters en veiligheidsmechanismen op en in de put getest. Daarnaast worden berekeningen en analyses uitgevoerd om zeker te stellen dat de bodemlagen in staat zijn tijdelijk hoge druk op te vangen.

Hieronder wordt uitgelegd hoe hydraulisch stimuleren werkt. Deze algemene risico-inventarisatie wordt voor de te stimuleren put specifiek gemaakt in het werkprogramma dat bij SodM moet worden ingediend, alvorens daadwerkelijk met een hydraulische stimulatie gestart mag worden.

13.2 Inleiding

Om de gaswinning te bevorderen, of op gang te brengen, zijn verschillende technieken mogelijk, afhankelijk van de reden voor de lage gasproductie. Een van de redenen van lage productie is een beperkte doorlatendheid van het gashoudende gesteente. Om de doorlatendheid te vergroten gebruikt Vermilion hydraulische stimulatie, ook wel bekend als fracken. Deze techniek wordt al sinds de jaren '50 regelmatig en succesvol toegepast in Nederland.

Bij hydraulisch stimuleren wordt vloeistof onder hoge druk via de boorput in het gesteente gebracht. Door de hoge druk ontstaan op gecontroleerde wijze plaatselijk kleine scheuren in het gashoudende gesteente, op een diepte van ongeveer 2700 meter. De vloeistof bestaat uit water ($\pm 95\%$), kleine keramiekkorrels ($\pm 4\%$) en additieven ($\pm 1\%$). De kleine keramiekkorrels, ook wel proppant genoemd, blijven als opvulmiddel in het gesteente achter. Zij houden de gecreëerde scheuren open, zodat het gas gemakkelijker naar de boorput kan stromen. Nog meer dan de helft van de vloeistof wordt weer teruggewonnen en gaat na gebruik naar een erkende be-/verwerkingsinstallatie. Dit is het einde van de frack operatie. Het gas kan nu via deze frack geproduceerd worden.

Staatstoezicht op de Mijnen heeft in 2016 een inventarisatie uitgevoerd naar de toepassing van fracking, de mogelijke consequenties en de beoordeling daarvan (brief aan de Minister van Economische Zaken d.d. 29 februari 2016, kenmerk 16031641). In deze brief worden de volgende potentiële risico's geïdentificeerd.

1. Seismische risico's
2. Integriteit van de afsluitende lagen
3. Geochemische interacties
4. Integriteit van de put
5. Blootstelling gevaarlijke stoffen

Voordat wordt overgegaan tot hydraulische stimulatie van een put, zal een model gemaakt worden van de specifieke put en de specifieke zone in het gasvoorkomen.

Deze bijlage beschrijft dit stimulatiemodel, dat wordt gebruikt om een hydraulische stimulatie veilig te ontwerpen en gaat in op de manier waarop de bovengenoemde risico's beheerst worden.

NOGEPa heeft de "Fact-sheet: fracking nader toegelicht" opgesteld in 2013 [Ref. 8 in Paragraaf 13.9]. Dit fact-sheet geeft een overzicht van een frack operatie, de vloeistoffen die gebruikt worden bij een frack operatie, de risicobeheersmaatregelen tijdens een frack operatie en een overzicht van de wet- en regelgeving die van toepassing is op een frack operatie. Er wordt verwezen naar deze fact-sheet voor additionele informatie.

13.3 Stimulatiemodel

In het stimulatiemodel worden de aanwezige gesteenten en hun eigenschappen gemodelleerd. Het model voorspelt hoe de scheurtjes ontstaan ten gevolge van het pompen van de vloeistof en keramiekkorrels in het gasvoorkomen. VEN gebruikt de software GOHFER om een hydraulische stimulatie te modelleren.

Het model wordt gemaakt met behulp van de beschikbare putmetingen, ook wel logs genoemd. Dit model wordt aangevuld met kernmetingen indien beschikbaar (de oorspronkelijke boorkern, die dus precies laat zien welke gesteenten in het gehele boortraject aanwezig zijn, wordt altijd bewaard). Indien niet alle gegevens beschikbaar zijn, worden ook gegevens van omliggende putten gebruikt om de aanwezige gesteenten en hun eigenschappen te kunnen modelleren.

Vervolgens wordt het precieze dieptetraject, het interval, voor stimulatie gekozen. Ook wordt een perforatie strategie geselecteerd, d.w.z. waar precies in het boorgat gaatjes worden geschoten en waar de vloeistof en keramische korrels dus de scheurtjes gaan vormen. Vervolgens wordt een stimulatieschema opgezet. Dit schema geeft aan welke stoffen in welke hoeveelheden in welk interval gepompt worden.

Op basis van het model en het stimulatieschema wordt een simulatie uitgevoerd om inzicht te krijgen in de stimulatieparameters (zoals de drukken die verwacht worden, de lengte van de scheurtjes, de hoogte ervan) zoals die verwacht worden bij het hydraulisch stimuleren van de put op basis van dit stimulatieschema. Meerdere stimulatie schema's worden getest in het model om een optimaal schema te vinden. Hierbij wordt gelet op:

1. Het bewaren van een veilige afstand van de maximale frack lengte tot een bestaande breuk in het veld. VEN hanteert hiervoor een afstand van minimaal 25 meter. Deze afstand wordt opgeteld bij de onzekerheid in de locatie van de breuk.
2. Dat de stimulatie drukken binnen de maximale toelaatbare drukken vallen.
3. Het verkrijgen van een optimale productie na stimulatie.

Het uiteindelijke stimulatieschema wordt beschreven in het werkprogramma voor hydraulische stimulatie. Dit werkprogramma wordt ingediend wanneer de plannen voor hydraulische stimulatie van een bepaalde put concreet zijn geworden. Dit werkprogramma wordt ingediend bij, gecontroleerd door en goedgekeurd door SodM vóór de uitvoering van de werkzaamheden.

13.4 Seismisch risico

Zoals hierboven genoemd heeft SodM in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken een inventarisatie gemaakt van 219 hydraulische stimulatiwerkzaamheden (oftewel fracks) die zijn uitgevoerd in Nederland, zie het rapport "Resultaten inventarisatie fracking, de toepassing van fracking, de mogelijke consequenties en de beoordeling daarvan, februari 2016". De conclusie van dit rapport (Ref. 1 in Paragraaf 13.9) is:

"SodM is tot de slotsom gekomen dat er bij al deze frack operaties zich voor zover bekend geen nadelige consequenties voor mens en milieu hebben voorgedaan. SodM is van mening dat de toepassing van fracking ten behoeve van conventionele gaswinning op een verantwoorde manier plaats kan vinden. Het wettelijke regiem, het toezicht daarop en de betrachte beheersmaatregelen door de mijnondernemingen zijn volgens de huidige inzichten solide en afdoende."

Op basis van historische data in Nederland wordt het risico op een geïnduceerde beving als gevolg van een hydraulische stimulatie als zeer laag ingeschat.

Tabel 13-1 is een lijst met putten die in het verleden hydraulisch zijn gestimuleerd in de omgeving van de winningsvergunning Waalwijk. Bij deze werkzaamheden zijn geen voelbare bevingen geconstateerd. Op basis van het KNMI-netwerk is de locatie detectiegrenswaarde tussen de 1,5 en 2 km en de magnitude detectiegrenswaarde kleiner dan 1,5 op de schaal van Richter, zie ook het KNMI-rapport "Monitoring induced seismicity in the North of the Netherlands: status report 2010", (Ref. 2 in Paragraaf 13.9). Er zijn geen andere nadelige gevolgen voor mens of milieu opgetreden bij deze werkzaamheden.

Tabel 13-1: Hydraulisch gestimuleerde putten in de omgeving van winningsvergunning Waalwijk.

Put	Datum hydraulische stimulatie
AND-06	Nov/2008
BRAK-01	Dec/2008
SPG-01	Mar/1999
WWN-01	Aug/2001
WWN-02	Jul/2000
WWN-03	Jul/1999
WWS-01	Jul/2000

Seismisch risico bij hydraulisch stimuleren kan ontstaan, indien een onder druk gemaakte scheur een bestaande breukzone (zo'n bestaande breukzone zit er al miljoenen jaren en is door natuurlijke krachten ontstaan) in het gasvoorkomen raakt en, via de gemaakte scheur, vloeistof onder hoge druk in deze breukzone zou komen. Dit zou kunnen resulteren in het verlagen van de wrijving op het breukvlak en mogelijk leiden tot het activeren van de breuk. Deze activatie manifesteert zich in de vorm van een trilling.

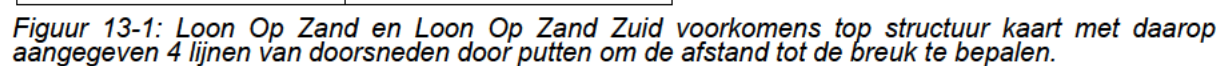
Om het risico daarop te mitigeren, is met behulp van seismisch onderzoek van de diepe ondergrond op het niveau van het gasvoorkomen de aanwezigheid van breuken nagegaan. In het frack ontwerp is het dan zaak om te zorgen dat de frack op voldoende afstand van de breuk blijft. Vermilion hanteert hierbij een afstand van minimaal 25 meter + de onzekerheid in de locatie van de breuk. In het navolgende wordt uitgelegd dat het in de voorkomens Loon Op Zand en Loon Op Zand Zuid mogelijk is om voldoende afstand tot de natuurlijke breuken te bewaren. In het werkprogramma wordt dit specifiek en tot in detail uitgewerkt.

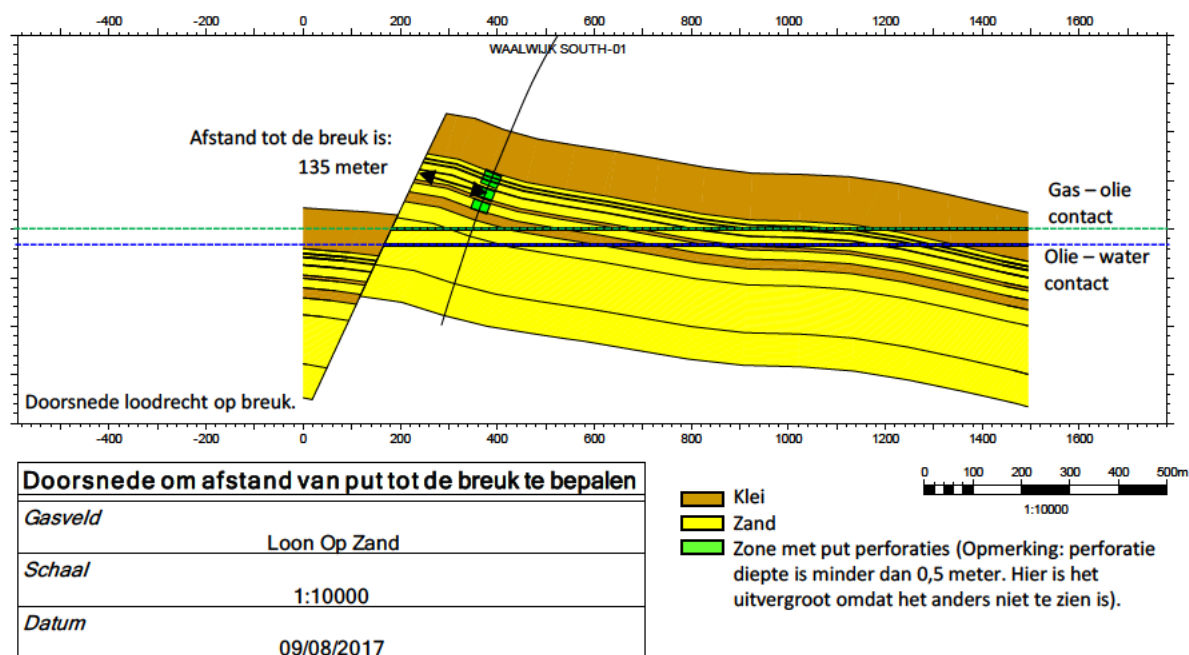
Figuur 13-1 is de top structuurkaart van de voorkomens het Loon Op Zand en Loon Op Zand Zuid. Op deze kaart zijn in kleur 4 lijnen van doorsneden gegeven; door elke put 2 lijnen. Op deze lijnen van doorsnede wordt de afstand van de put tot de breuk bepaald.

Figuur 13-2 en Figuur 13-3 zijn twee doorsneden door put WWS-01. De rode lijn is loodrecht op de breuk en weergegeven in Figuur 13-2. De paarse lijn is parallel aan het put traject en weergegeven in Figuur 13-3. Deze twee doorsneden laten zien dat de minimale afstand van put WWS-01 tot aan de breuk 135 meter is.

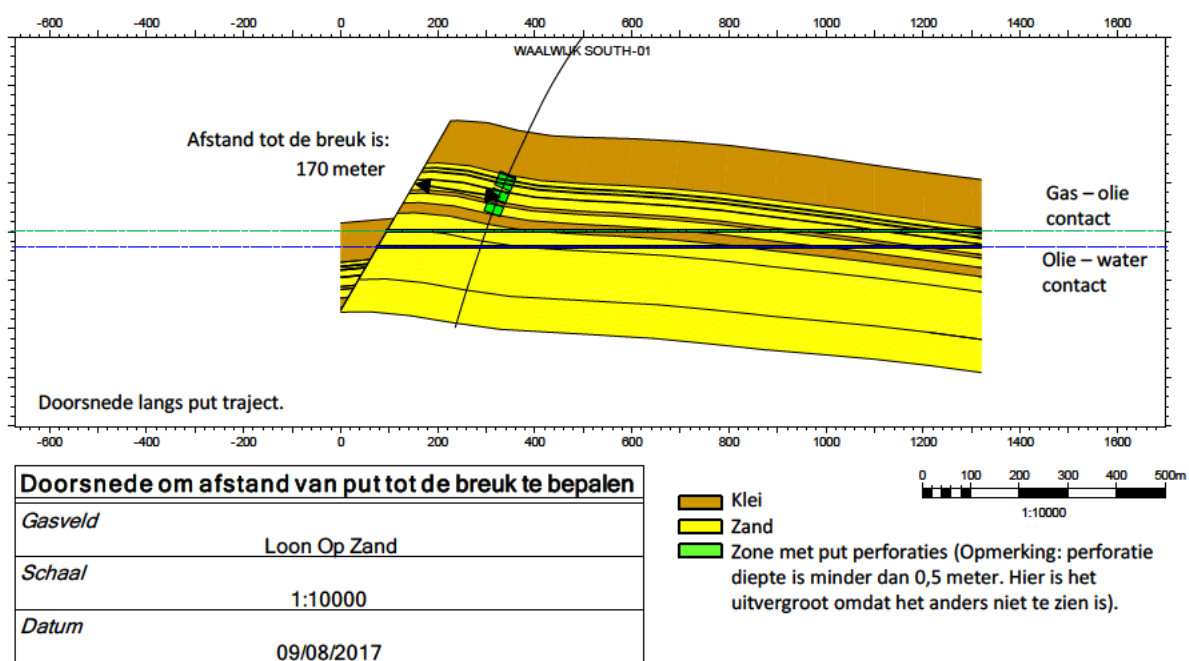
Figuur 13-4 en Figuur 13-5 zijn twee doorsneden door put WWS-02. De magenta lijn is loodrecht op de breuk en weergegeven in Figuur 13-4. De groene lijn is parallel aan het put traject en weergegeven in Figuur 13-5. Deze twee doorsneden laten zien dat de minimale afstand van put WWS-02 tot aan de breuk 200 meter is.

Hierbij wordt opgemerkt dat er een onnauwkeurigheidsfactor zit in de plaatsbepaling van de breuk. De seismische data kwaliteit is goed en het aantal gegevens uit putten in en rond de voorkomens Loon Op Zand en Loon Op Zand Zuid is goed. Hierdoor wordt de onnauwkeurigheid van de locatie van de breuk geschat op ± 50 meter. Dit betekent voor de putten in de voorkomens Loon Op Zand en Loon Op Zand Zuid dat de minimale afstand van de maximale frack lengte tot de breuk $50 + 25 = 75$ meter is. Het stimulatie schema wordt in het stimulatiemodel aangepast om te zorgen dat de maximale frack lengte in het model binnen deze veiligheidsmarge valt. Op deze manier wordt in het ontwerp van een frack rekening gehouden met het risico op seismische activiteit ten gevolge van een frack.

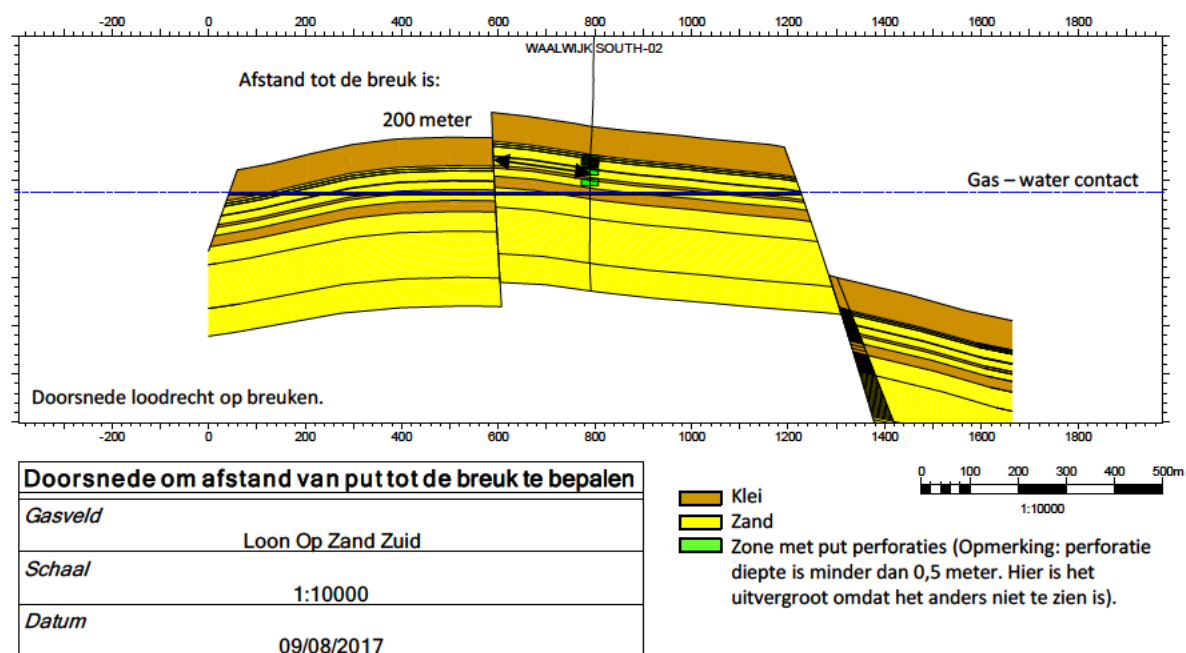




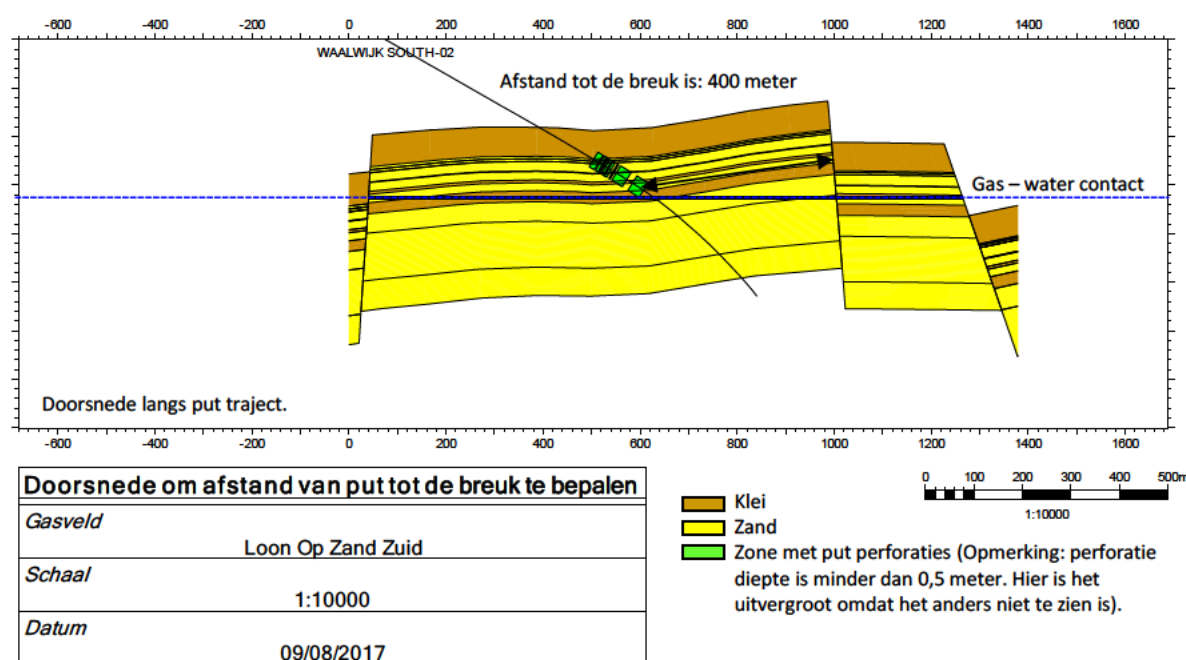
Figuur 13-2: Doorsnede door put WWS-01 om de afstand tot de breuk te bepalen (rode lijn in Figuur 13-1).



Figuur 13-3: Doorsnede door put WWS-01 om de afstand tot de breuk te bepalen (paarse lijn in Figuur 13-1).



Figuur 13-4: Doorsnede door put WWS-02 om de afstand tot de breuk te bepalen (magenta lijn in Figuur 13-1).



Figuur 13-5: Doorsnede door put WWS-02 om de afstand tot de breuk te bepalen (groene lijn in Figuur 13-1).

Een scheur ontstaat in de richting van maximale stress in de ondergrond. Gegeven het feit dat de regionale maximum horizontale spanningsrichting noordwest-zuidoost georiënteerd is, zie Figuur 13-6, zal een scheur dus hoogstwaarschijnlijk in noordwestelijke - zuidoostelijke richting groeien. Op basis van deze richting kan de afstand tot de dichtstbijzijnde breuk worden berekend. De afstand van de putten tot de breuk zoals bepaald in Figuur 13-1, Figuur 13-2, Figuur 13-3, Figuur 13-4 en Figuur 13-5 is de kortste afstand van de put tot de breuk en houdt dus geen rekening met de maximale spanningsrichting. Wanneer de afstand tot de breuk wordt gemeten langs de maximale spanningsrichting dan zal voor deze putten de afstand tot de breuk toenemen.

De risico-analyse van afstand tot de breuk en frack lengte zal specifiek behandeld worden in een werkprogramma voor hydraulische stimulatie wanneer de plannen voor hydraulische stimulatie van

een bepaalde put concreet zijn geworden; dit werkprogramma wordt ingediend bij, gecontroleerd door en goedgekeurd door SodM vóór de uitvoering van de werkzaamheden.

Deze analyse, de afstand van de put tot aan de breuk, kan nog niet gedaan worden voor eventuele te boren nieuwe put of aftakkingen van bestaande put. Deze analyse zal dan onderdeel zijn van het werkprogramma voor hydraulische stimulatie wanneer de plannen voor hydraulische stimulatie van de nieuwe put of aftakking van bestaande put concreet zijn geworden; dit werkprogramma wordt ingediend bij, gecontroleerd door en goedgekeurd door SodM vóór de uitvoering van de werkzaamheden.

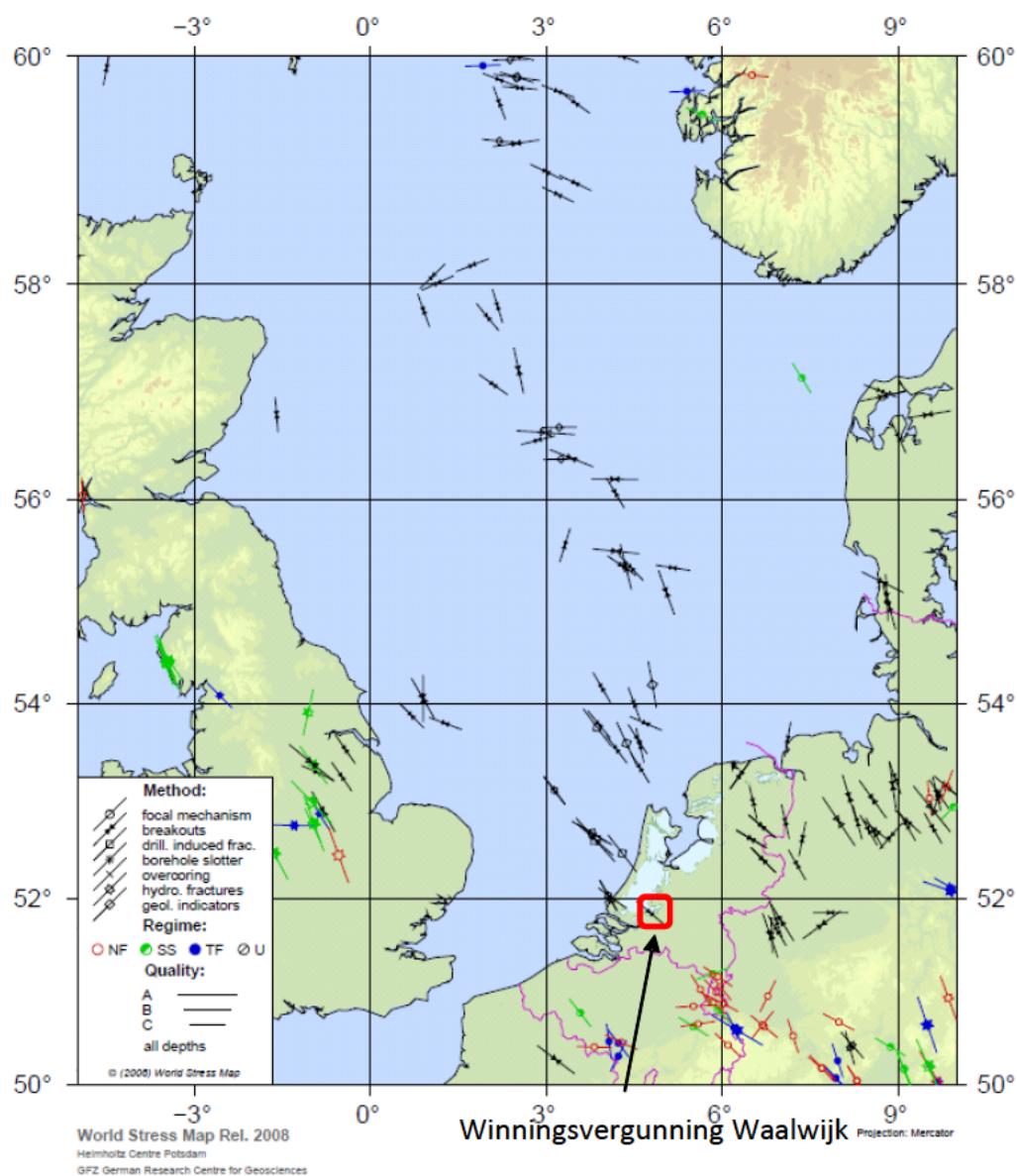
Het moet opgemerkt worden dat breuken met een kleine verplaatsing (minder dan 20 meter) niet op seismiek herkend worden. Echter, voor zover bekend, hebben dit soort kleine breuken in het verleden nooit tot voelbare trillingen geleid.

Het volume van de vloeistof dat gepompt wordt in een conventionele frack is 50 – 100 m³. Zoals opgemerkt in het rapport van Witteveen en Bos uit 2013 (Ref. 5 in Paragraaf 13.9) is het gemiddelde watergebruik voor het hydraulisch stimuleren van een schaliegasput 18,500 m³. Het rapport Schaliegas & Drinkwater: Betrouwbaarheid van KWR Watercycle Research Institute uit 2015 (Ref. 6 in Paragraaf 13.9), heeft het over een volume van 20.000 m³ voor het hydraulisch stimuleren van een schaliegasput. Het watervolume dat nodig is voor het hydraulisch stimuleren in een conventionele gasput zoals deze, is dus vele malen kleiner dan het volume water dat gebruikt wordt voor de stimulatie van een schaliegasput. Hierdoor is ook het seismisch risico bij een conventionele frack vele malen kleiner dan bij hydraulische stimulatie van een schaliegasput.

Monitoring

Hydraulische stimulatie brengt dus een zeker seismisch risico met zich mee, maar op basis van historische data in Nederland wordt dit risico zeer laag ingeschat.

Het seismisch risico wordt uitgewerkt in het werkprogramma. In dit werkprogramma zullen tevens, op basis van de risicoanalyse, risicobeheersmaatregelen besproken worden voor de specifieke operatie. Een risicobeheersmaatregel kan bijvoorbeeld zijn het tijdelijk plaatsen van één of meerdere zeer gevoelige seismometers om eventuele groundbewegingen ten gevolge van de frack operatie te identificeren. Hierdoor kan de frack operatie vertraagd of zelfs gestopt worden zodra een grenswaarde van grondversnelling overschreden wordt. Het werkprogramma gaat nader in op de details die locatie specifiek zijn.



Figuur 13-6: World Stress Map: de maximum horizontale stressrichting rond winningsvergunning Waalwijk is noordwest – zuidoost georiënteerd (Ref. 3 in Paragraaf 13.9).

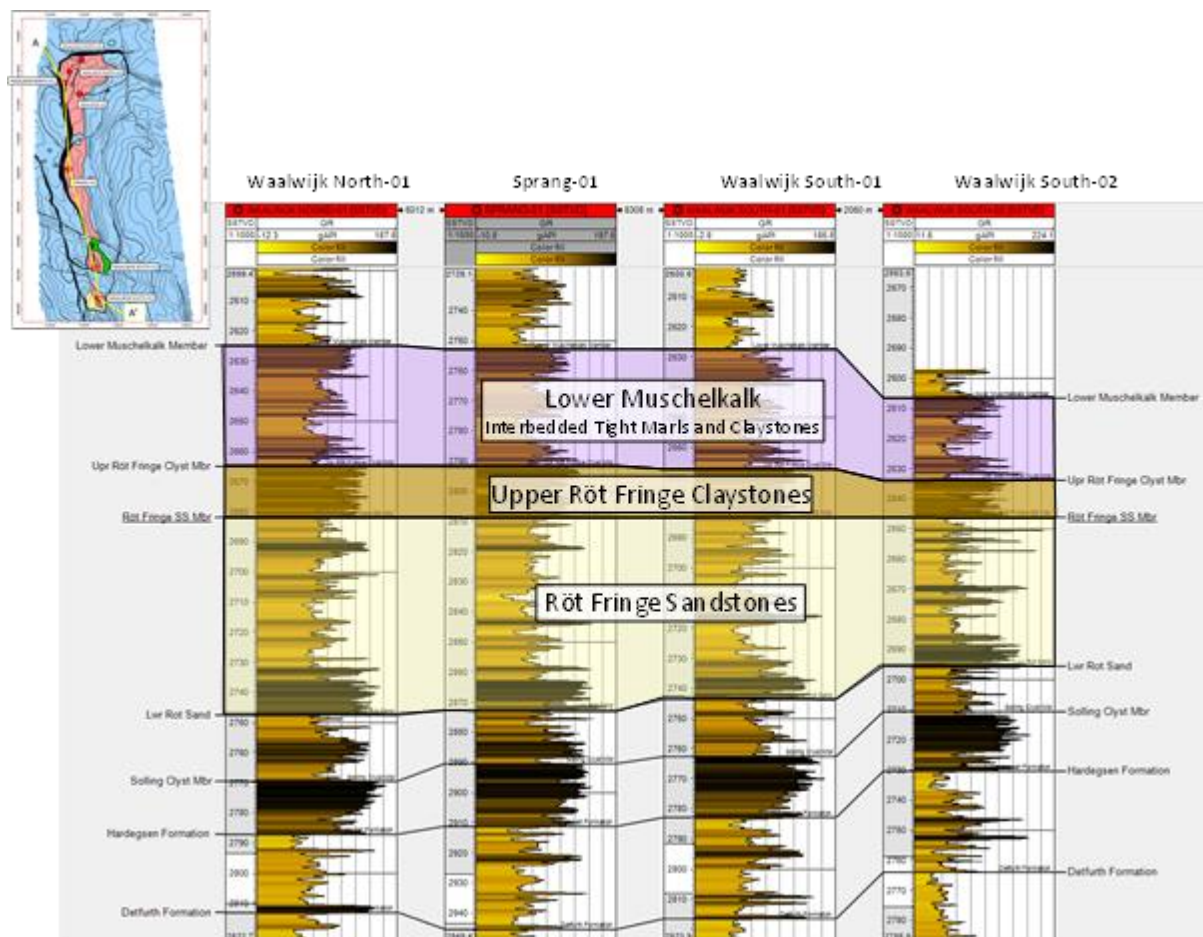
13.5 Integriteit van de afsluitende lagen

Boven het gasvoorkomen zijn afsluitende lagen aanwezig, die ondoordringbaar zijn, waardoor er geen verontreiniging van grondwater en/of drinkwater kan plaatsvinden tijdens de gaswinning. In deze paragraaf wordt beschreven hoe ook tijdens een hydraulische stimulatie wordt voorkomen dat de afsluitende lagen beschadigd worden.

Figuur 13-7 is een correlatie van de afsluitende laag direct boven het gasvoorkomen. De laag is zeer consistent in de winningsvergunning Waalwijk. De totale afsluitende laag is ongeveer 625 meter dik.

De groei van een hydraulische scheur in het zandsteen (het gasvoorkomen) naar boven wordt belemmerd doordat de mechanische parameters van de afsluitende laag verschillen van die van het gasvoorkomen. De mechanische parameters van de afsluitende laag zijn gebaseerd op het gasvoorkomen model zoals eerder besproken. Het stimulatieschema kan worden aangepast in het model om te zorgen dat de scheur beperkt blijft tot het producerende gasvoorkomen en niet door de afsluitende kleilaag gaat.

De mechanische parameters van de afsluitende laag verhinderen scheurgroei naar boven. Daar bovenop komt het feit dat boven de Trias zandsteen zich honderden meters dikke kleilagen bevinden die een scheurgroei en daardoor lekkage naar de grondwaterlaag en de oppervlakte voorkomen.



Figuur 13-7: Afsluitende laag boven het gasvoorkomen in de winningsvergunning Waalwijk.

13.6 Geochemische interacties

Er moet voorkomen worden dat door de vloeistoffen die worden gebruikt tijdens de stimulatie geochemische reacties optreden, zoals oplossing van het reservoirgesteente.

De stimulatievloeistof bestaat uit water en 'gellants' (stoffen die water viskeuzer maken). Deze vloeistof zorgt ervoor dat de keramiekkorrels naar de scheurtjes worden getransporteerd. Een 'breaker' (een stof die gellants afbreekt na een bepaalde tijd) is toegevoegd om de viscositeit van de stimulatievloeistof te verlagen, zodat deze terug geproduceerd kan worden. Deze vloeistofsystemen worden vaker gebruikt voor hydraulische stimulatie en reageren niet met het zandsteen gasvoorkomen of met de omliggende lagen.

13.7 Integriteit van de put

Voor een algemene beschrijving van een gasproductieput wordt verwezen naar Paragraaf 3.1.

Een boorput wordt geconstrueerd en gestimuleerd met apparatuur en materialen die ruimschoots de hoogste druk kunnen weerstaan die tijdens de hydraulische stimulatie zouden kunnen optreden. De gasvoorkomen parameters voor de berekening van de hoogst verwachte drukken worden gebaseerd op data die worden verkregen tijdens de boring en boorgatmetingen. Deze informatie wordt ingevoerd in het putstimulatiemodel om de verwachte en de meest ongunstige omstandigheden te berekenen.

De put is ontworpen om een maximale druk te weerstaan die nodig is om het gasvoorkomen veilig te produceren. De put wordt getest op deze maximaal toegestane druk. De hydraulische stimulatie zal worden ontworpen om de druk binnen 80% van de maximaal toegestane druk van de boorput te houden. De pompsnelheid zal tijdens de operatie worden aangepast om de druk onder de 80% grens te houden. Daarnaast zal de A-annulus worden ondersteund met druk tijdens de operatie om te voorkomen dat de productiestijgbuis uitzet en bezwijkt onder de toegepaste druk. Tevens zullen elektronische uitschakelsystemen en overdrukventielen worden toegepast tijdens de hydraulische stimulatie om alles binnen de maximale druklimiet te houden.

13.7.1 Controles/ werkzaamheden voor aanvang hydraulische stimulatie

De volgende controles en werkzaamheden zullen plaatsvinden voor aanvang van de hydraulische stimulatie:

1. Een druktest van de productiestijgbuis (tubing) zal plaatsvinden na het installeren van de productiestijgbuis. De productiestijgbuis zal opnieuw een druktest ondergaan vlak voor aanvang van de hydraulische stimulatie.
2. Een druktest van de A-annulus zal plaatsvinden vlak na het completeren van de put. De A-annulus zal opnieuw een druktest ondergaan vlak voor aanvang van de stimulatiewerkzaamheden.
3. Er zal een Cement Bond Log, CBL, worden genomen om de kwaliteit van het cement en de binding met de mantelbuizen en liner te verifiëren. Deze CBL zal worden geanalyseerd om te verzekeren dat de cementkwaliteit en binding met de mantelbuis en liner voldoende is voor de stimulatie. Indien de kwaliteit van het cement en/of de binding tussen het cement en de casing en liner onvoldoende is, zal een plan opgesteld worden om de cementkwaliteit en de binding te verbeteren voordat de stimulatie zal plaatsvinden.
4. De druk op de A-annulus zal worden opgevoerd voor aanvang van de operatie. Continue monitoring en registreren van de druk op de A-annulus zal plaatsvinden in de controleruimte van de operatie. Een overdrukventiel zal worden geïnstalleerd om overdruk van de A-annulus te voorkomen.
5. Een overdrukventiel zal worden geïnstalleerd op de leidingen van de pomp naar de boorput om te voorkomen dat de pompapparatuur onder overdruk komt te staan. Het pomp materieel heeft

tevens elektronische uitschakelsystemen om het pompen te stoppen zodra deze boven de drukgrenswaarde komt.

Al deze maatregelen worden beschreven in een gedetailleerd stimulatieprogramma voor de betreffende put. Dit gedetailleerde programma zal onderdeel zijn van het werkprogramma dat bij SodM moet worden ingediend. Dit werkprogramma wordt gecontroleerd door en goedgekeurd door SodM vóór de uitvoering van de werkzaamheden.

13.7.2 Controles na hydraulische stimulatie

De volgende controles zullen plaatsvinden na afloop van de hydraulische stimulatie:

1. De A-annulus druk zal worden gemonitord tijdens de stimulatie, tijdens het terug produceren van de vloeistoffen, tijdens de productietest en tijdens de productiefase. Elke onverwachte drukvariatie zal worden onderzocht om corrigerende maatregelen te nemen.
2. Vele veiligheidssystemen zullen worden gebruikt om een overdruksituatie te voorkomen. Mocht er zich een overdruksituatie voordoen, dan zal deze worden onderzocht om de uitwerking op de boorput vast te stellen.

13.8 Blootstelling gevaarlijke stoffen

Tijdens de stimulatie werkzaamheden wordt een frack vloeistof gebruikt. Deze bestaat uit:

- Water ($\pm 95\%$)
- Zand/proppants ($\pm 4\%$)
- Hulpstoffen ($\pm 1\%$) die dit proces mogelijk maken.

De hulpstoffen bevatten additieven. De exacte hulpstoffen die gebruikt worden en de recepten worden tijdens het detailontwerp pas bepaald. De hulpstoffen die in fracking-activiteiten worden gebruikt moeten voldoen aan de voorwaarden die in REACH [Ref. 7 in Paragraaf 13.9] of andere relevante wet- en regelgeving worden gesteld.

De frackoperatie wordt uitgevoerd door een daarin gespecialiseerd bedrijf. Er worden maatregelen getroffen om te voorkomen dat de gebruikte hulpstoffen in contact kunnen komen met grondwater, bodem of lucht. Deze maatregelen betreffen bijvoorbeeld:

- Het vervoer en tijdelijke opslag op de locatie in daarvoor speciale containers volgens de geldende reguliere wet- en regelgeving.
- Het gebruik van speciale meng- en pompapparatuur met ingebouwde veiligheidskleppen.
- Het gebruik van persoonlijke beschermmiddelen zoals beschermde kleding, helm, bril en handschoenen.

Hierdoor wordt voorkomen dat mens of milieu worden blootgesteld aan gevaarlijke stoffen.

Het risico op grond- en/of drinkwatervervuiling met productie- of stimulatievloeistoffen wordt beheerst doordat er verscheidene barrières zijn in de put alsmede op de mijnbouwlocatie die contact van productie- of stimulatievloeistoffen met de omgeving voorkomen. Deze zijn in hoofdlijnen:

- De gecementeerde verbuizing en productie stijgbuis in de put voorkomen dat de productie- of stimulatievloeistoffen in contact komen met het grondwater rond de put.
- De mijnbouwlocatie is voorzien van een vloeistofkerende vloer om bodemverontreiniging bij eventuele lekkages te voorkomen. Verder is de mijnbouwlocatie omsloten door een gesloten vloeistof opvang systeem om te voorkomen dat er productie- of stimulatievloeistoffen in contact komen met het grondwater via lekkage aan de oppervlakte.
- De integriteit van de leidingen wordt gecontroleerd door druk testen van de leidingen die worden gebruikt voor de productie en stimulatie om ervoor te zorgen dat er geen lekkages zijn in deze leidingen.

Daarnaast is er een actief oppervlakte grondwater monitoring programma. Deze maatregelen zorgen ervoor dat het risico op grond- en/of drinkwatervervuiling met productie- of stimulatievloeistoffen uiterst gering is en dat dit risico beheerst kan worden.

13.9 Referenties

1. Resultaten inventarisatie fracking, De toepassing van fracking, de mogelijke consequenties en de beoordeling daarvan, februari 2016, Staatstoezicht op de Mijnen.
2. Monitoring induced seismiscity in the North of the Netherlands: status report 2010, version 1.0, dated July 2012, KNMI Scientific report WR 2012-03.
3. World Stress Map, http://dc-app3-14.gfz-potsdam.de/pub/introduction/introduction_frame.html
4. KNMI, www.knmi.nl
5. Witteveen en Bos, "Aanvullend onderzoek naar mogelijke risico's en gevolgen van de opsporing en winning van schalie- en steenkoolgas in Nederland", Rapport aan Ministerie EZ, 2013.
6. BTO Rapport Schaliegas & Drinkwater: Betrouwbaarheid, KWR Watercycle Research Institute, BTO 2015.016, maart 2015.
7. <http://www.reachinfo.nl/>
8. Fact sheet: fracking nader toegelicht, NOGEPa, Rev. 3, d.d. 7 maart 2013.

14 Bijlage: Seismische Risico Analyse: Details en Achtergronden

De seismische risicoanalyse laat zien dat de voorkomens Loon Op Zand, Loon Op Zand Zuid en Loon Op Zand Zuid Prospect vallen in risico categorie I; dit is de laagste risico-categorie. Dit betekent volgens de gepubliceerde richtlijnen dat alleen monitoring van seismische activiteit via het bestaande seismisch monitoring netwerk van het KNMI noodzakelijk is.

Deze bijlage bevat de details omtrent de seismische risico-analyse. Hierbij is gebruik gemaakt van alle beschikbare reservoir-gegevens die belangrijk zijn bij het inschatten van het seismisch risico.

14.1 Algemeen kader voor Seismische Risico Analyse

Het kader en de hier beschreven methodiek is gebaseerd op: *Methodiek Voor Risicoanalyse Omtrent Geïnduceerde Bevingen Door Gaswinning*; Tijdelijke Leidraad Voor Adressering Mbb. 24.1.p, Versie 1.2, 1 februari 2016, Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) [Ref. 5].

Om het seismisch risicoprofiel vast te stellen van een voorkomen wordt een risico-analyse uitgevoerd voor het voorkomen volgens een getrapt model dat bestaat uit drie stappen. Deze drie stappen worden weergegeven in Figuur 7-1. Op basis van de uitkomsten van de verschillende individuele stappen worden vervolgstappen genomen.

Niveau 1: Screening Potentieel

In deze stap wordt het potentiële vermogen van het gasveld om aardbevingen te genereren bepaald. Dit potentiële vermogen wordt bepaald aan de hand van de correlatie die is opgesteld door TNO in de studie *Deterministische Hazard Analyse voor Geïnduceerde Seismiciteit in Nederland* [Ref. 3 en 4].

Voor velden die op basis van deze initiële analyse een verwaarloosbare kans hebben om geïnduceerde bevingen te genereren, is het niet noodzakelijk om aansluitende niveaus 2 en 3 te doorlopen.

Indien de kans op een geïnduceerde beving niet verwaarloosbaar is, zullen er aanvullende berekeningen worden uitgevoerd om de sterkte van een potentiële geïnduceerde beving te kunnen bepalen. Als de sterkte (seismisch moment, M) van een potentiële geïnduceerde beving boven de 2.5 ligt, dan zal de risico analyse verder worden uitgebreid met de risico matrix (niveau 2).

Niveau 2: Risico Matrix

In deze stap wordt op basis van een risicomatrix-benadering het risico ten gevolge van geïnduceerde aardbevingen verder gekwalificeerd.

De inschattingen van het risiconiveau (I, II, III) bepaalt of er aanvullende monitoringsverplichtingen of maatregelen moeten worden genomen met betrekking tot de productie uit het voorkomen.

Niveau 3: Kwantitatieve Risico Analyse

Er zal een aanvullende kwantitatieve risico-analyse worden uitgevoerd in het geval dat een voorkomen op basis van de risicomatrix als categorie III wordt gekwalificeerd.

14.2 Seismische Risico Analyse voor de voorkomens in dit winningsplan

14.2.1 Niveau 1: Screening Potentieel Loon Op Zand

De studie *Deterministische Hazard Analyse voor Geïnduceerde Seismiciteit in Nederland* (TNO, ref. 3 en 4) (DHAIS) gebruikt gegevens over seismiciteit (bron: www.knmi.nl), drukdata en eigenschappen van de verschillende voorkomens. Aan de hand van de volgende parameters van een olie- of gasvoorkomen wordt de kans bepaald dat zich, op enig moment gedurende de productie van een voorkomen, een beving voordoet:

- $\Delta P/P_{ini}$ = de ratio van drukval (ΔP) en initiële druk (P_{ini}) in het reservoir;
- E = de verhouding tussen de Young's moduli (stijfheidsmoduli) van de 'overburden' en het reservoirgesteente
- Parameter B wordt gedefinieerd door de volgende vergelijking:

$$B = \frac{Fault_surface^{3/2}}{gross_rock_volume} = \frac{l_b^{3/2} \cdot h^{3/2}}{A \cdot h} = \frac{l_b^{3/2} \cdot \sqrt{h}}{A}$$

Waarbij:

l_b = De totale breuklengte van de intra-reservoir breuken en de randbreuken van het voorkomen in meters;

h = De maximale dikte van de gaskolom van het voorkomen in meters;

A = De oppervlakte van het voorkomen gemeten binnen de GWC dieptecontour (in vierkante meters);

De DHAIS kans-classes worden hieronder weergegeven (met P_h de kans op beven van het voorkomen):

Tabel 14-1 DHAIS kans-classificatie (TNO, ref. 3 en 4). De kans betreft bevingen met een magnitude $M > 1.5$.

Reeds bevende voorkomens	
$\Delta P/P_{ini} \geq 28\%$	$B > 0,86$ en $E \geq 1,34$: $P_h = 0.42 \pm 0.08$
	$B > 0,86$ en $1,01 \leq E \leq 1,33$: $P_h = 0.19 \pm 0.05$
	$B < 0,86$ en/of $E < 1,01$: verwaarloosbare kans
$\Delta P/P_{ini} < 28\%$	Verwaarloosbare kans

De grenswaarde voor de drukval als gevolg van gaswinning waaronder geen geïnduceerde bodemtrillingen zijn gemeten, is 28% van de initiële reservoirdruk. De drukval in het Loon Op Zand voorkomen zal deze grenswaarde overschrijden.

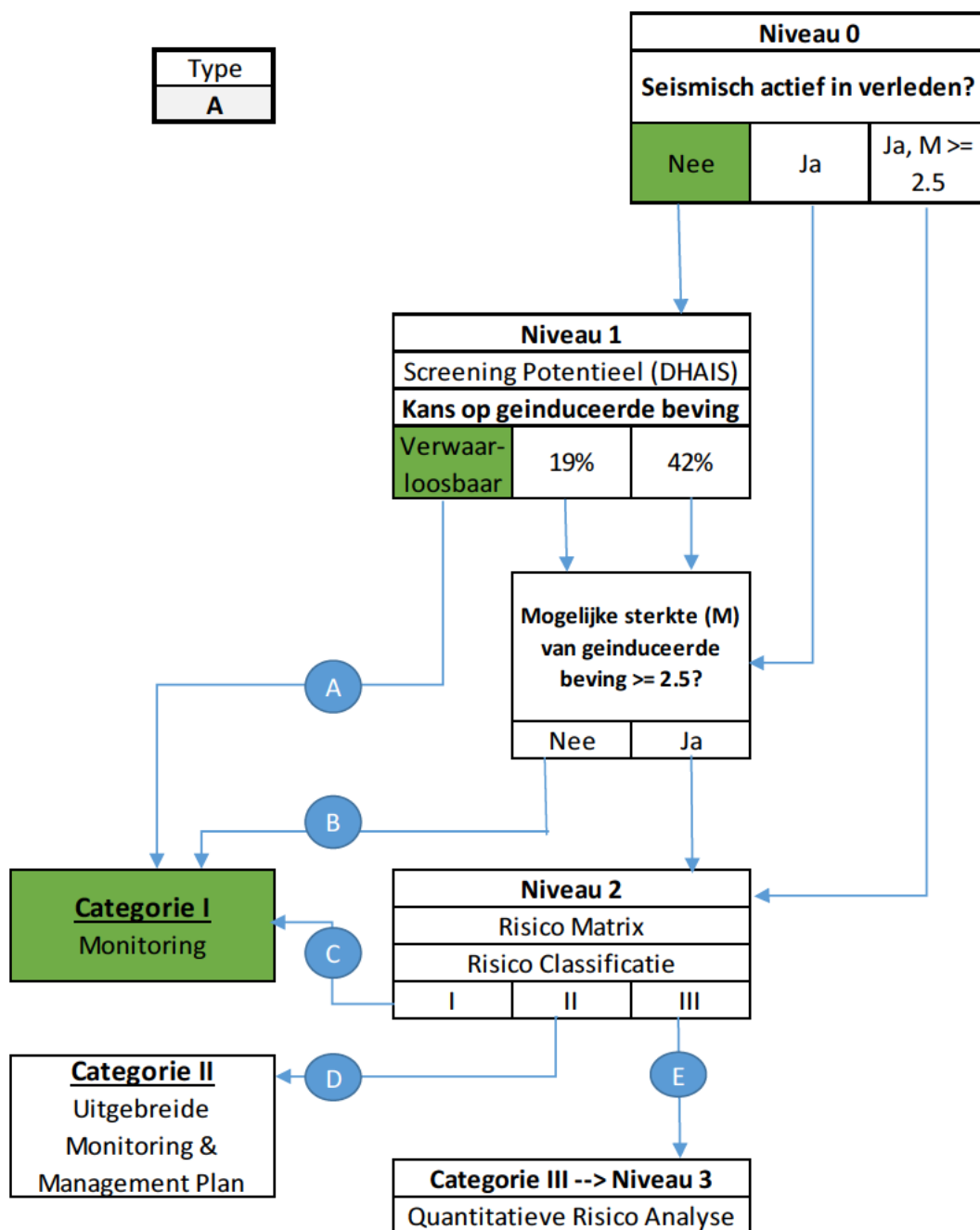
Voor wat betreft de breuken, de B factor is berekend op 0.84. De gesteente-stijfheid is verwerkt in de E factor, die is berekend op 1.00 (Tabel 14-2).

Hierdoor valt het Loon Op Zand voorkomen in de categorie "verwaarloosbare kans".

De conclusie is dus dat het Loon Op Zand voorkomen in Categorie I valt. Deze conclusie is schematisch weergegeven in Figuur 14-1.

Een niveau 2 analyse is niet nodig voor het Loon Op Zand voorkomen.

Loon Op Zand (WWS-01)



Figuur 14-1: SRA beslisboom toegepast voor Loon Op Zand; de uitkomst is Categorie-I.

Tabel 14-2 Parameters voor SRA voor het Loon Op Zand voorkomen.

Depth (GWC)	[mTVDss]	2799
Initial pressure	[bar]	288
Dp/Pini	[-]	91%
Total Fault Length	[m]	2585
Longest Fault	[m]	1324
Area @ GWC	[km ²]	1.56
h	[m]	100
B factor	[-]	0.84
Data sources E		WWS-02 RNROF
		WWS-02 RNKPU
		WWN-03 RNROF
		WWN-03 RNKPU
Overburden, Vp	[m/s]	4878
Overburden, Vs	[m/s]	2681
Overburden, rho	[kg/m ³]	2759
Reservoir, Vp	[m/s]	4717
Reservoir, Vs	[m/s]	2869
Reservoir, rho	[kg/m ³]	2566
Static E Overburden	[GPa]	32.26
Static E Reservoir	[GPa]	32.29
E factor	[-]	1.00

Historic Seismicity?		N
Mmax_hist		0
Num events > 1.5		0

	Vp[m/s]	Vs [m/s]	Dichtheid [kg/m ³]	E [GPa]	E verhouding
Seal (RNKPU)	4878	2681	2759	32.259	1.00
Reservoir (RNROF)	4717	2869	2566	32.289	

Totale breuklengte	[m]	2585
Max. dikte gasvoorkomen	[m]	100
Oppervlakte voorkomen (GWC contour)	[km ²]	1.56
B-factor	[-]	0.84

De waarden voor de Young's modulus E zijn gecorrigeerd van dynamisch naar statisch.

14.2.2 Niveau 1: Screening Potentieel Loon Op Zand Zuid

De studie *Deterministische Hazard Analyse voor Geïnduceerde Seismiciteit in Nederland* (TNO, ref. 3 en 4) (DHAIS) gebruikt gegevens over seismiciteit (bron: www.knmi.nl), drukdata en eigenschappen van de verschillende voorkomens. Aan de hand van de volgende parameters van een olie- of gasvoorkomen wordt de kans bepaald dat zich, op enig moment gedurende de productie van een voorkomen, een beving voordoet:

- $\Delta P/P_{ini}$ = de ratio van drukval (ΔP) en initiële druk (P_{ini}) in het reservoir;
- E = de verhouding tussen de Young's moduli (stijfheidsmoduli) van de 'overburden' en het reservoirgesteente
- Parameter B wordt gedefinieerd door de volgende vergelijking:

$$B = \frac{Fault_surface^{3/2}}{gross_rock_volume} = \frac{l_b^{3/2} \cdot h^{3/2}}{A \cdot h} = \frac{l_b^{3/2} \cdot \sqrt{h}}{A}$$

Waarbij:

l_b = De totale breuklengte van de intra-reservoir breuken en de randbreuken van het voorkomen in meters;

h = De maximale dikte van de gaskolom van het voorkomen in meters;

A = De oppervlakte van het voorkomen gemeten binnen de GWC dieptecontour (in vierkante meters);

De DHAIS kans-classes worden hieronder weergegeven (met P_h de kans op beven van het voorkomen):

Tabel 14-3 DHAIS kans-classificatie (TNO, ref. 3 en 4). De kans betreft bevingen met een magnitude $M > 1.5$.

Reeds bevende voorkomens	
$\Delta P/P_{ini} \geq 28\%$	B > 0,86 en E ≥ 1,34: $P_h = 0.42 \pm 0.08$
	B > 0,86 en $1.01 \leq E \leq 1.33$: $P_h = 0.19 \pm 0.05$
	B < 0,86 en/of E < 1,01: verwaarloosbare kans
$\Delta P/P_{ini} < 28\%$	Verwaarloosbare kans

De grenswaarde voor de drukval als gevolg van gaswinning waaronder geen geïnduceerde bodemtrillingen zijn gemeten, is 28% van de initiële reservoirdruk. De drukval in het Loon Op Zand Zuid voorkomen zal deze grenswaarde overschrijden.

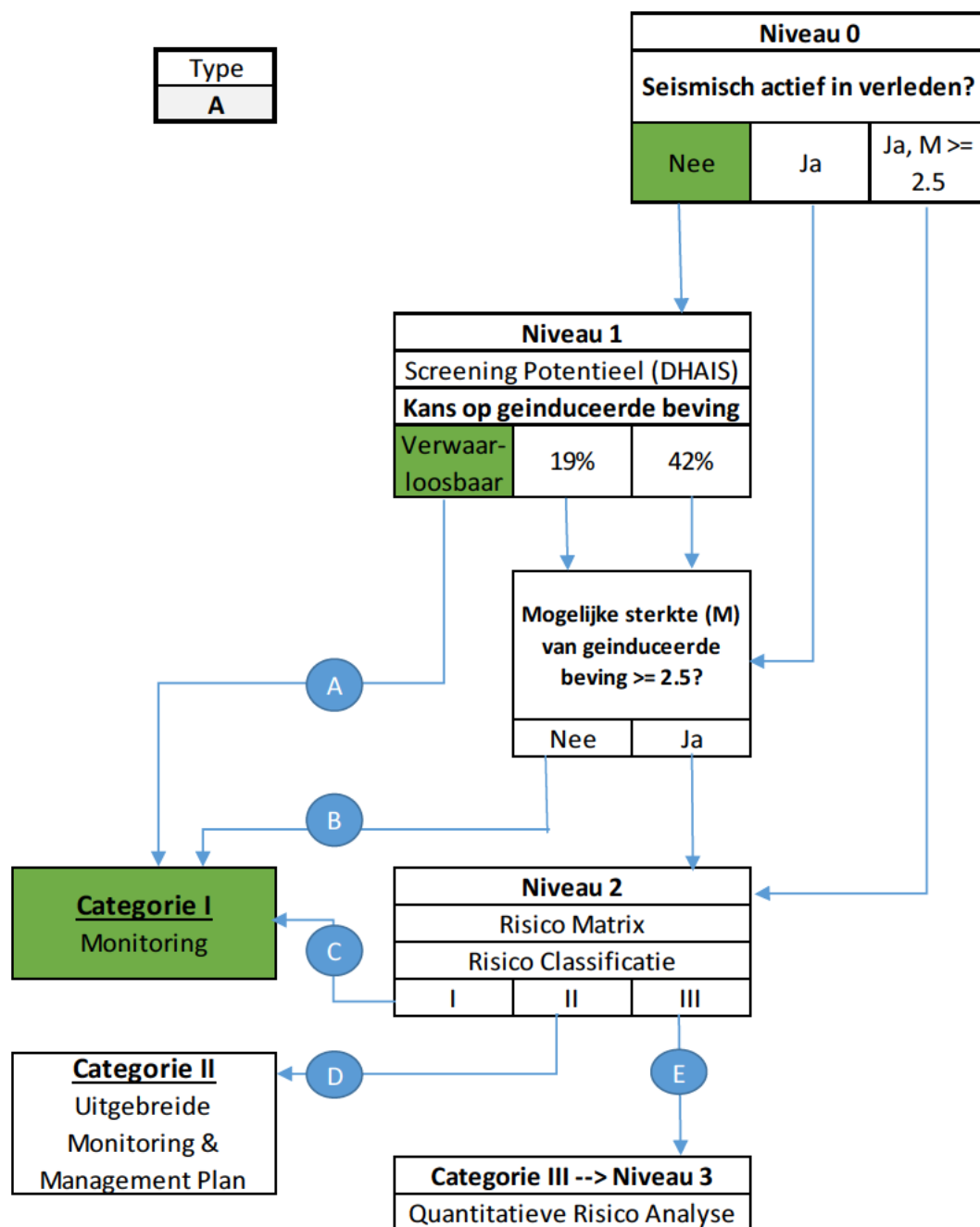
Voor wat betreft de breuken, de B factor is berekend op 2.50. De gesteente-stijfheid is verwerkt in de E factor, die is berekend op 1.00 (Tabel 14-4).

Hierdoor valt het Loon Op Zand Zuid voorkomen in de categorie "verwaarloosbare kans".

De conclusie is dus dat het Loon Op Zand Zuid voorkomen in Categorie I valt. Deze conclusie is schematisch weergegeven in Figuur 14-2.

Een niveau 2 analyse is niet nodig voor het Loon Op Zand Zuid voorkomen.

Loon Op Zand Zuid (WWS-02)



Figuur 14-2: SRA beslisboom toegepast voor Loon Op Zand Zuid; de uitkomst is Categorie-I.

Tabel 14-4 Parameters voor SRA voor het Loon Op Zand Zuid voorkomen.

Depth (GWC)	[mTVDss]	2726
Initial pressure	[bar]	278
Dp/Pini	[-]	91%
Total Fault Length	[m]	3036
Longest Fault	[m]	1518
Area @ GWC	[km ²]	0.60
h	[m]	80
B factor	[-]	2.50
Data sources E		WWS-02 RNROF
		WWS-02 RNKPU
		WWN-03 RNROF
		WWN-03 RNKPU
Overburden, Vp	[m/s]	4878
Overburden, Vs	[m/s]	2681
Overburden, rho	[kg/m ³]	2759
Reservoir, Vp	[m/s]	4717
Reservoir, Vs	[m/s]	2869
Reservoir, rho	[kg/m ³]	2566
Static E Overburden	[GPa]	32.26
Static E Reservoir	[GPa]	32.29
E factor	[-]	1.00

Historic Seismicity?		N
Mmax_hist		0
Num events > 1.5		0

	Vp[m/s]	Vs [m/s]	Dichtheid [kg/m ³]	E [GPa]	E verhouding
Seal (RNKPU)	4878	2681	2759	32.259	1.00
Reservoir (RNROF)	4717	2869	2566	32.289	

Totale breuklengte	[m]	3036
Max. dikte gasvoorkomen	[m]	80
Oppervlakte voorkomen (GWC contour)	[km ²]	0.60
B-factor	[-]	2.50

De waarden voor de Young's modulus E zijn gecorrigeerd van dynamisch naar statisch.

14.2.3 Niveau 1: Screening Potentieel Loon Op Zand Zuid Prospect

De studie *Deterministische Hazard Analyse voor Geïnduceerde Seismiciteit in Nederland* (TNO, ref. 3 en 4) (DHAIS) gebruikt gegevens over seismiciteit (bron: www.knmi.nl), drukdata en eigenschappen van de verschillende voorkomens. Aan de hand van de volgende parameters van een olie- of gasvoorkomen wordt de kans bepaald dat zich, op enig moment gedurende de productie van een voorkomen, een beving voordoet:

- $\Delta P/P_{ini}$ = de ratio van drukval (ΔP) en initiële druk (P_{ini}) in het reservoir;
- E = de verhouding tussen de Young's moduli (stijfheidsmoduli) van de 'overburden' en het reservoirgesteente
- Parameter B wordt gedefinieerd door de volgende vergelijking:

$$B = \frac{Fault_surface^{3/2}}{gross_rock_volume} = \frac{l_b^{3/2} \cdot h^{3/2}}{A \cdot h} = \frac{l_b^{3/2} \cdot \sqrt{h}}{A}$$

Waarbij:

l_b = De totale breuklengte van de intra-reservoir breuken en de randbreuken van het voorkomen in meters;

h = De maximale dikte van de gaskolom van het voorkomen in meters;

A = De oppervlakte van het voorkomen gemeten binnen de GWC dieptecontour (in vierkante meters);

De DHAIS kans-classes worden hieronder weergegeven (met P_h de kans op beven van het voorkomen):

Tabel 14-5 DHAIS kans-classificatie (TNO, ref. 3 en 4). De kans betreft bevingen met een magnitude $M > 1.5$.

Reeds bevende voorkomens	
$\Delta P/P_{ini} \geq 28\%$	$B > 0,86$ en $E \geq 1,34$: $P_h = 0.42 \pm 0.08$
	$B > 0,86$ en $1,01 \leq E \leq 1,33$: $P_h = 0.19 \pm 0.05$
	$B < 0,86$ en/of $E < 1,01$: verwaarloosbare kans
$\Delta P/P_{ini} < 28\%$	Verwaarloosbare kans

De grenswaarde voor de drukval als gevolg van gaswinning waaronder geen geïnduceerde bodemtrillingen zijn gemeten, is 28% van de initiële reservoirdruk. De drukval in het Loon Op Zand Zuid Prospect zal deze grenswaarde overschrijden.

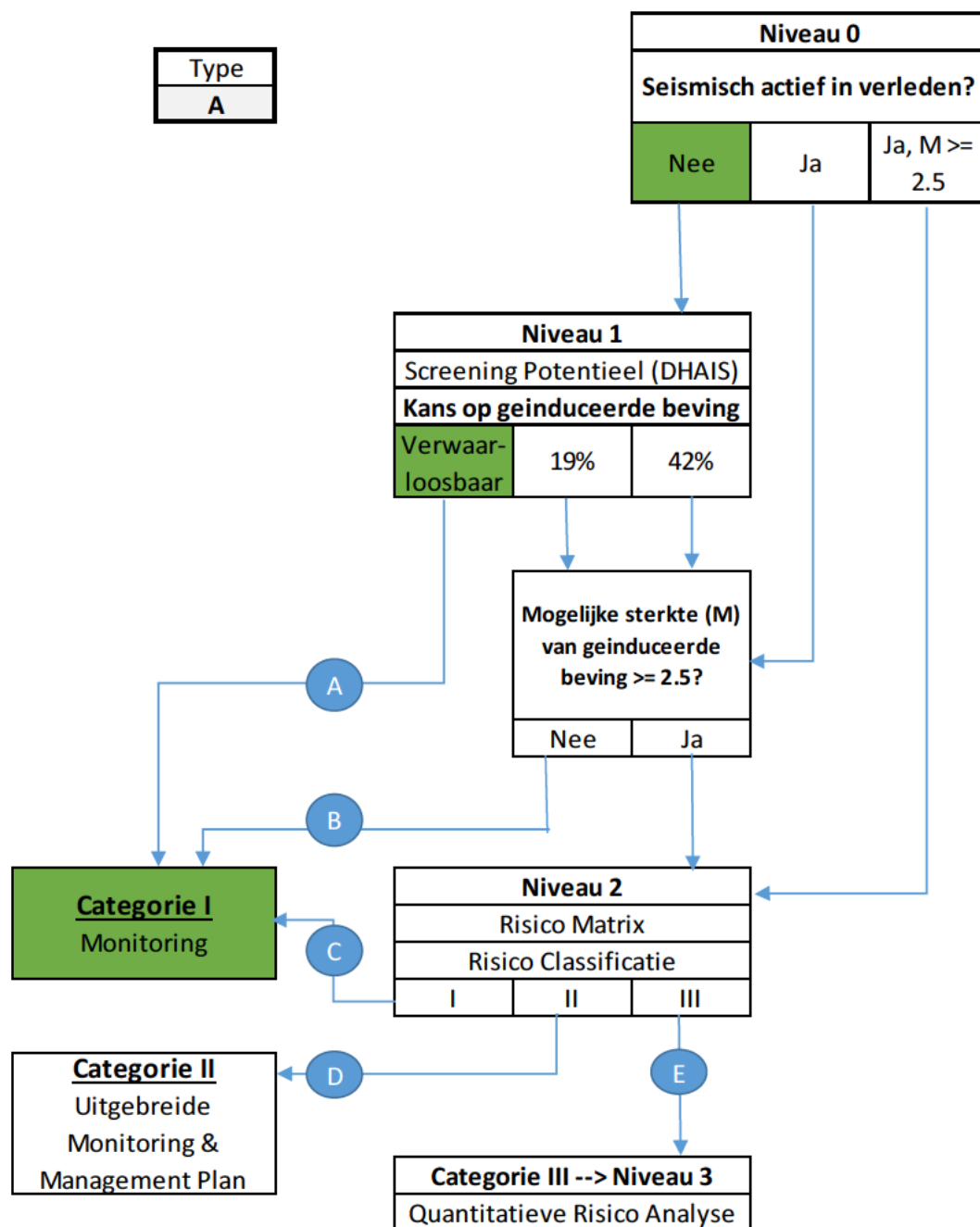
Voor wat betreft de breuken, de B factor is berekend op 3.39. De gesteente-stijfheid is verwerkt in de E factor, die is berekend op 1.00 (Tabel 14-6).

Hierdoor valt het Loon Op Zand voorkomen in de categorie "verwaarloosbare kans".

De conclusie is dus dat het Loon Op Zand Zuid Prospect in Categorie I valt. Deze conclusie is schematisch weergegeven in Figuur 14-3.

Een niveau 2 analyse is niet nodig voor het Loon Op Zand Zuid Prospect.

LOZZ Prospect



Figuur 14-3: SRA beslisboom toegepast voor Loon Op Zand Zuid Prospect; de uitkomst is Categoria I.

Tabel 14-6 Parameters voor SRA voor het Loon Op Zand Zuid Prospect.

Depth (GWC)	[mTVDss]	2726
Initial pressure	[bar]	278
Dp/Pini	[-]	91%
Total Fault Length	[m]	3700
Longest Fault	[m]	1450
Area @ GWC	[km ²]	0.59
h	[m]	80
B factor	[-]	3.39
Data sources E		WWS-02 RNROF
		WWS-02 RNKPU
		WWN-03 RNROF
		WWN-03 RNKPU
Overburden, Vp	[m/s]	4878
Overburden, Vs	[m/s]	2681
Overburden, rho	[kg/m ³]	2759
Reservoir, Vp	[m/s]	4717
Reservoir, Vs	[m/s]	2869
Reservoir, rho	[kg/m ³]	2566
Static E Overburden	[GPa]	32.26
Static E Reservoir	[GPa]	32.29
E factor	[-]	1.00

Historic Seismicity?		N
Mmax_hist		0
Num events > 1.5		0

	Vp[m/s]	Vs [m/s]	Dichtheid [kg/m ³]	E [GPa]	E verhouding
Seal (RNKPU)	4878	2681	2759	32.259	1.00
Reservoir (RNROF)	4717	2869	2566	32.289	

Totale breuklengte	[m]	3700
Max. dikte gasvoorkomen	[m]	80
Oppervlakte voorkomen (GWC contour)	[km ²]	0.59
B-factor	[-]	3.39

De waarden voor de Young's modulus E zijn gecorrigeerd van dynamisch naar statisch.