

RAPPORT

Beoordeling afdekmaterialen zoutwinning Nouryon

Locatie specifieke afweging alternatieven voor het
gebruik van diesel

Klant: Nouryon B.V.

Referentie: BG8017IBRP1909041106

Status: Finale versie

Datum: 4-9-2019

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Postbus 151
6500 AD Nijmegen
Netherlands
Industry & Buildings
Trade register number: 56515154

+31 88 348 70 00 **T**
+31 24 323 93 46 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Beoordeling afdekmaterialen zoutwinning Nouryon

Ondertitel: Beoordeling afdekmaterialen
Referentie: BG8017IBRP1909041106
Status: 01/Finale versie
Datum: 4-9-2019
Projectnaam: Beoordeling afdekmaterialen zoutwinning Nouryon
Projectnummer: BG8017
Auteur(s): 501324, 500597

Opgesteld door: 501324, 500597

Gecontroleerd door: BT

Datum/Initialen: 2019-09-04

Goedgekeurd door: MG

Datum/Initialen: 2019-09-04

Classificatie

Projectgerelateerd



Disclaimer

No part of these specifications/printed matter may be reproduced and/or published by print, photocopy, microfilm or by any other means, without the prior written permission of HaskoningDHV Nederland B.V.; nor may they be used, without such permission, for any purposes other than that for which they were produced. HaskoningDHV Nederland B.V. accepts no responsibility or liability for these specifications/printed matter to any party other than the persons by whom it was commissioned and as concluded under that Appointment. The integrated QHSE management system of HaskoningDHV Nederland B.V. has been certified in accordance with ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 and OHSAS 18001:2007.

Inhoud

1	Inleiding	3
2	Kenmerken van de zoutwinning	5
2.1	Oplosmijnbouw	5
2.1.1	Caverne ontwikkeling	5
2.1.2	Invloed van druk en diepte	5
2.1.3	Functie van afdek materiaal bij zoutwinning	6
2.1.4	Monitoring groei van de caverne	7
2.2	Karakteristieken van de Nouryon winningsgebieden	8
2.2.1	Cluster Noord-Nederland - Heiligerlee	9
2.2.2	Cluster Noord Nederland - Zuidwending	10
2.2.3	Cluster Haaksbergen	12
2.2.4	Cluster Enschede / Hengelo	13
2.2.5	Overzicht belangrijkste kentallen	14
3	Afdekmaterialen	15
3.1	Randvoorwaarden	15
3.2	Huidige werkwijze met diesel als afdek materiaal	16
3.3	Gebruik blauwe diesel als afdek materiaal	17
3.3.1	Ontwerp	17
3.3.2	Installaties	17
3.3.3	Operationeel	17
3.3.4	Gevolg voor fabriek en omgeving	18
3.4	Gebruik stikstof als afdek materiaal	18
3.4.1	Ontwerp	18
3.4.2	Installaties	19
3.4.3	Operationeel	19
3.4.4	Gevolg voor fabriek en omgeving	20
3.5	HSE-aspecten	21
3.6	Beoordeling per winningsgebied	22
4	Methodiek van risicobeoordeling	23
4.1	Benoemen ongewenste gebeurtenis	23
4.1.1	Top Event 1a: Lekkage uit bovengrondse installatie - spuitser bij het puthoofd	23
4.1.2	Top Event 1b: Lekkage uit bovengrondse installatie - Lekstroom in gebouw	23
4.1.3	Top Event 2: Lekkage vanuit de ondergrondse installatie ('breach of confinement')	24
4.1.4	Top Event 3: Lekkage van achtergebleven afdek materiaal	24
4.2	Toepassen bow tie methodiek	24
4.3	Gebruik risico matrix	25

5	Resultaten en beoordeling van risico's	27
5.1	Algemeen	27
5.2	Van top event naar bow tie	27
5.2.1	Top Event 1a: Lekkage uit bovengrondse installatie - Spuiter bij het puthoofd	28
5.2.2	Top Event 1b: Lekkage bij het puthoofd in gebouw	29
5.2.3	Top event 2: Lekkage vanuit de ondergrondse installatie	29
5.2.4	Top event 3: Lekkage van achtergebleven afdek materiaal	30
5.3	Beoordeling risico's	30
5.4	Bespreking risico's	32
6	Conclusies onderzoek	34

Tabellen

Tabel 2-1: Kenmerken van de winningsgebieden.	14
Tabel 3-1: Beoordeling van enkele afdekmaterialen door WEP [lit. 1].	15
Tabel 3-2: Beoordeling gevarenclassificatie door WEP [lit. 1].	15
Tabel 5-1: Risico's bij toepassen diesel	31
Tabel 5-2: Risico's bij toepassen blauwe diesel	31
Tabel 5-3: Risico's bij toepassen stikstof	32

Figuren

Figuur 2-1: Visualisatie van de cavernes in de drie onderscheiden winningsgebieden.	8
Figuur 2-2: Geologische dwarsdoorsnede, diepe ondergrond Heiligerlee.	9
Figuur 2-3: Schematische weergave van een (nog vrij jonge) caverne bij Heiligerlee.	10
Figuur 2-4: Geologische dwarsdoorsnede, diepe ondergrond Zuidwending.	11
Figuur 2-5: Schematische weergave van een nog jonge caverne bij Zuidwending.	11
Figuur 2-6: Geologische dwarsdoorsnede, diepe ondergrond Haaksbergen.	12
Figuur 2-7: Geologische dwarsdoorsnede, diepe ondergrond Hengelo/Enschede	13
Figuur 4-1: Gehanteerde risico matrix.	25
Figuur A-1: Drukverloop bij toepassen stikstof en diesel voor caverne op diepte van 1.550 m-mv.	3
Figuur A-2: Drukverloop bij toepassen stikstof voor caverne op diepte van 1.050 m-mv.	4

Bijlagen

Bijlage 1: Verklarende woordenlijst

Bijlage 2: Geraadpleegde literatuur

Bijlage 3: Bow tie's (12)

Bijlage 4: Drukverloop in de caverne

Managementsamenvatting

Naar aanleiding van een verzoek van de SodM is door de zoutmijnbouwbedrijven een plan van aanpak opgesteld met als doel alternatieven af te wegen voor diesel voor gebruik als blanket bij zoutmijnbouw. Laatste stap in dat plan van aanpak is een beoordeling van alternatieve afdekmaterialen voor de verschillende winningsgebieden. Deze beoordeling richt zich op toekomstige putten in de winningsgebieden van Nouryon en is uitgevoerd door Royal HaskoningDHV in samenwerking met Nouryon.

De studie is uitgevoerd om voor toekomstige cavernes de toepassing van verschillende afdekmaterialen te vergelijken. De uitbreiding van de winning van Nouryon zal plaatsvinden bij de drie huidige winningsgebieden, waarbij met de onderstaande karakteristieken rekening moet worden gehouden:

- Noordelijk cluster (Heiligerlee en Zuidwending) met een hoogte van de cavernes tussen 750-1.000 meter, waarbij de bovenkant van het zout zich bevindt op 450-700 meter onder maaiveld. De cavernes liggen relatief diep.
- Haaksbergen (toekomstige winning) met een hoogte van cavernes van circa 300 meter, waarbij de top van het zout zich op ruim 500 meter onder maaiveld bevindt. De cavernes zijn diep gelegen, maar ondieper dan in Noord-Nederland.
- Cluster Hengelo/Enschede (bestaande winning inclusief uitbreiding Ganzebos) met een hoogte van cavernes van circa 40 meter en een bovenkant van het zout op circa 350 meter onder maaiveld. De cavernes liggen relatief ondiep.

Er zijn in deze studie drie afdekmaterialen met elkaar vergeleken: diesel, blauwe diesel en stikstof. Hierbij is diesel gekozen omdat het de huidige standaard is, blauwe diesel is getoetst als voorbeeld voor een alternatieve vloeistof zonder de toxische eigenschappen van diesel en stikstof is getoetst als voorbeeld voor een gas als afdek materiaal. Van blauwe diesel en stikstof is ten opzichte van diesel de impact op caveerne- en putontwerp, benodigde installaties, operationele aspecten, HSE aspecten en de effecten op de zoutfabrieken beschreven. Vervolgens is voor de toepassing van de drie afdekmaterialen een risicobeoordeling uitgevoerd, waarbij gekeken is naar de risico's met betrekking tot veiligheid/gezondheid, milieu en materiaal.

De toepassing van blauwe diesel in toekomstige putten vereist beperkt extra voorzieningen ten opzichte van diesel. Voorbeelden zijn rekening houden met een lagere dichtheid in het caveerne- en putontwerp en een van de dieselinfrastructuur gescheiden opslag.

De toepassing van stikstof is meer complex ten opzichte van diesel en blauwe diesel. Dit wordt veroorzaakt door typische gaseigenschappen: een lage dichtheid en comprimeerbaarheid. Door de geringe dichtheid stelt stikstof beperkingen aan het dieptebereik van een caveerne en hogere eisen aan de drukbestendigheid van de put en bijbehorende infrastructuur. Drukfluctuaties van stikstof in de caveerne kunnen leiden tot een onbeheersbare groei van de caveerne. Stikstof moet vaak worden aangevuld, omdat het oplost in pekkel, regelmatig moet worden afgelaten en hergebruik niet mogelijk is. Het beheersen van het blanketniveau vereist bij stikstof een grotere en complexere installatie en heeft een hogere impact op de omgeving dan bij diesel. Daarnaast zijn additionele maatregelen nodig om effecten op het pekkeltransport- en indamproces te minimaliseren.

Ten aanzien van de winningsgebieden leidt de beoordeling van de operationele consequenties er toe dat:

- Noordelijk cluster: diesel kan zonder verandering van de operatie toegepast worden. Het toepassen van blauwe diesel (of een vergelijkbare stof) met een lagere dichtheid leidt tot beperkte aanpassingen aan het ontwerp van put, caveerne en installatie, maar is operationeel vergelijkbaar met de toepassing van diesel. Het toepassen van stikstof leidt voor diep gelegen cavernes met

een groot dieptebereik vanwege de benodigde hoge druk tot een aanzienlijke beperking van de cavernehoogte. Daarnaast is door woningen de inpasbaarheid in de omgeving problematisch.

- Haaksbergen: het huidige ontwerp is gebaseerd op het gebruik van diesel als afdekmedium. Het toepassen van blauwe diesel (of een vergelijkbare stof) is waarschijnlijk mogelijk binnen het bestaande ontwerp voor caveerne en put. Het toepassen van stikstof is mogelijk met beperkt verlies van zoutreserves, maar leidt wel tot aanzienlijke aanpassing van het bestaande ontwerp van de putten en de bovengrondse installaties. Daarnaast is door woningen de inpasbaarheid in de omgeving problematisch.
- Cluster Hengelo-Enschede: het huidige ontwerp van de laatste fase van Ganzebos is gebaseerd op het gebruik van diesel als afdekmedium. Het toepassen van blauwe diesel (of een vergelijkbare stof) is waarschijnlijk mogelijk binnen het bestaande ontwerp voor caveerne en put, maar zal wel leiden tot aanpassingen aan de bovengrondse installatie. Het toepassen stikstof is vanwege het huidige ontwerp van het caveerne-veld en het incrementele karakter van nog eventuele laatste uitbreidingen niet mogelijk.

Voor het toepassen van afdekmaterialen in de oplosmijnbouw zijn drie top events geformuleerd waarvan vervolgens via de systematiek van bowtie's de risico's zijn bepaald. De top events zijn:

- Top Event 1: Leckage van afdekmedium uit de bovengrondse installatie. Binnen dit top event zijn twee onderscheiden scenario's uitgewerkt. Dit zijn top event 1a: een bovengrondse lekkage in de vorm van een spuiters en top event 1b: een kleine lekkage in de bovengrondse installatie binnen een gebouw (bijvoorbeeld een zouthuisje).
- Top Event 2: Leckage vanuit de ondergrondse installatie ('breach of confinement'). Hierbij is er sprake van een lekkage tijdens de zoutwinning vanuit de caveerne of vanuit de Last Cemented Casing (LCC).
- Top Event 3: Leckage van achtergebleven afdekmedium. Na afloop van de zoutwinning kan er - op lange termijn - lekkage ontstaan door geleidelijke druktoename van de materialen in de caveerne. Hierdoor kan ook afdekmedium de zoutformatie verlaten.

Uit de risicobeoordeling blijkt voor de verschillende afdekmaterialen:

- Veiligheids- en gezondheidsrisico's: Leckage van diesel kan bij blootstelling leiden tot negatieve gezondheidseffecten. Voor blauwe diesel geldt dit niet. Het gebruik van stikstof brengt grote veiligheidsrisico's met zich mee. De belangrijkste is acuut verstikkingsgevaar bij een lekstroom in een gebouw. Bij een spuits is een dodelijk ongeval mogelijk,
- Milieurisico's: Diesel heeft in het geval van een lekkage negatieve effecten op het milieu. Dit geldt voor blauwe diesel in geringere mate, door de afwezigheid van toxiciteit. Het vrijkomen van stikstof zelf heeft geen milieugevolgen. Echter bij bijvoorbeeld een spuits komen er al snel grote hoeveelheden pekels vrij met significante gevolgen voor het milieu,
- Materiële risico's: De materiële schade die kan ontstaan als gevolg van een lekkage van diesel is vergelijkbaar met de materiële schade bij een lekkage van blauwe diesel. Door de aanzienlijk hogere drukken en gas-handling equipment is in geval van calamiteiten grotere materiële schade bij toepassing van stikstof te verwachten.

Op basis van de risicobeoordeling ligt het voor de hand de toepassing van een alternatieve vloeistof als afdekmedium verder te onderzoeken. Naast blauwe diesel zijn andere biologische, synthetische en minerale oliën hiervoor kandidaat. Hiermee worden de veiligheids-, gezondheids- en milieurisico's die gepaard gaan met het gebruik van diesel geminimaliseerd, zonder nieuwe risico's te introduceren zoals bij toepassing van een gas als blanket zou gebeuren.

1 Inleiding

Algemeen

In Nederland vindt al meer dan een eeuw zoutwinning plaats vanuit zoutlagen door middel van oplosmijnbouw. Bij oplosmijnbouw worden via geboorde putten ondergrondse holten, cavernes genoemd, uitgelooft. Om de ontwikkeling of groei van cavernes gecontroleerd te laten verlopen, wordt gebruik gemaakt van een afdek materiaal. Een afdek materiaal beschermt de bovenzijde van een caverne ('het dak') tegen uitlofting. Bij de zoutwinning in Nederland wordt voornamelijk gebruik gemaakt van diesel als afdek materiaal.

SodM heeft het rapport "Staat van de sector zout" (mei 2018) gepubliceerd waarin zes aanbevelingen aan de sector worden genoemd. Aanbeveling nummer 3 luidt:

"Gebruik stikstof als alternatief voor dieselolie daar waar dat kan. Ga op zoek naar andere alternatieven voor dieselolie."

In een brief van 14 februari 2019 heeft SodM aan Nouryon gevraagd om een plan van aanpak op te stellen met als doel alternatieven te ontwikkelen voor gebruik als blanket bij zoutmijnbouw. In de brief is aangegeven dat:

- Naast diesel en stikstof ook andere alternatieven bekeken moeten worden,
- Milieu-, gezondheids- en veiligheidsaspecten moeten worden meegewogen, en
- Alternatieven moeten voldoen aan de REACH wetgeving.

Daarbij is door SodM geadviseerd dat de drie zoutmijnbouwbedrijven in Nederland het onderzoek als branche oppakken gezien de gemeenschappelijke problematiek.

De zoutmijnbouwbedrijven hebben een plan van aanpak opgesteld, dat bestaat uit vijf stappen:

- Stap 1: Opstellen van functionele criteria,
- Stap 2: Opstellen groslijst van potentiële blanketmaterialen,
- Stap 3: Vaststellen van product-gerelateerde VGM-eigenschappen,
- Stap 4: Vaststellen van potentiële blanket materialen (hiermee ontstaat een lijst van stoffen die in volgorde van VGM-eigenschappen meer of minder geschikt zijn als blanket materiaal).
- Stap 5: Beoordeling van het afdek materiaal per winningsgebied.

De eerste vier stappen zijn onderzocht door WEP en gerapporteerd [lit. 1]. Het voorliggende rapport heeft betrekking op stap 5, de beoordeling van het afdek materiaal per winningsgebied. Nouryon heeft Royal HaskoningDHV gevraagd dit onderzoek uit te voeren.

Doel van het onderzoek

Per winningsgebied wordt vastgesteld welke potentiële blanketmaterialen toepasbaar zijn en onder welke voorwaarden en met welke consequenties. Deze stap wordt door de drie zoutmijnbouwbedrijven apart uitgevoerd, omdat consequenties afhankelijk zijn van pekelwinning, zoutproductie en uiteindelijke toepassing van het zout. Voor Nouryon gaat het om de volgende clusters:

- Noordelijk cluster (Heiligerlee en Zuidwending met eventuele toekomstige uitbreidingen),
- Haaksbergencluster (toekomstige winning),
- Cluster Hengelo/Enschede.

Dit onderzoek richt zich op toekomstige cavernes die worden gevormd ten behoeve van zoutwinning. Nouryon maakt hierbij gebruik van de eigen Risk-Matrix en Hazard Study systematiek zoals die ook worden toegepast bij evaluatie van andere procesinstallaties en activiteiten.

Bij het gebruik van alternatieve afdekmaterialen moeten er vervolgens nieuwe put- en procesontwerpen worden gemaakt en de toepassingen van de pekel worden geëvalueerd. Deze laatste twee aspecten van de evaluatie zijn, gezien de nodige mijnbouw- en proces technische diepgang, buiten de scope van deze studie gelaten.

Deze beoordeling van risico's is gedaan voor het toepassen van afdekmaterialen in toekomstige cavernes.

Opzet van het onderzoek

Om vast te stellen welke afdekmaterialen toegepast kunnen worden en welk type afdek materiaal kan worden toegepast per winningsgebied, is gekeken naar de mogelijke negatieve gevolgen voor gezondheid, milieu en materiaal en de operationele aanpassingen die nodig zijn. Er is gekeken naar nieuw aan te leggen cavernes. De resultaten van het WEP onderzoek [lit. 1] zijn als startpunt gebruikt. Internationaal onderzoek naar alternatieven in de zoutmijnbouw heeft geen andere alternatieven opgeleverd [lit. 6].

Eerst is bekeken welke gevolgen het toepassen van een ander type afdek materiaal heeft voor het operationeel functioneren en bedrijven van de zoutwinning. De benodigde aanpassingen zijn voor ieder type afdek materiaal globaal in beeld gebracht. Vervolgens is op hoofdlijnen beoordeeld welke gevolgen de keuze van het afdek materiaal kan hebben op het milieu en voor de gezondheid van stakeholders in de omgeving (onder meer landeigenaren en omwonenden). Bovenstaande factoren worden samengenomen om tot een afweging te komen van het potentieel meest geschikte afdek materiaal per winningsgebied. Hierbij vindt toetsing plaats aan de doelstelling van Nouryon: het planmatig en economisch verantwoord winnen van haliet (steen-zout) op een voor mens en milieu veilige wijze waarbij er geen onacceptabele gevolgen optreden.

Vervolgens is voor het onderzoek naar mogelijk negatieve gevolgen voor gezondheid, milieu en materiaal gebruik gemaakt van een risicoanalyse. Voor de risicoanalyse is gebruik gemaakt van de bow-tie methodiek, waarbij ongewenste situaties in beeld worden gebracht. De resultaten zijn samengebracht in een risicomatrix, in het verlengde van de werkwijze die door SodM is toegepast bij het opstellen van de "Staat van de sector zout". Hiermee ontstaat inzicht in de mogelijke risico's voor de verschillende afdekmaterialen.

Leeswijzer

De bevindingen van het onderzoek zijn in deze rapportage weergegeven. Hoofdstuk 2 geeft een beschrijving van de wijze waarop zoutwinning door Nouryon wordt toegepast (voor zover relevant voor dit onderzoek). Hoofdstuk 3 is specifiek gewijd aan de rol en toepassing van afdekmaterialen bij zoutwinning, inclusief de mogelijke aanpassingen van de operationele zoutwinning. Dit leidt tot een voorkeur voor toepassing van een afdek materiaal per winningsgebied. Hoofdstuk 4 beschrijft de methodiek van de risicoanalyse. De uitgevoerde risicoanalyse wordt toegelicht in hoofdstuk 5. In hoofdstuk 6 komen de bevindingen uit de risicoanalyse, de mogelijke aanpassingen bij zoutwinning en de gevolgen voor de omgeving bij elkaar.

In bijlage 1 is een verklarende woordenlijst opgenomen. Het literatuuroverzicht staat in bijlage 2, de bow-ties zijn opgenomen in bijlage 3 en een toelichting over drukverloop in de caveerne staat in bijlage 4.

2 Kenmerken van de zoutwinning

2.1 Oplosmijnbouw

2.1.1 Caverne ontwikkeling

Zoutwinning met behulp van cavernes

Bij de door Nouryon toegepaste mijnbouwmethode, oplosmijnbouw, wordt er zoet water in de ondergrondse zoutlaag gepompt, waardoor het zout oplost. Er ontstaan ondergrondse holtes (cavernes) op de plaats waar oorspronkelijk het zout zat. Door het oplossen van het zout raken deze holtes gevuld met verzadigde pekkel, een mengsel van in water opgelost zout. Tijdens de productiefase van een caverne wordt in een put met twee buizen via de ene buis zoet water naar beneden gepompt en via de andere buis de pekkel naar boven gedrukt. Door de druk van het ingepompte zoete water wordt de pekkel vanuit de caverne omhoog gestuwd en vervolgens via pijpleidingen van de winningslocatie naar de productiesite getransporteerd. Op de productiesites (Delfzijl in Noord-Nederland en Hengelo in Twente) wordt de pekkel door indamping verwerkt tot zout. In Hengelo wordt een deel van het geproduceerde zout verder verwerkt tot zout geschikt voor menselijke of dierlijke consumptie.

Methode is aangepast aan de zoutformaties

Deze methode van zoutwinning is in de drie winningsgebieden in beginsel hetzelfde. De geologische omstandigheden zijn echter verschillend, waardoor de diepte van de cavernes, de druk, de hoogte van de cavernes en de hoeveelheid te winnen zout kunnen afwijken.

Gebruik van putten voor injectie zoet water en productie pekkel

Ten behoeve van het vormen van een caverne wordt een boring uitgevoerd, waarmee buizen (casings of 'verbuizing') in de ondergrond worden gebracht. Er kan sprake zijn van meerdere verbuizingen in een boorgat. De buitenste verbuizing wordt als eerste aangebracht, heeft de grootste diameter en kent de kleinste diepte. De volgende verbuizingen worden binnen de eerste verbuizing aangebracht tot op grotere diepten. De laatst aangebrachte verbuizing reikt het diepst. De buizen die in contact staan met de doorboorde lagen worden gecementeerd aan de buitenzijde. De onderzijde van de diepst reikende verbuizing komt in het cavernedak en wordt met het zout gecementeerd. Deze onderkant van de gecementeerde verbuizing wordt aangeduid als de Last Cemented Casing Shoe (LCCS).

2.1.2 Invloed van druk en diepte

De gesteentedruk (uitgedrukt in bar) neemt toe met de diepte. In de berekeningen wordt een toename van de gesteentedruk van 0,22 bar/m diepte aangehouden.

De druk binnenin een caverne mag nooit groter worden dan de gesteentedruk op een bepaalde diepte, omdat anders breukjes of scheurtjes ontstaan op de zwakste plek, oftewel de aangebrachte aanhechting van de gecementeerde buis naar het gesteente (de LCCS), waardoor het materiaal (pekkel en/of afdek materiaal) uit de caverne kan ontsnappen. Voor het materiaal in de caverne wordt derhalve gerekend met een maximaal toegestane toename van de druk van 0,18 bar/m diepte, wat een veiligheidsmarge van 20% geeft ten opzichte van de (gemiddelde) drukgradiënt voor gesteente van 0,22 bar/m diepte.

De maximale toelaatbare druk in een caverne wordt bepaald door de diepte van de onderste gecementeerde casing in het zoutgesteente (last cemented casing shoe, LCCS). Indien de LCCS zich op 350 m diepte bevindt, mag de maximale druk in de caverne daar circa 60 bar worden, bij 500 meter diepte wordt dat 90 bar, en op 1.000 m diepte geldt een maximale druk van 180 bar.

Een caveerne heeft een bepaalde afstand tussen de boven- en onderkant (hoogte). Voor de cavernes in het cluster Noord-Nederland kan - met de bovenkant op 600 m diepte en de onderkant op 1600 m diepte - dat zelfs 1000 meter hoogteverschil bedragen. Afhankelijk van de dichtheid van het materiaal waar de caveerne mee gevuld wordt, geeft dat een groter of kleiner drukverschil tussen onderin en bovenin de caveerne.

De dichtheidsverschillen tussen de verschillende materialen en het omringende gesteente (zoutgesteente) heeft belangrijke consequenties voor het ontwerp van een caveerne. Dit wordt nader toegelicht in paragraaf 3.4.3.

2.1.3 Functie van afdek materiaal bij zoutwinning

Het uitloggen van een caveerne zonder gebruik te maken van een afdek materiaal leidt tot een ongecontroleerde groei van een caveerne en daarmee tot het risico op significante bodemdaling en biedt daarnaast geen zekerheid over de te winnen hoeveelheid zout. Een planmatige winning van zout door oplosmijnbouw is zonder afdek materiaal niet te realiseren.

De risico's voor het niet inzetten van een afdek materiaal bestaan uit:

- Moeilijk tot onbeheersbare winning,
- Het ontstaan van instabiele cavernes,
- Onberekenbare bodemdaling,
- Het ontstaan van lekkage paden voor pekels naar grondwater,
- Onbetrouwbare productie.

Toepassen afdek materiaal bij zoutwinning

In de productiefase van een caveerne wordt een hulpstof - een afdek materiaal - gebruikt om de groei richting van een caveerne te sturen. Dit houdt in dat verticale groei wordt geremd door het gebruik van een stof, ook wel "blanket" of deken genoemd, die op de pekels drijft en zo voorkomt dat het zoutdak van een (beginnende) caveerne oplost. De groei richting is daardoor veeleer in de breedte in plaats van verticaal. Tot op heden wordt als hulpstof diesel of huisbrandolie gebruikt, omdat daarin geen zout oplost en diesel/huisbrandolie zelf ook niet oplost of mengt met de pekels. De afdek olie blijft op de ruwe pekels drijven. Hierdoor wordt het dak van een caveerne afgeschermd, wordt oplossing van het steenzout in verticale richting verhinderd en wordt de oplossing van het steenzout in horizontale richting bevorderd. Door het niveau van het afdek materiaal continu te meten en aan te passen, is de ontwikkeling en de vorm van de caveerne goed te sturen.

Lange termijn

Na beëindiging van de winning wordt het toegepaste afdek materiaal zoveel als mogelijk verwijderd. Omdat het cavernedak door aanwezige oneffenheden in het zout nooit vlak is en omdat er mogelijk olie plakt aan neergevallen onoplosbaar materiaal ('sump materiaal'), blijft altijd afdek materiaal achter in de caveerne. Deze hoeveelheid verschilt per caveerne. Na afsluiting van de winning blijft een met verzadigde pekels (en enige olie) gevulde caveerne achter.

2.1.4 Monitoring groei van de caverne

In de huidige situatie, waarbij nog diesel wordt gebruikt, ziet monitoring er bij de Noord-Nederlandse cavernes als volgt uit:

- Bij iedere caverne in vindt met een bepaalde regelmaat een workover plaats. Bij een workover vindt een test plaats op de integriteit van de put, de verbuizingen en de LCCS. Daarnaast wordt d.m.v. sonar een opname gemaakt van de holruimte ter beoordeling van de ontwikkeling en integriteit van de caverne.
- In iedere caverne wordt met de workover een zogenaamde Pulse Neutron Density (PND) meting verricht. Deze meting volgt op een workover. Daarmee wordt de diepte van het afdek materiaal (de oliespiegel) vastgesteld,
- Afhankelijk van ontwikkelingsfase van een caverne en het gerealiseerde productievolume kan om de twee tot drie jaar een aanvullende PND meting worden gedaan,
- Er is continu een nauwgezette controle op de olie-, water- en pekeldruk bij een actieve caverne. Daarmee wordt de diepte van het diesel-pekels grensvlak in de caverne bepaald.

In de huidige situatie, waarbij nog diesel wordt gebruikt, ziet monitoring er bij de cavernes in Hengelo/Enschede als volgt uit:

- Er worden vrijwel iedere 2 tot 3 jaar workovers en sonarmetingen uitgevoerd. Daarbij wordt de integriteit standaard getest met druktesten,
- Middels het BCS (blanket control system) wordt continu het grensvlak van afdek materiaal (diesel) en pekels gemeten op basis van het verschil in geleidbaarheid [lit. 24],
- Er is periodieke controle op de oliedruk bij een actieve caverne.

Blanket-monitoring

Er zijn verschillen tussen het gebruik van een vloeistof dan wel een gas als blanket. De dichtheid van een vloeistof is vele malen groter dan die van een gas. Dat heeft gevolgen voor de wijze waarop de stof kan worden ingezet als afdek materiaal.

De dikte van het blanket is van belang met het oog op het sturen (beheersen) van de groei van een caverne. Voor het monitoren van de blanketdikte worden meerdere technieken toegepast. Feitelijk wordt bij de monitoring de diepte van de blanket gemeten door het vaststellen van het grensvlak met de pekels. Op basis van de diepte van de blanket kan de dikte van de blanket worden afgeleid.

In de bestaande situatie wordt in Twente BCS (blanket control system) toegepast. Dit is een continue meetmethode. Omdat in de hogere cavernes in Noord-Nederland het blanketniveau sterker varieert, is het toepassen van een BCS daar niet mogelijk. De blanketdiepte wordt daar periodiek (iedere 2 jaar) vastgesteld door middel van wireline (PDN) metingen.

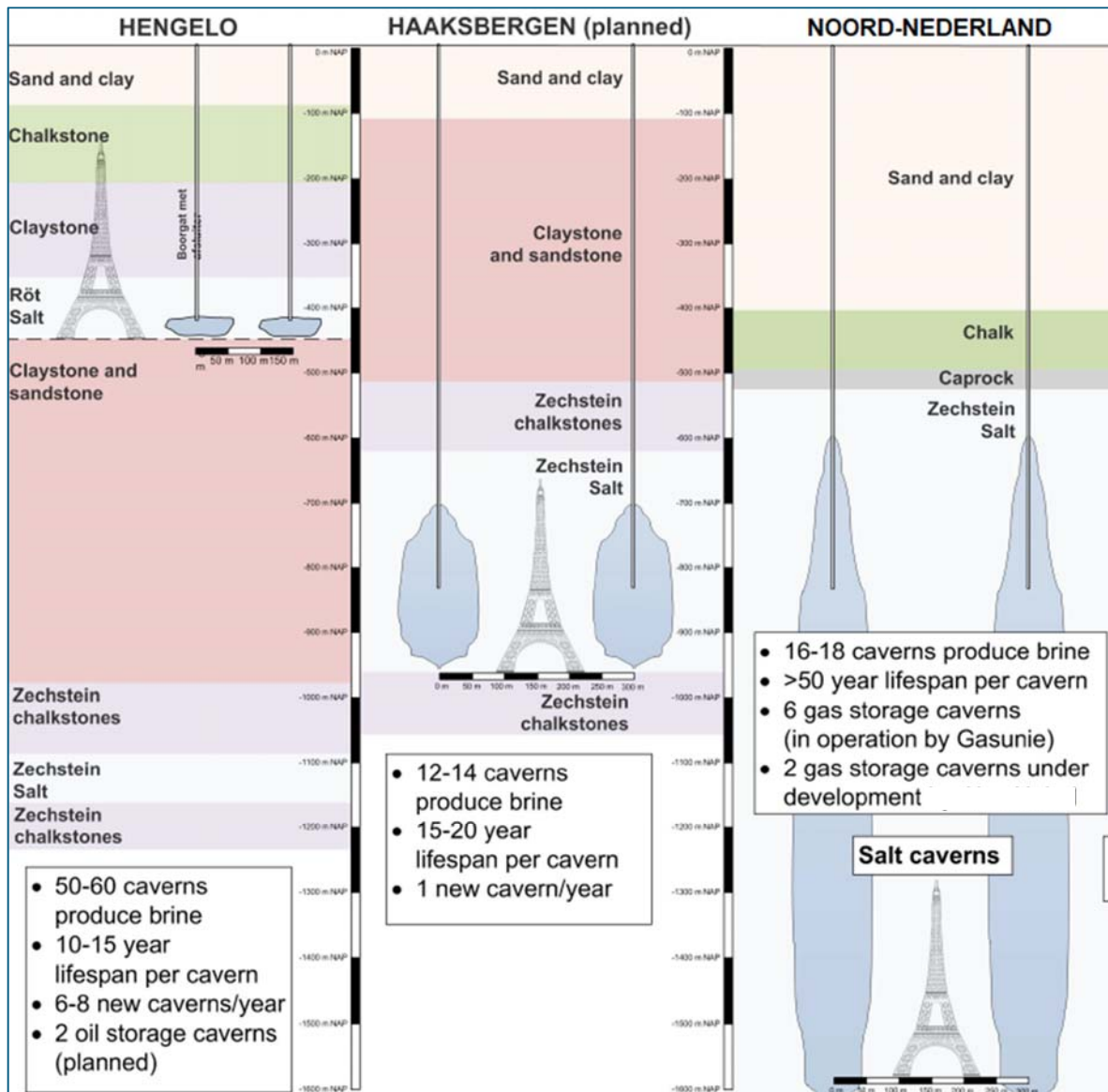
Een BCS kan ook gebruikt worden bij het meten van het grensvlak van pekels en een gasblanket als stikstof [lit. 24].

Druk-monitoring

Naast metingen aan de blanketdiepte vindt er drukmonitoring van pekels, water en blanketvloeistof plaats. In Noord-Nederland vindt er een continue drukmonitoring plaats. Daar is drukmonitoring het belangrijkste middel om de blanketdiepte te bepalen tussen de periodieke wireline (PND) metingen door. In Haaksbergen wordt in de toekomst ook continue drukmonitoring toegepast. In Twente wordt de water-, pekels en blanketvloeistofdruk twee maal per week per caverne geregistreerd.

2.2 Karakteristieken van de Nouryon winningsgebieden

Bij Heiligerlee, Zuidwending wordt zout gewonnen uit het Zechstein-zoutkussen. De winning bij Haaksbergen zal ook plaatsvinden uit het Zechstein. Het Zechstein zout is in het Perm afgezet. Voor Hengelo/Enschede vindt de winning plaats uit het zogenaamde Röt-zout, dat in het Trias is gevormd. In onderstaand Figuur 2-1 staan de belangrijkste verschillen aangegeven.



Figuur 2-1: Visualisatie van de cavernes in de drie onderscheiden winningsgebieden.

In onderstaande beschrijvingen per winningsgebied wordt de hoeveelheid afdek materiaal per caveerne benoemd. De verschillen in hoeveelheid toegepast afdek materiaal per caveerne hangt samen met de ontwikkelingsfase van een caveerne en ontstane oneffenheden in de wand van een caveerne. Daarnaast kan er sprake zijn van afwijkingen veroorzaakt door het verlies van afdek materiaal via niet volledig dichte binnenbuizen en onjuiste registraties. De registratie is in de loop van 60 jaar sterk verbeterd.

De winning van Heiligerlee en Zuidwending wordt hieronder apart beschreven. Echter, voor de beoordeling van risico's voor afdekmaterialen wordt er geen verschil gemaakt tussen deze winningslocaties en worden zij aangeduid als cluster Noord-Nederland.

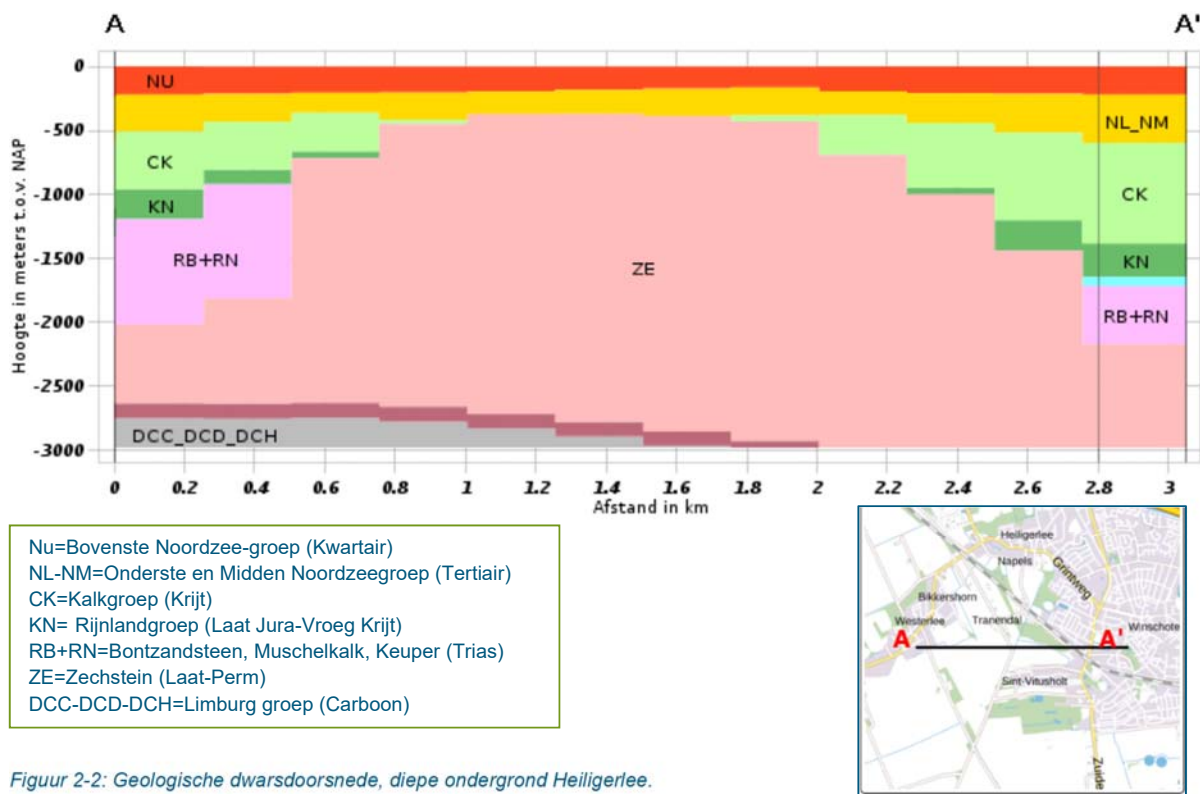
2.2.1 Cluster Noord-Nederland - Heiligerlee

Zoutvoorkomen in de ondergrond

De winning van steenzout vindt plaats in de Zechsteinformatie, in de zoutdome van Winschoten. Het zout wordt voornamelijk in de zogenaamde Stassfurt serie (Zechstein 2) gewonnen. De top van de zoutdome bevindt zich op een diepte van 410 tot 510 m beneden NAP. De onderkant, de basis van de Zechstein formatie bevindt zich op een diepte van ca. 2.800 m-NAP.

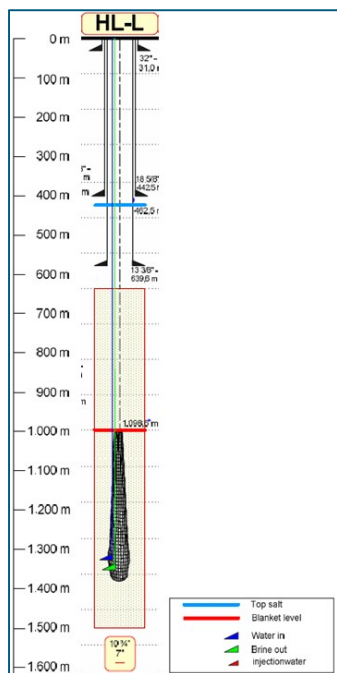
De zuiverheid van het zout is zeer groot (> 96% NaCl); er wordt slechts geringe (< 4%) bijmenging van andere mineralen gevonden. Kalium en magnesiumlagen worden niet aangetroffen.

Figuur 2-2 geeft een schematisch beeld van het zoutvoorkomen bij Heiligerlee.



Figuur 2-2: Geologische dwarsdoorsnede, diepe ondergrond Heiligerlee.

Zoutwinning



In het winningsplan [lit. 15] wordt het gebruik van huisbrandolie (hbo 2) als afdek materiaal genoemd.

In de 10 actieve cavernes op Heiligerlee is tot medio 2008 in totaal 1.050 m³ aan huisbrandolie als blanket toegepast (maximaal 207 m³ en minimaal 34 m³ per caveerne, met een gemiddelde van 105 m³) [lit. 23]. Tussen 2008 en 2019 is gemiddeld per actieve caveerne 135 m³ huisbrandolie toegepast als afdek materiaal. De toediening van huisbrandolie gebeurt individueel per put. Er is geen centraal distributiesysteem.

De caveerne aangeduid als HL-K is inmiddels ingezet voor stikstofopslag (door een andere partij), nadat het afdek materiaal is verwijderd.

Van de cavernes HL-E, HL-G en HL-H is het afdek materiaal zoveel als mogelijk verwijderd. De zoutwinning uit deze cavernes is gestaakt. De cavernes worden de komende jaren geabandonneerd. De daarbij vrijgekomen huisbrandolie (naar schatting 240 m³) is vrijwel geheel verdeeld over de andere actieve cavernes.

De meetresultaten van de periodieke monitoring geven geen afwijkingen aan (geen drukverlies en/of onverwachte veranderingen).

Figuur 2-3: Schematische weergave van een (nog vrij jonge) caveerne bij Heiligerlee.

Omgeving van de zoutwinning

Het caverneveld wordt doorsneden door lokale wegen. Op korte afstand van de puthoofden is bebouwing (woonhuizen en bedrijfsbebouwing) aanwezig. Het gebied en omgeving is niet bestemd voor de winning van drinkwater (dichtstbijzijnde drinkwaterwinning is groter dan 10 km van de zoutwinning verwijderd).

Status van de zoutwinning

Er zijn nieuwe boringen voorzien, namelijk HL-N [lit. 15] en HL-P, HL-R, HL-S en HL-T in het iets zuidoostelijk gelegen gebied Zuiderveen.

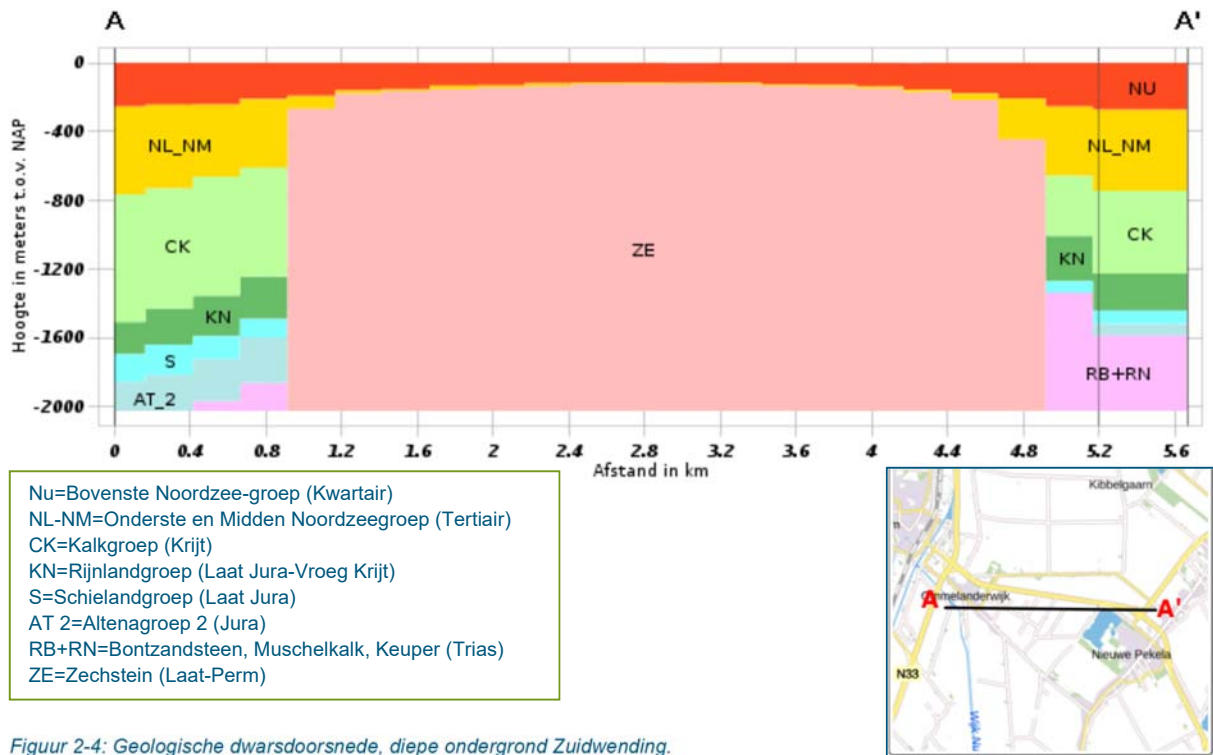
2.2.2 Cluster Noord Nederland - Zuidwending

Zoutvoorkomen in de ondergrond

De winning van steenzout vindt plaats in de Zechsteinformatie in de noordelijke zoutkoepel bij Zuidwending. Het zout wordt voornamelijk in de zogenaamde Stassfurt serie (Zechstein-2) gewonnen. De bovenkant van het zoutpakket bevindt zich op een diepte van ca. 200 m-NAP. De basis, de onderkant van de Zechsteinformatie bevindt zich op een diepte van ongeveer 2.900 m-NAP.

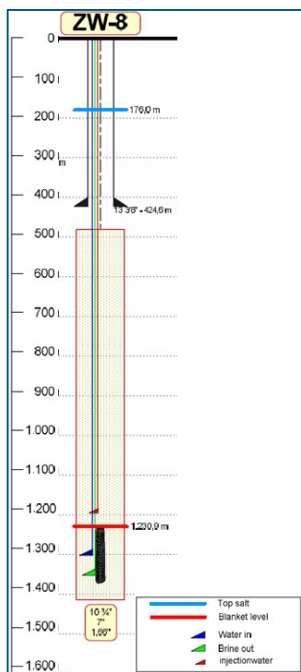
De zuiverheid van het zout is zeer groot (> 96% NaCl); er wordt slechts een geringe (< 4%) bijmenging van andere mineralen gevonden. Kalium- en magnesiumlagen worden niet aangetroffen.

Figuur 2-4 geeft een schematisch beeld van het zoutvoorkomen bij Zuidwending.



Figuur 2-4: Geologische dwarsdoorsnede, diepe ondergrond Zuidwending.

Zoutwinning



In het winningsplan [lit. 14] wordt het gebruik van huisbrandolie (hbo 2) als afdek materiaal genoemd.

In de 9 bestaande cavernes op Zuidwending is tot medio 2008 1034 m³ aan huisbrandolie als blanket gebruikt (maximaal 222 m³ en minimaal 20 m³, gemiddeld per cavernes 115 m³) [lit. 22]. Tot 2019 is daar geen huisbrandolie aan toegevoegd. De toediening van huisbrandolie gebeurt individueel per put. Er is geen centraal distributiesysteem.

De meetresultaten van de periodieke monitoring geven geen afwijkingen aan (geen drukverlies en/of onverwachte veranderingen).

Figuur 2-5 geeft een schematisch beeld van een bestaande cavernes bij Zuidwending. Hierop is de zogenaamde intermediate verbuizing die bij de jongste putten is toegepast, niet weergegeven.

Figuur 2-5: Schematische weergave van een nog jonge cavernes bij Zuidwending.

Omgeving van de zoutwinning

Het caverneveld wordt vrijwel niet doorsneden door infrastructuur. Bebouwing is afwezig. De aanwezige wegen worden vooral benut door verkeer dat betrokken is bij de zoutwinning.

Het gebied en directe omgeving is niet bestemd voor de winning van drinkwater (dichtstbijzijnde drinkwaterwinning is meer dan 10 km van de zoutwinning verwijderd).

Status van de zoutwinning

In de komende 10 jaar zijn geen nieuwe boringen voorzien.

2.2.3 Cluster Haaksbergen

Zoutvoorkomen in de ondergrond

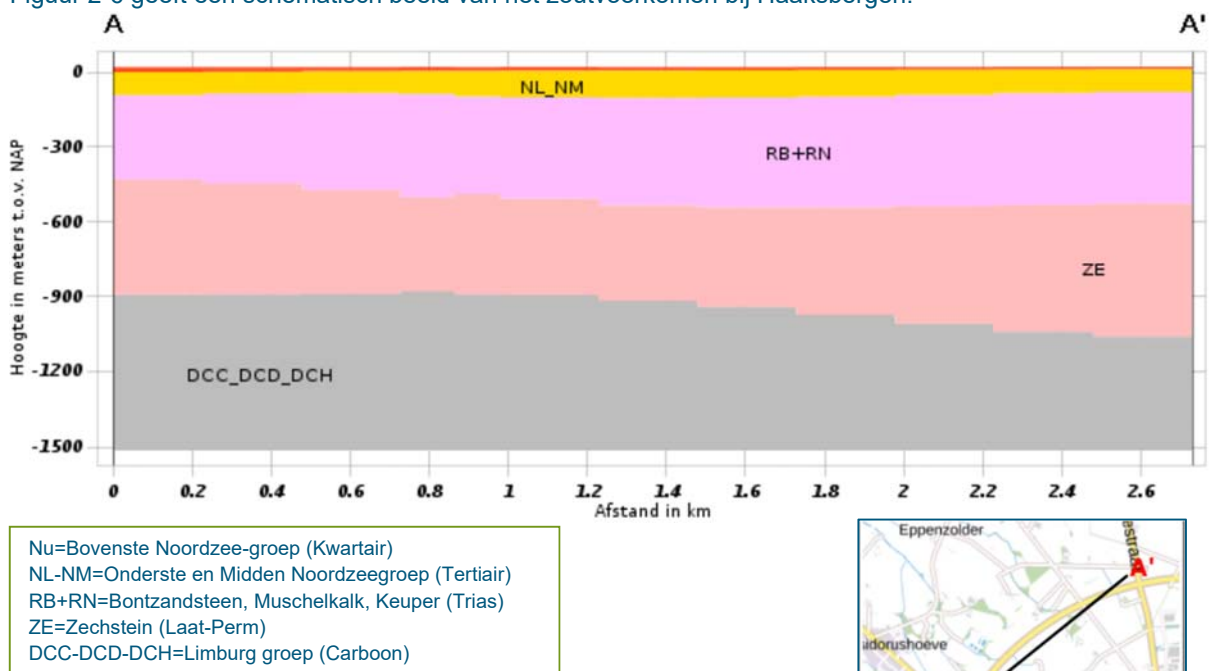
De winning van steenzout is voorzien in de Zechstein formatie, in het zoutkussen van St. Isidorushoeve nabij Haaksbergen. Het zout zal voornamelijk in de zogenaamde Werra laag (Zechstein 1) worden gewonnen. De top van het zoutkussen bevindt zich op een diepte van circa 510 m beneden NAP. De basis van de Zechstein formatie bevindt zich op een diepte van variërend van circa 900 tot 1100 m-NAP.

De Zechstein zoutlaag bij Haaksbergen is niet overal even dik; naar de randen van het concessiegebied toe wordt de zoutlaag dunner. Daarom is het noodzakelijk elke caverne apart te ontwerpen, waarbij stabiliteit en veiligheid van de individuele caverne uitgangspunten zijn.

Zoutwinning

In het winningsplan wordt diesel genoemd als afdek materiaal. Daarover wordt opgemerkt dat per caverne gebruik wordt gemaakt van circa 150 m³ dieselolie, die in het begin van de winning wordt geïnjecteerd en daarna in constante hoeveelheid in de holruimte aanwezig zal zijn. Na beëindiging van de winning wordt de diesel zoveel als mogelijk uit de holruimte verwijderd.

Figuur 2-6 geeft een schematisch beeld van het zoutvoorkomen bij Haaksbergen.



Figuur 2-6: Geologische dwarsdoorsnede, diepe ondergrond Haaksbergen.

Omgeving van de zoutwinning

Het gebied en omgeving is niet bestemd voor de winning van drinkwater (dichtstbijzijnde drinkwaterwinning is meer dan 10 km van de zoutwinning verwijderd).

Status van de zoutwinning

De winning nabij Haaksbergen betreft een nieuwe winning. De winning zal bestaan uit meerdere fasen. Voor fase 1 is een winningsplan ingediend [lit. 16] waarop een instemmingsbesluit is genomen door het ministerie van Economische Zaken en Klimaat. Fase 1 zal bestaan uit 12 cavernes.

2.2.4 Cluster Enschede / Hengelo

Zoutvoorkomen in de ondergrond

De zoutwinning door (de voorlopers van) Nouryon is in 1918 gestart in het zogeheten Buurse winningsgebied (nabij Boekelo). Vanaf 1933 zijn de eerste cavernes gevormd in de relatief ondiep gelegen Röt formatie in het zogeheten Twenthe-Rijn winningsgebied. De winning vindt plaats op diepten tussen de 350 en 600 meter beneden NAP. Voor de winning wordt sinds de jaren 60 als afdek materiaal diesel gebruikt (daarvóór werd geen afdek materiaal toegepast).

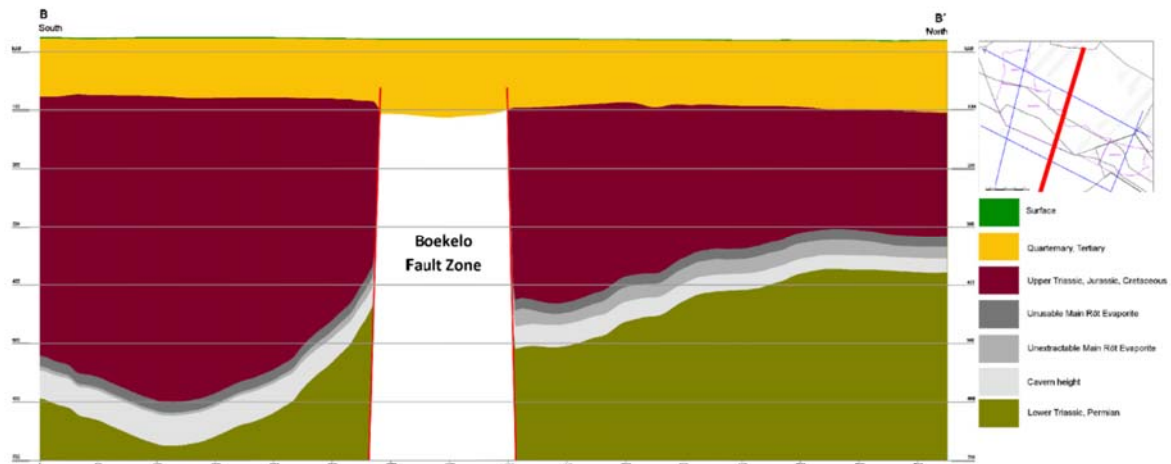
Status van de zoutwinning

In dit cluster zullen alleen nog beperkte incrementele uitbreidingen van de winning plaatsvinden (dat wil zeggen uitbreiding bij een bestaande installatie). De enige uitbreiding die op dit moment is voorzien betreft (de laatste fase van) Ganzebos, waar de vorming van 10 cavernes door middel van 10 putten is voorzien. In het winningsplan [lit. 17] wordt dieselolie als afdek materiaal genoemd. Aangegeven is dat per put tot 150 m³ blanketolie (diesel) wordt gebruikt en dat na beëindiging van de productie de blanketolie voor zover mogelijk uit de put wordt verwijderd.

Omgeving van de zoutwinning

Het gebied en omgeving is niet bestemd voor de winning van drinkwater (dichtstbijzijnde winning is 5 km van de zoutwinning verwijderd).

Figuur 2-7 geeft een schematisch beeld van het zoutvoorkomen bij Hengelo / Enschede.



Figuur 2-7: Geologische dwarsdoorsnede, diepe ondergrond Hengelo/Enschede

2.2.5 Overzicht belangrijkste kentallen

Onderstaande Tabel 2-1 geeft een overzicht van de belangrijkste kentallen van de winningsgebieden.

Tabel 2-1: Kenmerken van de winningsgebieden.

Kenmerk	Heiligerlee	Zuidwending	Haaksbergen	Hengelo / Enschede
Zoutlaag	Zechstein 2	Zechstein 2	Zechstein 1	Röt (Trias)
Max. cavernehoogte bij einde winning (circa)	750 m	1000 m	300 m	40 m
Diepte bodem caverne (circa)	1300 – 1650 m-mv.	1100 – 1450 m-mv.	1100 m-mv.	400-600 m-mv.
Diepte LCCS	450-700 m-mv.	300-425 m-mv.	600-900 m-mv.	350-550 m-mv.
Max. diameter	125 m	125 m	125 m	120 m
Min. dakdikte	200 m	200 m	70 m	5 m zout 15 m anhydriet
Dikte zoutdak				
Boven LCCS	0-200 m	120-200 m	40 m	5 m
Boven cavernedak	200 m	200 m	70 m	5 m
Vorm zoutdak	Vlak	Vlak	Koepelvormig	Vlak
Min. afstand tot rand dome	200 m	200 m	n.v.t.	n.v.t.
Dieptebereik cavernes (m)	700-1.650 m	450-1.450 m	600-1.100 m	350-600
Huidig cavernevolume (ca.)	0,1-4 mln. m ³	1-5 mln. m ³	-	0-0,4 mln. m ³
Levensduur caverne	> 50 jaar	> 50 jaar	15 – 20 jaar	10 -15 jaar

3 Afdekmaterialen

In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op de mogelijke afdekmaterialen, aan welke voorwaarden deze dienen te voldoen en in hoeverre het ontwerp en de uitvoering aanpassingen vergen. Het WEP rapport heeft meerdere alternatieve vloeistoffen en gassen in beeld gebracht. Om na te gaan hoe toepasbaar alternatieven zijn in de clusters van Nouryon, is er een voorbeeld vloeistof en een voorbeeld gas geselecteerd. Blauwe diesel is getoetst als alternatieve vloeistof en stikstof als gasvormig afdek materiaal.

3.1 Randvoorwaarden

Minimumvereisten voor afdek materiaal

De criteria voor afdekmaterialen, zoals beschreven in het WEP rapport, zijn hieronder kort geformuleerd:

- Dichtheid lager dan water en pekkel,
- Niet in staat om zout op te lossen,
- Lost niet (of zeer beperkt) op in water en in pekkel,
- Chemisch stabiel gedurende de operationele levensduur van een caverne (circa 50 jaar),
- Chemisch stabiel onder de heersende ondergrondse omstandigheden (T 25-50°C, P 60-200 bar),
- Verantwoord toepasbaar in relatie tot gezondheid en milieu.

Resultaat van WEP

In het door WEP verrichte onderzoek [lit. 1] zijn de in Tabel 3-1 genoemde afdekmaterialen (naast diesel) als mogelijk geschikt alternatief naar voren gekomen.

Tabel 3-1: Beoordeling van enkele afdekmaterialen door WEP [lit. 1].

Categorie	Stof	Oplosbaarheid	Stabiliteit	Gebruik
Gassen	Droge lucht	Enige oplosbaarheid in water		Lage corrosiesnelheid*
	Stikstof	Enige oplosbaarheid in water		
Vloeistoffen	Diesel			
	Blauwe diesel		Kans op biodegradatie onbekend	
	Biolife Berylane		Kans op biodegradatie onbekend	
	Gas to Liquid (GTL)		Kans op biodegradatie gering	
	Minerale oliën		Kans op biodegradatie onbekend	

*) Verlaagde corrosiesnelheid t.o.v. buitenlucht door dehydratie. Corrosiesnelheid afhankelijk van luchtvochtigheid, cavernediepte, pekkelconcentratie.

■ Voldoet

■ Voldoet mogelijk

De gevarenclassificatie van de stoffen door WEP is weergegeven in Tabel 3-2.

Tabel 3-2: Beoordeling gevarenclassificatie door WEP [lit. 1].

Categorie	Stof	Veiligheids-gevaar	Acuut gezondheidsgevaar (eenmalige blootstelling)	Chronisch gezondheidsgevaar (herhaalde blootstelling)	Milieu-gevaar
Gassen	Stikstof	2	2	0	0
	Droge lucht	2	0	0	0
Hernieuwbare koolwaterstoffen	Blauwe diesel	2	1	0	0
	Biolife Berylane	0	1	0	0
Aardolie- en aardgasproduct	Diesel	2	2	3	3
	Minerale olie	0	1	0	0
	Gas to Liquid (GTL)	0/1*	1	0	0

*) Afhankelijk van het vlampunt van het GTL product.

Gevarenclassificatie: 0: Verwaarloosbaar, 1: Laag, 2: Midden, 3: Groot, 4: Heel groot

3.2 Huidige werkwijze met diesel als afdek materiaal

Diesel heeft beschikt over vrijwel alle eigenschappen om betrouwbaar en veilig de gewenste afmetingen en vorm van een caverne te bereiken.

Fysische eigenschappen

- Diesel beschikt over een dichtheid lager dan water (en pekkel), waardoor het onder alle omstandigheden drijft op de pekkel en het caverne dak beschermd wordt tegen oplossing.
- Diesel lost niet op in water en in pekkel, waardoor de afschermbare functie intact blijft en het zoutdak niet oplost.
- Diesel lost zelf geen zout op. Toepassing van het afdek materiaal voorkomt aantasting van het caverne dak. Voor een stabiele situatie is voldoende druk nodig om een stabiele dek met beschermende functie te behouden.
- Diesel geeft ook geen restfractie in de geproduceerde pekkel. Een dergelijke restfractie is nadelig in het zoutproductieproces en voor toepassingen in bijvoorbeeld de voedselketen.
- Diesel is als vloeistof stabiel onder de druk en temperatuur omstandigheden in de installaties en in de cavernes.
- Diesel heeft over de levensduur van de caverne een hoge chemische stabiliteit en het degradeert niet.

Overige voordelen van gebruik diesel

Naast deze eigenschappen zijn er de volgende voordelen verbonden aan het gebruik van diesel (en huisbrandolie):

- Diesel veroorzaakt geen corrosie aan de stalen verbuizingen. Corrosie aan de stalen verbuizing en LCCS kan de integriteit van de put aantasten.
- Door het dichtheidsverschil en geleidbaarheidsverschil tussen diesel en water/pekkel kan de dikte en diepte van het contactoppervlak tussen diesel en pekkel worden bepaald. Hiervoor zijn eenvoudig toe te passen meettechnieken beschikbaar zoals wireline metingen of continue metingen door middel van een BCS (blanket control system) die op basis van geleidbaarheid werkt.
- Door de hoge chemische stabiliteit en het feit dat het kan worden teruggewonnen uit de caverne, kan diesel onbepaald worden hergebruikt. Dat houdt in dat vrijkomende diesel bij een workover of bij het afsluiten van een caverne in een andere caverne als afdek materiaal kan worden ingezet.

Zorgen bij gebruik van diesel als afdek materiaal

De bezwaren tegen het gebruik van diesel hebben voornamelijk betrekking op gezondheid en milieu. Diesel is voor mens, dier en plant een toxische stof die, afhankelijk van blootstellingsduur, leidt tot aantasting van de gezondheid dan wel schade aan het aquatisch milieu.

SodM [lit. 10] heeft de volgende voornaamste risico's weergegeven voor het gebruik van diesel:

- In geval van lekkage van dieselolie aan het maaiveld kan vervuiling van grondwater / drinkwater optreden.
- In geval van lekkage van dieselolie vanuit putten ontstaat vervuiling van diepe ondergrond
- Achtergelaten dieselolie kan grondwaterlagen buiten afgesloten cavernes verontreinigen.

Deze risico's worden als top events behandeld in de risicoanalyse (hoofdstuk 5) voor het gebruik van diesel en van alternatieve dek materialen.

3.3 Gebruik blauwe diesel als afdek materiaal

Afgezien van (mogelijke) verschillen in chemische stabiliteit zijn de eigenschappen van blauwe diesel vergelijkbaar met die van GTL en minerale oliën. Het vlampunt van deze stoffen varieert. Dit is echter bij de relatief lage temperaturen in de zoutwinningen van Nouryon niet van invloed op de toepassing als afdek materiaal (mogelijk wel op zaken als de bovengrondse opslagvoorziening en aanwezigheid van brandblusmiddelen).

In blauwe diesel ontbreken de toxische verbindingen die deel uitmaken van diesel. Blauwe diesel bestaat voornamelijk uit alkanen (net als diesel dat voor een deel doet). Hoewel niet toxisch, is de aanwezigheid van dergelijke alkanen in grondwater ongewenst.

3.3.1 Ontwerp

Put en caverne

De dichtheid van blauwe diesel is in de regel lager dan de dichtheid van diesel. Dit kan leiden tot een hogere ontwerpdruk voor de put en heeft impact op de operationele grenzen waarbinnen de put veilig bedreven kan worden. De lagere dichtheid van blauwe diesel kan leiden tot een beperking van de caverne hoogte.

Integriteit LCCS

De eisen aan de cementering en de verbindingen van de casing en de diepte van de LCCS zijn vergelijkbaar met deze voor diesel. De LCCS is enigszins dieper dan voor diesel, maar de impact op de reserves is gering.

3.3.2 Installaties

Er is mogelijk een parallelle opslag van blauwe diesel nodig naast die van diesel voor de bestaande cavernes, om te voorkomen dat menging optreedt.

Aanbrengen tweede verbuizing bij toekomstige putten

Een vloeistofdichte casing vormt een noodzakelijke barrière tegen het ontsnappen van blauwe diesel. De toepassing van een enkelvoudige barrière van verbuizing is risicovol bij falen. Bij lekkage ontstaat een kans op verontreiniging. Bij toekomstige putten wordt daarom een dubbele verbuizing toegepast.

3.3.3 Operationeel

Aanbrengen van afdek materiaal

Blauwe diesel als afdek materiaal lost niet op in pekel. Tussentijdse aanvulling is daarvoor niet nodig. Een olieblanket blijft gedurende jaren functioneren.

Monitoring

Bij toepassen van blauwe diesel als afdek materiaal kan de monitoring van het blanketniveau op dezelfde wijze worden uitgevoerd als bij diesel.

(bio)Degraderatie

Niet uitgesloten is dat blauwe diesel als afdek materiaal op de lange duur degradeert omdat de chemische stabiliteit onder de heersende omstandigheden minder goed is dan die van diesel als afdek materiaal. Er is weinig bekend over de mate van biodegradatie onder hier van toepassing zijnde omstandigheden. Dit aspect dient daarom voorafgaand aan toepassing als afdek materiaal onderzocht te worden. Overigens zijn de omstandigheden (geen zuurstof, geen licht, milde temperatuur en zoute omgeving) van dien aard dat geen degradatie wordt verwacht.

Well intervention (workover / meting)

Bij iedere caveerne vindt met een bepaalde regelmaat een workover plaats, waarbij de gehele installatie wordt getest en hersteld waar nodig. Tijdens een workover wordt het blanketmateriaal (zoveel als mogelijk) tijdelijk verwijderd. Blauwe diesel als afdek materiaal kan eenvoudig opgevangen worden om daarna weer toegepast te worden als afdek materiaal. Bij het verwijderen van een vloeistofblanket is geen sprake van geluidsoverlast.

3.3.4 Gevolg voor fabriek en omgeving*Beheersing groei caveerne – drukverschillen door variatie instroom*

De huidige praktijk is dat vanuit de fabriek de pekelsemper per caveerne kan worden opgevoerd dan wel kan worden getemperd – door het reguleren van de injectie van zoet water. Omdat bij een caveerne met een vloeistofblanket de vloeistof als gevolg van drukveranderingen niet wordt samengedrukt heeft dat vrijwel geen gevolgen voor de dikte en de afschermende werking van de blanket.

Zoutproductie

Bij gebruik in Hengelo-Enschede of Haaksbergen moet de impact op de productie van levensmiddelen (consumptiezout) getoetst worden. Het is de verwachting dat dit geen problemen zal opleveren, aangezien blauwe diesel geen impact heeft op het indampproces.

3.4 Gebruik stikstof als afdek materiaal

In deze beoordeling van afdek materialen voor de praktijk van Nouryon wordt voor de categorie gassen uitgegaan van stikstof. In [lit. 4] wordt het toepassen van lucht beschreven. Het grootste nadeel van het gebruik van lucht is het optreden van corrosie van de casing. Het is mogelijk de lucht te dehydrateren voor injectie, maar in de caveerne zal door het aanwezige water, de hoge temperatuur en het zout de lucht zeer corrosief zijn.

Het voordeel van stikstof is dat het niet tot corrosie leidt. Daar waar lucht direct beschikbaar is, zal stikstof echter aangevoerd moeten worden via derden. Bij stikstof moet rekening worden gehouden met het veiligheidsrisico dat bij het vrijkomen van grote hoeveelheden stikstof de zuurstof kan worden verdrongen. Dit is bij lucht (20% O₂) niet het geval.

3.4.1 Ontwerp*Grootte caveerne*

Het toepassen van een gas als blanket heeft tot gevolg dat een caveerne 30-50% minder hoog kan worden dan bij gebruik van een vloeistof. De consequentie is dat bij gebruik van een gasblanket bij een gelijkblijvende productie een groter ruimtebeslag ontstaat dan bij toepassing van een vloeistofblanket. (zie bijlage 4 voor een toelichting over het verloop van de druk in een caveerne bij verschillende type afdek lagen). Per put wordt de levensduur namelijk korter, waardoor er vaker nieuwe putten geboord moeten worden om de productie op peil te houden.

Integriteit LCCS

Bij het ontwerp van de caveerne wordt de positie en de integriteit van de LCCS bepaald door de maximale druk die toegepast kan worden. Het gebruik van stikstof beperkt bij vergelijkbare druk de diepte van de casing ten opzichte van een vloeistof (zie bijlage 4).

3.4.2 Installaties

Bovengrondse installaties

Vanuit het oogpunt van veiligheid en arbeidsveiligheid moet rekening worden gehouden met het volgende:

- De drukomstandigheden waaronder een afdek materiaal als stikstof behandeld moet worden (te verpompen onder een druk van circa 180 bar),
- Door de gecombineerde opslag (lees: energierijke opslag) kan bij een afdek materiaal als stikstof sprake zijn van een krachtige c.q. explosieve uitstroom bij bovengrondse lekkage met in het ergste geval een dodelijk ongeluk als gevolg.
- Verstikkend effect van stikstof, bij vrijkomen in een besloten ruimte met in het ergste geval een dodelijk ongeluk als gevolg.

De toepassing van stikstof vergt aan maaiveld een aantal aanpassingen ten opzichte van de huidige praktijk. Er is een stikstofopslag nodig, een verdamper, een compressor, een verdeelstation en hogedruk leidingen in het veld. Hiermee zal ook de aanblik van de omgeving significant veranderen.

Noodzaak tot ontgassen

Bij het toepassen van stikstof onder hoge druk als afdek materiaal lost stikstof op in de pekel en raakt de pekel verzadigd met stikstof. Door het transport van de pekel vanuit de caveerne naar het maaiveld daalt de druk en komt het stikstof deels weer vrij. Voorafgaand aan het pijpleidingtransport naar de verwerkingsfabriek moet de pekel worden ontgast op atmosferisch niveau.

Preventief - aanbrengen gasdichte casing

Een extra barrière tegen het ontsnappen van stikstof is het toepassen van een gasdichte Last Cemented Casing (LCC).

3.4.3 Operationeel

Aanbrengen van afdek materiaal

Omdat stikstof als afdek materiaal oplost in pekel (tot aan het verzadigingspunt), vindt er continu een verlies aan stikstof plaats. Dat tekort moet tijdig aangevuld worden. Dit betekent dat er doorlopend stikstof beschikbaar moet zijn om onder druk toe te voeren aan het cavernesysteem.

Per nieuwe caveerne (bijvoorbeeld in Noord-Nederland) is naar schatting 150.000 kg stikstof nodig voor de eerste twee jaar [lit. 4]. Na twee jaar neemt dat af tot ongeveer 50.000 tot 100.000 kg stikstof per caveerne per jaar. Dit resulteert in een periodieke toevoer van stikstof per tankwagen. Geschat wordt dat onder normale bedrijfsomstandigheden gemiddeld 8 keer per jaar een aanvulling per caveerne nodig is, waarbij de inzet nodig is van een of meer tankwagens per bevoorrading. Ook na iedere workover moet de totale voorraad benodigde stikstof weer worden aangebracht net als bij een nieuwe caveerne. Dit houdt in dat elke caveerne met een stikstofblanket iedere vijf jaar een stikstofhoeveelheid vergt van (afgerond) 400.000 kg. Voor Haaksbergen (waar sprake zal zijn van kleinere cavernes) moet rekening worden gehouden met een 5-jaarlijkse hoeveelheid van circa 150.000 kg.

Hiernaast moet rekening worden gehouden met aanvullen van stikstof ten behoeve van de drukregeling. De hoeveelheid stikstof die hiervoor nodig is moet nader worden onderzocht maar is naar verwachting een veelvoud van bovengenoemde hoeveelheden en leidt daarmee tot een significante toename in het aantal transportbewegingen.

Monitoring

Een variant van de voor een olie-blanket gebruikte BCS kan ook worden toegepast bij een gas-blanket zoals stikstof, mits de meetinrichting wordt aangepast voor grotere spiegel fluctuaties (afname nauwkeurigheid).

Biodegradatie

Biodegradatie is bij stikstof niet aan de orde.

Well intervention (workover / meting)

Bij iedere caveerne vindt met een bepaalde regelmaat een workover plaats, waarbij de gehele installatie wordt getest en hersteld waar nodig. Het aflaten van stikstof als afdek materiaal houdt feitelijk een emissie naar de atmosfeer in (opvang en hergebruik is niet mogelijk), hetgeen met veel geluid gepaard gaat. Dit laatste aspect kan op bezwaren van omwonenden stuiten. Nouryon heeft klachten ontvangen naar aanleiding van het aflaten van stikstof bij een meting aan een put in Heiligerlee in 2018.

Beheersing groei caveerne – drukverschillen door variatie temperatuur

Door het inbrengen van zoet water in een cavernesysteem ontstaan temperatuurverschillen. Door de aard van de stof vertalen temperatuurschommelingen bij een gas zich in veranderingen in de druk. Bij een gas als afdek materiaal kan dat leiden tot een minder beheersbare groei van de caveerne. Hieruit volgt dat - om een beheersbare groei van cavernes te houden – temperatuurschommelingen bij een caveerne met een gasblanket vermeden moeten worden. Ook hier geldt dat een systeem dat de druk aan beide zijden (water- en blanketdruk) kan reguleren, een goede afschermende werking van een gasblanket in stand kan houden.

Dynamische omstandigheden hebben een grotere impact op de instandhouding van een gasblanket dan op een vloeistofblanket.

3.4.4 Gevolg voor fabriek en omgeving

Beheersing groei caveerne – drukverschillen door variatie instroom

Bij het gebruik van een gasblanket leidt regulering van de zoetwater stroom direct tot een andere druk in de caveerne, die gevolgen heeft voor de dikte van het blanket vanwege de (veel) hogere compressibiliteit van het gas. Bij het terugschroeven van de productiestroom neemt de druk in de caveerne af en neemt de blanketdikte toe, terwijl bij het opvoeren van de productiestroom de druk toeneemt en de blanketdikte afneemt. Veel wisselingen van pekelpductiestroom bij een caveerne met een gasblanket leiden daarom tot een minder goed afschermende blanket met een minder beheersbare groei van de caveerne tot gevolg. Dit vergroot de kans op ongewenste uitloging buiten het gesteentemechanisch omhullende. Hieruit volgt dat - om een beheersbare groei van cavernes te houden - wisselingen in de pekelpductie bij een caveerne met een gasblanket vermeden moeten worden. Praktisch en productietechnisch is dit onmogelijk als een heel veld met meerdere cavernes binnen één systeem met een gasblanket wordt uitgelooft, tenzij andere (regel-)technische oplossingen worden geïmplementeerd om het blanketniveau constant te houden.

Deze mogelijkheid bestaat eruit dat vanuit de fabriek niet alleen de injectie van zoet water wordt gecontroleerd, maar ook de druk van het stikstofblanket. Op die wijze kan worden vermeden dat de blanketdikte te sterk varieert. Of dit in de winning van Nouryon inpasbaar is, moet nader worden onderzocht.

Naar verwachting betekent deze werkwijze met actief regelen van de spiegel in de verschillende cavernes het frequent aanvullen en weer afblazen van stikstof ten einde het blanketniveau constant te houden onder wisselende operationele omstandigheden. Deze werkwijze heeft een aanzienlijke ecofootprint en

geeft grotere overlast voor omwonenden (e.g. geluid, transportbewegingen, grotere installaties, hoge druk veldleidingen) ten opzichte van alternatieve, vloeibare blanketmaterialen.

Zoutproductie

Oplosbaarheid van stikstof in pekkel wordt grofweg door twee hoofdparameters beïnvloed; druk en temperatuur.

In de caveerne lost een hoeveelheid stikstof op in de pekkel onder invloed van de (hoge) druk en temperatuur. Door de pekkel atmosferisch te ontgassen direct na de caveerne zal de pekkel oververzadigd raken in stikstof (door het wegvallen van de overdruk) en zal het gas gemakkelijk worden afgescheiden in een 'ontgasser'. Wat er feitelijk gebeurt is dat in de verticale verbuizing voor pekkeltransport de druk gaandeweg lager wordt en er dus in de verbuizing al (gasvormig) stikstof uit de pekkel komt. Deze (ontgasser) equipment vormt in die zin een simpele gas/vloeistof scheider. De resterende pekkel is nog altijd verzadigd met stikstof, echter bij atmosferische druk en temperatuur. De gas/vloeistof scheider moet zo dicht mogelijk bij de caveerne worden geplaatst, omdat er anders stikstofbellen in het leidingwerk vormen, welke zorgen voor een hydraulische beperking van de capaciteit.

Omdat zo met stikstof verzadigde pekkel bij de zoutfabriek komt, ontstaan mogelijk de volgende situaties:

- Door warmte-instraling neemt de oplosbaarheid van stikstof verder af en vormen zich gasbellen in het transportleidingwerk; dit zorgt voor een hydraulische beperking van de transportcapaciteit.
- Het vrijkomen van opgeloste stikstof uit pekkel in de bovengrondse infrastructuur kan mogelijk leiden tot schade (cavitatie) in de pompen waarmee de pekkel verpompt wordt. Dat moet verder onderzocht worden in het geval een winning met een gasblanket ontworpen wordt. De volledige ontgassing van de pekkel vindt in de zoutfabriek plaats door temperatuurverhoging en vacumeren.
- Het is mogelijk dat door een gasvormig blanket te gebruiken de hoeveelheid opgeloste gassen (in dit geval stikstof) hoger is dan bij huidige bedrijfsvoering. Dit betekent dat er meer gas ontsnapt bij het verdampen van de pekkel, wat resulteert in een hogere drukval over de verschillende (verdampings)stappen. Dat heeft een verlagend effect op de productiecapaciteit.

3.5 HSE-aspecten

Op basis van een beschouwing van de functionele en operationele aspecten kan het volgende kwalitatief worden opgemerkt betreffende de HSE-aspecten van de toepassing van alternatieve blanketmaterialen.

Blauwe diesel is in de operationele werking vergelijkbaar met de toepassing van diesel. Door de lagere dichtheid van blauwe diesel ten opzichte van diesel kan de druk in de wellhead beperkt hoger zijn dan bij het gebruik van diesel. Dit leidt bij cavernes met een groter diepte bereik mogelijk tot een beperking van de cavernehoogte. Er is geen geluidsoverlast of toename van transportbewegingen. De bovengrondse installatie is vergelijkbaar met die van diesel, de inpasbaarheid in de omgeving ook. De ecofootprint is vergelijkbaar met die van diesel.

Door afwezigheid van toxiciteit in blauwe diesel zijn de gevolgen van lekkage van blauwe diesel lager dan bij diesel (in hoofdstuk 5 wordt nader ingegaan op de risico's). Voor een alternatieve vloeistof zal wel de melding in het kader van REACH voor gebruik als afdek materiaal moeten worden doorlopen. Ook zal moeten worden onderzocht in hoeverre de afwezigheid van toxiciteit leidt tot een toename van biodegradatie van een alternatieve vloeistof gedurende de levenscyclus van de caveerne. Voor de levensmiddelenproductie in Hengelo moet ook het mogelijke effect op de voedselveiligheid gecontroleerd worden.

Stikstof (of een ander gas) is in de operationele werking fundamenteel anders dan een vloeistof, vanwege de lage dichtheid, de comprimeerbaarheid (bij druk- en/of temperatuurverandering) en de oplosbaarheid in pekel. Hierdoor wordt de druk aan het wellhead aanzienlijk hoger bij toepassing van stikstof, vergeleken met de toepassing van een vloeistof op dezelfde diepte. Dit leidt tot hogere eisen m.b.t. druk aan het ontwerp van put en caverne. Bij cavernes met een groter dieptebereik leidt dit tot aanzienlijke beperking van de cavernehoogte.

Omdat een stikstofblanket van zichzelf minder stabiel is dan een vloeistofblanket is een complexere bovengrondse installatie nodig om het niveau gelijk te houden. Dit verandert de aanblik van de omgeving in vergelijking met een enkele opslagtank voor een vloeistofblanket. Hierbij zal regelmatig stikstof aangevuld of afgelaten worden. Aflaten van stikstof leidt tot geluidsemissies, waardoor de inpassing hiervan in een gebied met verspreide bebouwing uitdagend is. Afgelaten stikstof is niet herbruikbaar, dus een stikstofblanket leidt ook tot meer transportbewegingen in de omgeving van de bovengrondse installatie. Het vaker moeten bijpompen en het grotere aantal transportbewegingen heeft een negatief effect op de ecofootprint van het toepassen van stikstof als afdek materiaal. Een voordeel van stikstof is dat het niet REACH-plichtig is.

Vanwege de hogere druk en de mogelijkheid dat stikstof zuurstof verdringt bij een lekstroom in een gebouw, heeft stikstof als afdek materiaal bij een bovengrondse lekkage een groter gevolg voor de gezondheid dan een vloeistof, in het ergste geval leidend tot een dodelijk slachtoffer. Bij een spuiters van het puthoofd kan significante milieuschade ontstaan.

Een meer gedetailleerde uitwerking van de HSE-aspecten volgt in de hoofdstukken 4 en 5.

3.6 Beoordeling per winningsgebied

Ten aanzien van de winningsgebieden leidt de beoordeling van de operationele consequenties voor nieuwe cavernes ertoe dat:

- Noordelijk cluster: diesel kan zonder verandering van de operatie toegepast worden. Het toepassen van blauwe diesel (of een vergelijkbare stof) met een lagere dichtheid leidt tot beperkte aanpassingen aan het ontwerp van put, caverne en installatie, maar is operationeel vergelijkbaar met de toepassing van diesel. Het toepassen van stikstof leidt voor diep gelegen cavernes met een groot dieptebereik vanwege de benodigde hoge druk tot een aanzienlijke beperking (30-50%) van de cavernehoogte. De inpasbaarheid in omgeving is problematisch (vooral in Heiligerlee) door de aanwezigheid van woningen.
- Haaksbergen: het huidige ontwerp is gebaseerd op het gebruik van diesel als afdek materiaal. Het toepassen van blauwe diesel (of een vergelijkbare stof) is waarschijnlijk mogelijk binnen het bestaande ontwerp voor caverne en put. Het toepassen van stikstof is naar verwachting mogelijk zonder significant verlies van zoutreserves, maar leidt wel tot aanzienlijke aanpassing van het bestaande ontwerp van de putten en de bovengrondse installaties. De inpasbaarheid in omgeving is problematisch door de aanwezigheid van woningen.
- Cluster Hengelo-Enschede: het huidige ontwerp van de laatste fase van Ganzebos is gebaseerd op het gebruik van diesel als afdek medium. Het toepassen van blauwe diesel (of een vergelijkbare stof) is waarschijnlijk mogelijk binnen het bestaande ontwerp voor caverne en put, maar zal wel leiden tot een aanpassing aan de bovengrondse installatie. Het toepassen stikstof is vanwege het huidige ontwerp van het caverne-veld en het incrementele karakter van nog eventuele laatste uitbreidingen niet inpasbaar.

4 Methodiek van risicobeoordeling

4.1 Benoemen ongewenste gebeurtenis

Ongewenste gebeurtenissen – Top Events

Voor het uitvoeren van de (risico)beoordeling van de afdekmaterialen voor de drie winningsgebieden worden de volgende ongewenste gebeurtenissen ('top events') gehanteerd:

- 1: Operationele fase bovengronds: Lekkage van afdek materiaal bij het bovengrondse gedeelte van de mijnbouwinstallatie: het puthoofd (wellhead),
- 2: Operationele fase ondergronds: Lekkage van afdek materiaal vanuit de caverne en het ondergrondse deel van de mijnbouwinstallatie (gecementeerde casings en LCCS),
- 3: Lange termijn. Achterblijven van afdek materiaal in de caverne na afloop winning (abandonnering).

Er wordt geen rekening gehouden met opzettelijke sabotage of het optreden van natuurrampen die impact kunnen hebben op de zoutwinning.

4.1.1 Top Event 1a: Lekkage uit bovengrondse installatie - spuitser bij het puthoofd

Top Event 1a betreft een lekkage, namelijk een spuitser uit de bovengrondse installatie, tijdens de zoutwinning. Een spuitser uit de bovengrondse installatie wordt veroorzaakt door het falen van een installatieonderdeel en/of door het uitvoeren van werkzaamheden aan de put.

Van toepassing op: alle afdekmaterialen

Deze gebeurtenis kan ontstaan door:

- Slecht functioneerde afsluitklep/afsluiter,
- Slechte verbinding bij toedienen afdek materiaal,
- Breuk in toevoerleiding
- Toestroom van stikstof uit de caverne tijdens workover of meting (well intervention).

4.1.2 Top Event 1b: Lekkage uit bovengrondse installatie - Lekstroom in gebouw

Top Event 1b betreft een lekstroom uit de bovengrondse installatie tijdens de zoutwinning. Een lekstroom bij het puthoofd wordt veroorzaakt door het falen van een installatieonderdeel en/of door het uitvoeren van werkzaamheden aan de put. Dit top event kan plaatsvinden in een ruimte met beperkte ventilatie.

Van toepassing op: alle afdekmaterialen

Deze gebeurtenis kan ontstaan door:

- Slecht functioneerde afsluitklep/afsluiter,
- Slechte verbinding bij toedienen afdek materiaal,
- Breuk in toevoerleiding.

4.1.3 Top Event 2: Lekkage vanuit de ondergrondse installatie ('breach of confinement')

Top Event 2 betreft de ondergrondse lekkage tijdens de zoutwinning vanuit de ondergrondse installatie. Dat kan zijn vanuit de caveerne of de aansluiting van de caveerne met het ondergrondse deel van het put of vanuit de last cemented casing.

Van toepassing op: alle afdekmaterialen.

Deze gebeurtenis kan ontstaan door:

- Micro-fissures of breukjes in wand en dak van de caveerne,
- Slechte casingverbindingen,
- Slecht gecementeerde LCCS,

4.1.4 Top Event 3: Lekkage van achtergebleven afdek materiaal

Na afloop van de zoutwinning kan er - op lange termijn - lekkage ontstaan door geleidelijke druktoename, wanneer er bij de afsluiting nog blanketmateriaal in de caveerne achterblijft.

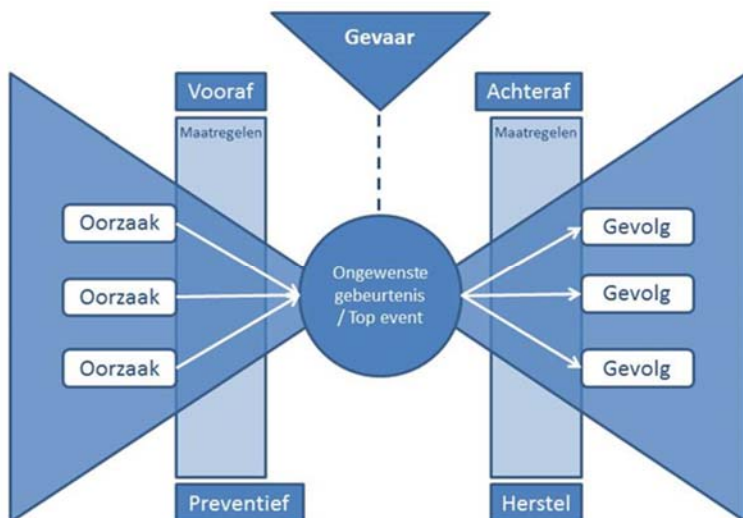
Van toepassing op: alle afdekmaterialen.

Deze gebeurtenis kan ontstaan door:

- Micro-fissures of breukjes in wand en dak van de caveerne,
- Verkeerd uitgevoerde abandonnement.

4.2 Toepassen bow tie methodiek

Voor het in beeld brengen van mogelijke risico's in omstandigheden waarvoor geen statistische benadering mogelijk is met een QRA, wordt veelal gebruik gemaakt van de bow-tie methodiek. Hiermee worden ongewenste situaties, of calamiteiten, onderzocht. Voor de ongewenste gebeurtenis wordt nagegaan welke omstandigheid er toe heeft kunnen leiden en wat de mogelijke gevolgen kunnen zijn als deze optreedt. Vervolgens worden barrières benoemd om te voorkomen dat ze optreden en om de effecten indien dit toch het geval is zoveel mogelijk te beperken.



De volgende stappen zijn gevolgd:

- In kaart brengen van de ongewenste gebeurtenissen die het gevolg kunnen zijn van de toepassing van afdek materiaal bij de zoutwinning door Nouryon,
- Onderscheid aanbrengen tussen generiek optredende gebeurtenissen en gebeurtenissen in een specifiek winningsgebied,
- Het formuleren van preventieve maatregelen die een ongewenste gebeurtenis moeten voorkomen,
- Het formuleren van beheersmaatregelen die de gevolgen van een ongewenste gebeurtenis moeten beperken,
- Het scoren van de waarschijnlijkheid van het optreden van een gebeurtenis (kans) en het effect daarvan. Het scoren vindt plaats voor de situatie waarin de basale preventieve maatregelen zijn getroffen.
- Het bepalen van het uiteindelijke risico (kans maal effect) inclusief het treffen van preventieve maatregelen.

4.3 Gebruik risico matrix

De geïdentificeerde ongewenste gebeurtenissen worden geclassificeerd door vast te stellen wat de kans is dat deze optreedt en de omvang van de gevolgen. Het risico is de kans maal effect en kan zo in de matrix worden afgelezen.

SodM heeft met behulp van deze methode verschillende risico's voor de zoutwinning in beeld gebracht. Deze risico's zijn in dit onderzoek nader uitgewerkt voor verschillende winningsclusters van Nouryon en voor verschillende afdekmaterialen.

Voor de weergave van de resultaten is een iets aangepaste risicomatrix (Figuur 4-1) gebruikt ten opzichte van de door SodM gehanteerde matrix. De hier gehanteerde risicomatrix is gebaseerd op de Nouryon 'standaard'. Het aantal onderscheiden velden is daarbij groter. Voor het resultaat ('de uitkomst') maakt dat niet uit.

Figuur 4-1: Gehanteerde risico matrix.

		(F0)	(F1)	(F2)	(F3)	(F4)	(F5)	(F6)
		$10^{-6} > A$	$10^{-6} < B < 10^{-5}$	$10^{-5} < C < 10^{-4}$	$10^{-4} < D < 10^{-3}$	$10^{-3} < E < 10^{-2}$	$10^{-2} < F < 10^{-1}$	$10^{-1} > G$
		Extreem onwaarschijnlijk	Ze er onwaarschijnlijk	Onwaarschijnlijk	Vergezocht	Nu en dan	Waarschijnlijk	Vaak
(S0)	Verwaarloosbaar	A0	B0	C0	D0	E0	F0	G0
(S1)	Ze er beperkt	A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1
(S2)	gematigd	A2	B2	C2	D2	E2	F2	G2
(S3)	groot	A3	B3	C3	D3	E3	F3	G3
(S4)	majeur	A4	B4	C4	D4	E4	F4	G4
(S5)	catastrofaal	A5	B5	C5	D5	E5	F5	G5

Groen: Acceptabel, aandacht voor continue verbetering

Gool: Onder voorwaarden te tolereren (ALARP)

Rood: Niet acceptabel, vereist actie

In deze tabel staat de Nouryon-codering op de assen (tussen haakjes).

Op de horizontale as is de kans aangegeven van het optreden van een ongewenste gebeurtenis. Van links naar rechts is een oplopende schaal, van 'extreem onwaarschijnlijke kans' tot 'vaak'.

De effecten (aflopend van onder naar boven; van 'catastrofaal effect' tot 'verwaarloosbaar effect') zijn op de verticale as aangegeven.

De hoogte van een risico wordt uitgedrukt in een kleur. Er is sprake van een toenemend risico gaande van groen, naar geel naar rood. Een risico in de groene zone houdt in dat de situatie veilig is. Een risico in de rode zone houdt in dat er een ongewenste en onveilige situatie is opgetreden. Indien het risico zich in de gele zone bevindt is het risico beperkt, maar vereist wel aanvullende maatregelen.

De beoordeling richt zich op:

- Gezondheid (fysieke veiligheid, berekende veiligheidscontouren, schadelijkheid, veiligheid voor werknemers, arbeidsomstandigheden)
- Milieu (verontreinigingen)
- Materiaal (schade aan installaties)

5 Resultaten en beoordeling van risico's

5.1 Algemeen

Termijn waarop effecten plaatsvinden

Een aantal effecten hebben betrekking op de geologie van de winningsgebieden. Effecten kunnen zich op korte termijn en op lange termijn voordoen. Korte termijn is de periode waarin zoutwinning plaatsvindt (enkele tientallen tot honderd jaar).

Maatregelen en risico's

Om de risico's van zoutwinning te verminderen of te vermijden worden er maatregelen getroffen. Een aantal van dergelijke maatregelen zijn te beschouwen als basale maatregelen, omdat ze vanzelfsprekend aan de orde zijn bij het uitlogen van cavernes – zowel ter linkerzijde als ter rechterzijde van de bow tie. Hier vallen ook het toepassen van engineering standaarden, GSMP (Good Salt Mining Practice) en managementsystemen als bijvoorbeeld WIMS (Well Integrity Management System) onder.

In de beoordeling van risico's wordt ervan uitgegaan dat deze standaarden en maatregelen altijd van toepassing zijn. Een van die maatregelen is bijvoorbeeld het cementeren van de casing en van de casing shoe of het hebben van persoonlijke beschermingsmiddelen.

Voorts geldt het uitgangspunt dat de zoutwinning volgens een plan verloopt, waarbij diepte en afstanden per winningsgebied zijn bepaald in een (wettelijk goedgekeurd) cave- en veldontwerp¹.

De keuze voor een specifiek afdek materiaal stelt specifieke eisen aan de benodigde preventieve en mitigerende maatregelen. Deze zijn expliciet in de bow ties aangegeven.

De risicoboordeling geeft inzicht in de mogelijke gevolgen van ongewenste gebeurtenissen en de kans dat dit optreedt. Bij het maken van een keuze voor een afdek materiaal is de uitkomst van de risicomatrix van belang.

5.2 Van top event naar bow tie

In bijlage 3 zijn de opgestelde bow tie's opgenomen.

In de bow tie's zijn ter linkerzijde een aantal maatregelen opgenomen - gericht tegen de risico's - die als standaard aangemerkt moeten worden. Het gaat daarbij om de volgende maatregelen (niet limitatief):

- Het ontwerp,
- De opleiding van personeel,
- Het uitvoeren van monitoring,
- Het volgen van veiligheidsprocedures,
- Het uitvoeren van onderhoud,
- Het voeren van een boekhouding voor de stofstromen.

In onderstaande paragrafen staan gevolgen en preventieve maatregelen per Top Event uitgewerkt voor de verschillende alternatieve afdek materialen. Voor Top Event 1 wordt daarnaast nog onderscheid gemaakt tussen een grote lekkage (spuiter) bij het puthoofd en een kleinere lekkage in een gebouw (bijv. zouthuisje).

¹ Een winningsplan.

5.2.1 Top Event 1a: Lekkage uit bovengrondse installatie - Spuiter bij het puthoofd

Gevolgen lekkage – diesel en blauwe diesel

Indien het afdek materiaal onder druk staat (> atmosferische druk) komt het vrij uit de installatie, totdat de druk gedaald is tot atmosferisch niveau. Tijdens het uitloggen heerst er door de aangelegde waterdruk een druk (van diesel) bij het puthoofd van circa 25 bar in Hengelo/Enschede en circa 40 bar in Noord-Nederland.

Bij een Top Event moeten direct schade beperkende en brandvoorkomende maatregelen worden genomen.

Preventieve maatregelen – diesel en blauwe diesel

Als preventieve maatregelen kan een vloeistofdichte verbuizing met dubbele afsluiters en het gebruik van gecertificeerde hoge druk wellheads worden toegepast (drukklasse 40 bar in Hengelo-Enschede, drukklasse 64 bar in Noord-Nederland). Een putkelder (eerste opvang bij een dergelijke calamiteit) is standaard aanwezig. In geval van een spuiter zal pekels, in een veelvoud van het gelekte afdek materiaal, worden meegenomen naar het oppervlak. De putkelder zal in geval van een spuiter een milieu incident niet geheel voorkomen. Brandstoffen (diesel en blauwe diesel) kunnen vlam vatten, indien een ontstekingsbron aanwezig is. Bij diesel en blauwe diesel moet voor een brandveilige omgeving gezorgd worden.

Bij de andere genoemde vloeistoffen in het WEP rapport zal er vanwege het hogere vlampunt geen brandgevaar optreden.

Gevolgen lekkage - stikstof

Het gas komt onder hoge druk vrij in de vorm van een jet samen met pekels totdat de druk gelijk is aan de atmosferische druk. Door de krachtige jet van pekels en stikstof is er kans op (in het ergste geval dodelijke) verwonding van het aanwezige personeel. De persoonlijke beschermingsmiddelen bieden hiertegen niet de volledige bescherming, zodat de veiligheid van operators in het geding komt.

Bij het optreden van een jet, zal het pekelmengsel zich kunnen verspreiden tot ver buiten de locatie met beschermende voorzieningen. Hierdoor zal de bodem in de omgeving verontreinigd worden met pekels, tot naar schatting honderden kubieke meters.

Vrijkomend gas diffundeert in de atmosfeer. Dat proces verloopt uiterst snel. Vanwege de hoge druk (lees: energie-inhoud) gaat het aflaten van het stikstof/pekels mengsel met veel geluid gepaard. Dit laatste aspect kan op bezwaren van omwonenden stuiten en heeft bij een incidentele meting al eens tot klachten geleid.

Drukverlies heeft gevolgen voor de aanwezigheid van de blanket in de caverne. Het ontsnappen van geringe volumes leidt tot relatief grote verlaging van de druk. De functie van de blanket is sterk verminderd dan wel afwezig, totdat herstelmaatregelen zijn getroffen. Mits het toevoeren van zoet water onmiddellijk wordt gestaakt, zijn de gevolgen voor de uitlogging beperkt.

Preventieve maatregelen - stikstof

Als preventieve maatregelen wordt uitgegaan van het toepassen van gasdichte casings met dubbele afsluiters, het gebruik van gecertificeerde hoge druk wellheads (drukklasse 200 bar). Tijdens workovers en metingen zullen altijd blow-out preventers (BOP's) en/of lubricators moeten worden toegepast.

5.2.2 Top Event 1b: Lekkage bij het puthoofd in gebouw

Gevolgen lekkage – diesel en blauwe diesel

Indien het afdek materiaal onder druk staat (> atmosferische druk) komt het vrij uit de installatie. In geval van een lekstroom treedt drukvereffening op over de lekkage tot atmosferische druk. De grootte van het lek wordt bepaald door het drukverschil en de grootte van een lekkage. Algemeen gesteld treedt bij een lekkage enig verlies op (ordegrootte: tientallen tot misschien honderden liters) dat veelal in de putkelder terecht komt.

Preventieve maatregelen – diesel en blauwe diesel

Preventieve maatregelen voor een kleine lekkage zijn gelijk aan maatregelen beschreven in paragraaf 5.2.1. Door de beperkte gevolgen zijn de maatregelen effectiever.

Gevolgen lekkage - stikstof

Indien het afdek materiaal onder druk staat (> atmosferische druk) komt het vrij uit de installatie. In geval van een lekstroom treedt drukvereffening op over de lekkage tot atmosferische druk. De grootte van het lek wordt bepaald door het drukverschil en de grootte van een lekkage. Het vrijkomen van stikstof kan verstikkingsgevaar betekenen indien het in een besloten omgeving de zuurstof verdrijft. Persoonlijke beschermingsmiddelen bieden hiertegen geen bescherming, zodat de veiligheid van operators in het geding komt (met potentieel dodelijke gevolg).

In geval van een lekkage in de buitenlucht diffundeert het vrijgekomen gas in de atmosfeer. Dat proces verloopt uiterst snel.

Preventieve maatregelen - stikstof

Als preventieve maatregel wordt uitgegaan van het toepassen van gasdichte casings met dubbele afsluiters en het gebruik van gecertificeerde hoge druk wellheads (drukklasse 200 bar). In geval van gebouwen waar stikstof wordt gebruikt, moet voldoende ventilatie aanwezig zijn en worden in pandige zuurstofmeters geïnstalleerd. Hiernaast zullen operators worden uitgerust met persoonlijke zuurstofmeters.

5.2.3 Top event 2: Lekkage vanuit de ondergrondse installatie

Oorzaken van lekkage – diesel en blauwe diesel

De gecementeerde verbinding tussen de LCCS en het zoutdak en de gecementeerde casing van de caverne is geïdentificeerd als het meest kwetsbare punt. Zowel gas als vloeistoffen bewegen zich bij een lek omhoog. Afhankelijk van de staat van de cementering en de casingverbindingen en de aanwezigheid van ondoorlatende lagen dooft de uitstroming. Het vermogen van migreren en de snelheid ervan is afhankelijk van de porositeit en de permeabiliteit van het gesteente.

Gevolgen lekkage – diesel en blauwe diesel

Wanneer diesel of blauwe diesel in aanraking komt met stagnant water in een diepgelegen ondoorlatende laag ('fossiel water') zijn de milieugevolgen afwezig.

Omdat de cavernes voorzien zijn van een dik zoutdak en er cementering wordt toegepast op casings is er geen kans dat omwonenden gezondheidsschade ondervinden van een lekkage uit de caverne. Alleen indien diesel doordringt tot het freatisch grondwater, ontstaat er milieuschade.

Afhankelijk van het afdek materiaal kan er schade optreden aan grondwater onttrekkingsputten. Dat is met name het geval voor diesel en in mindere mate voor blauwe diesel. Indien blijkt dat diesel (en in mindere

mate blauwe diesel) is doorgedrongen tot het freatisch grondwater zijn – afhankelijk van de bevindingen (mate van aantasting grondwaterkwaliteit) – sanerende acties aan de orde.

Oorzaken van lekkage - stikstof

Tijdens de winning (het uitlogen) moet een stikstofblanket op hogere druk worden gehouden dan een vloeistofblanket. Omdat stikstof - anders dan diesel of blauwe diesel - oplost in pek is bijvullen van de stikstofblanket aan de orde. Door het periodiek injecteren (druk opvoeren) van stikstof kunnen thermomechanische effecten optreden. Temperatuurschommelingen kunnen aanleiding zijn voor het ontstaan van (haar-)breukjes op het contact tussen boorput en zoutdak. Effecten worden gemitigeerd door uit te gaan van een dik zoutdak (ontwerp-uitgangspunt). Bij het ontwerp van de ondergrondse mijnbouwinstallatie moet rekening worden gehouden met de aan te leggen stikstofdruk. Het toepassen van gasdichte casings voorkomt het ontsnappen van stikstof.

Gevolgen lekkage - stikstof

Een direct gevolg van het optreden van een stikstof lekkage is dat de blanketdikte afneemt. Indien niet direct bijgevuld wordt, valt de afschermende werking van de blanket weg en wordt de kans vergroot dat er een onbeheersbare groei van de caverne plaatsvindt. De winning moet – in ieder geval tijdelijk – worden gestaakt. Indien blijkt dat - na een uitgebreide beoordeling - een herstel van het cavernesysteem onhaalbaar is, is de economische schade aanzienlijk.

Omdat stikstof uit relatief kleine moleculen bestaan, treedt verspreiding door gesteenten c.q. sedimentaire lagen al snel op. Drukverschillen vergroten de (snelheid van) verspreiding. Door het drukverschil is de uitstroming van stikstof in aanvang heftiger dan van een vloeistof als diesel of blauwe diesel.

Drukverlaging treedt echter snel op en er ontstaat een stabiele situatie. Het vrijkomen van stikstof heeft geen (milieu)gevolgen. Het is onbekend of een dergelijk top event zich al eens ergens heeft voorgedaan.

5.2.4 Top event 3: Lekkage van achtergebleven afdek materiaal

De gebruikelijke hoeveelheid toegediende vloeistof varieert van 0 tot 250 m³. In sommige oudere cavernes in Hengelo-Enschede met meervoudige putten kan tot 300 m³ diesel (of huisbrandolie) zijn toegepast. Indien het terugwinnen faalt, wordt slechts een deel van dat volume weer verkregen. Realistisch is te veronderstellen dat tot op heden in Noord-Nederland (minimaal) de helft teruggewonnen wordt. Dit betekent dat in een caverne maximaal 125 m³ achterblijft.

Bij het uitlogen wordt maximaal ingezet op het bereiken van een eindsituatie waarbij sprake is van een koepelvormig cavernedak. Dat biedt de beste mogelijkheid om het achterblijven van olie te vermijden. Mocht er toch nog sprake zijn van achtergebleven olie dan is het maximaal verwijderen noodzakelijk voorafgaand aan abandonnering.

5.3 Beoordeling risico's

In onderstaande tabellen staan de gescoorde risico's per afdek materiaal voor de verschillende top events. Het betreft de risico's na implementatie van de in de bow tie opgenomen barrières. Het onderscheid tussen de winningsgebieden is te gering om dat in deze tabellen naar voren te laten komen.

In deze rapportage zijn de risico's op kwalitatieve wijze bepaald. Zowel de kans waarop een event optreedt, uitgedrukt in jaren, als de mogelijke gevolgen, zijn op basis van expert judgement vastgesteld en toegelicht.

Risico's bij toepassen diesel:

Tabel 5-1: Risico's bij toepassen diesel

	Gezondheid	Milieu	Materiaal
Top-event 1a: Optreden lekkage bij bovengrondse installatie - spuitser bij het puthoofd	C1	C3	C3
Top-event 1b: Optreden lekkage bij bovengrondse installatie - lekstroom bij puthoofd in gebouw	F1	F2	F1
Top-event 2: Ondergrondse lekkage uit caverne tijdens winningsfase	B1	B3	B4
Top-event 3: Lekkage van achtergebleven diesel in caverne na abandonnering	A1	A3	A0

Uit de tabel blijkt dat de risico's als volgt worden samengevat:

- Top event 1a: kans C, gevolgen vooral voor milieu en materiaal;
- Top event 1b: kans F, zwaartepunt gevolgen voor milieu;
- Top event 2: kans B, gevolgen voor milieu en materiaal;
- Top event 3: kans A (achtergebleven blanket moet door 2 ondoorlatende sluitlagen heen van >100 m dik om in het grondwater te komen), gevolgen voor milieu.

Uit de tabel blijkt dat het optreden van een lekstroom (1b) een relatief hoge kans kent en leidt tot gele scores. Er is een enkele gele score bij top-event 2. Lekkage vanuit de ondergrond langs de put vergt een herstel van het putsysteem om weer tot een veilige situatie te komen.

Risico's bij toepassen blauwe diesel:

Tabel 5-2: Risico's bij toepassen blauwe diesel

	Gezondheid	Milieu	Materiaal
Top-event 1a: Optreden lekkage bij bovengrondse installatie - spuitser bij het puthoofd	C1	C2	C3
Top-event 1b: Optreden lekkage bij bovengrondse installatie – Lekstroom bij puthoofd in gebouw	F0	F0	F1
Top-event 2: Ondergrondse lekkage uit caverne tijdens winningsfase	B0	B2	B4
Top-event 3: Lekkage van achtergebleven bio-olie in caverne na abandonnering	A0	A2	A0

- Top event 1a: kans C, gevolgen gezondheid beperkter dan bij diesel
- Top event 1b: Kans F, beperkte gevolgen voor materiaal.
- Top event 2: kans B, gevolgen gezondheid en milieu zijn beperkter dan bij diesel
- Top event 3: kans A (achtergebleven blanket moet door 2 ondoorlatende sluitlagen heen van >100 m dik om in het grondwater te komen), gevolg milieu beperkter dan bij diesel

Uit de tabel blijkt dat er een enkele gele score is bij top event 1b en top event 2 op materiaal. Lekkage vanuit de ondergrond langs de put vergt een herstel van het putsysteem om weer tot een veilige situatie te komen. Over de gehele linie komen vloeibare alternatieven voor afdekmaterialen als blauwe diesel er positiever uit dan dieselolie.

Risico's bij toepassen stikstof:

Tabel 5-3: Risico's bij toepassen stikstof

	Gezondheid	Milieu	Materiaal
Top-event 1a: Optreden lekkage bij bovengrondse installatie - spuitser bij het puthoofd	D3	D2	D3
Top-event 1b: Optreden lekkage bij bovengrondse installatie - lekstroom bij puthoofd in gebouw	F3	F0	F1
Top-event 2: Ondergrondse lekkage uit caverne tijdens winningsfase	B0	B0	B4
Top-event 3: Lekkage van achtergebleven stikstof in caverne na abandonnering	A0	A0	A0

- Top event 1a: Kans D, de kans op een spuitser is bij stikstof groter dan bij diesel of blauwe diesel, vanwege de beduidend hogere druk en complexere procedures. De gevolgen bij een spuitser met stikstof zijn, door het meenemen van pekkel, voor de gezondheid en materiaal in potentie groter dan bij diesel en blauwe diesel en bij milieu vergelijkbaar met blauwe diesel.
- Top event 1b: Kans F, de kans op een lekkage is even groot verondersteld als bij diesel of blauwe diesel. Met name op gezondheid leidt dit tot een hoog risico (rood scenario) door het potentiële dodelijke karakter.
- Top event 2: Kans B, de kans op een ondergrondse lekkage van stikstof is groter dan voor diesel of bio-olie, vanwege de hogere druk en het vaker inpompen aflat (meer temperatureffecten, cement heeft meer te lijden door uitzetten en krimpen casing).
- Top event 3: Op lange termijn geen effect van stikstof uit caverne.

Uit de tabel blijkt dat er een rode en meerdere gele scenario's zijn. Voor top event 1a leidt dit tot gele scores door het meenemen van pekkel in geval van een spuitser en bij top event 1b tot een rode score door het risico op dodelijke afloop. Daarnaast is er nog een gele score bij top event 2 voor materiaal. Dit geeft aan dat veiligheids- en gezondheidsrisico's van de toepassing van stikstof hoger zijn dan voor een vloeistof en dat er meer maatregelen nodig zijn om tot aanvaardbare restrisico's te komen dan bij toepassing van een vloeistof.

5.4 Bespreking risico's

De risicomatrices tonen aan dat er voor stikstof een rode score uitkomt. Daarnaast zijn er meerdere gele scores voor zowel dieselolie, blauwe diesel als stikstof. Bij de rode score en gele scores moeten mitigerende maatregelen afgewogen worden.

Beoordeling per aspect

Voor het aspect gezondheid scoort blauwe diesel het beste, gelet op (het ontbreken van) toxiciteit en op het veroorzaken van verwondingen bij een spuitser of lekstroom bij de bovengrondse installatie ('fysieke verwonding' en/of 'verstikking'). Een fysieke verwonding (bij een dergelijk top event) is door het drukverschil bij een gas ingrijpender dan bij een vloeistof. Op gezondheidsaspect is het toepassen van stikstof zonder aanvullende maatregelen ongewenst.

Ten aanzien van het aspect milieu scoort stikstof het beste. Blauwe diesel scoort op dit aspect beter dan dieselolie.

Bij het aspect materiaal scoort stikstof minder goed. Het gaat hier niet zozeer om de stof 'stikstof', maar om de energie inhoud van het onder druk vrijkomen van een grote hoeveelheid stikstof. Een krachtige,

mogelijk explosieve lekkage veroorzaakt de schade, en niet zozeer aard van het afdek materiaal. Het risico op schade is daarbij groter dan bij de vloeistoffen.

Beoordeling per top event

Voor top event 1a (- spuiters bij het puthoofd) geldt dat blauwe diesel beter scoort dan diesel, vanwege hoger vlampunt en het ontbreken van toxiciteit. Met het oog op het risico op fysieke verwondingen scoren vloeistoffen (diesel & blauwe diesel) op dit aspect beter dan stikstof. Gelet op dit top event heeft het toepassen van stikstof geen voorkeur.

Bij top event 1b (Lekkage bij bovengrondse installatie – lekstroom bij puthoofd in gebouw) geldt dat blauwe diesel beter scoort dan diesel vanwege hoger vlampunt en ontbreken van toxiciteit. Gelet op dit top event heeft het toepassen van stikstof geen voorkeur.

Bij top event 2 (Ondergrondse lekkage uit caverne tijdens winningsfase) scoort stikstof beter dan blauwe diesel, en blauwe diesel beter dan diesel. Hier laat zich de afwezigheid van toxiciteit van stikstof en blauwe diesel gelden.

Bij top event 3 (Lekkage van achtergebleven afdek materiaal in caverne na abandonnering) komen stikstof en blauwe diesel (door de afwezigheid van toxiciteit) beter naar voren dan diesel.

6 Conclusies onderzoek

Selectie kansrijke alternatieven als afdek materiaal

De toetsing is uitgevoerd voor de onderstaande voorbeeld alternatieven voor het gebruik van diesel als afdek materiaal:

- Blauwe diesel
- Stikstof

Operationele consequenties

Blauwe diesel:

- Beperkte aanvullende constructieve of operationele voorwaarden zijn noodzakelijk ten opzichte van het gebruik van diesel. Een onbekende is het optreden van biodegradatie. Een nader onderzoek kan hier meer duidelijkheid in scheppen. Ook het effect op voedselveiligheid moet, in geval van toepassing in Twente, nader onderzocht worden.

Stikstof:

- Het gebruik van stikstof brengt grote veiligheid- en milieurisico's met zich mee. De belangrijkste is acuut verstikkingsgevaar bij een lekstroom van een puthoofd in een gebouw. Bij een spuiters is een dodelijk ongeval mogelijk en aanmerkelijke milieuschade ontstaan door de grote hoeveelheid vrijkomende pekels.
- Vanwege de aard van de stof vereist stikstof een meer complexe infrastructuur en operationele werkwijze ten opzichte van het gebruik van diesel (en blauwe diesel).
- Veranderende productieomstandigheden leiden tot variatie in gasdruk in de caverne en daarmee tot een instabiel, in hoogte fluctuerend grensvlak van pekels en stikstof. Dit kan een onbeheersbare groei van de caverne tot gevolg hebben.
- Stikstof moet structureel worden aangevuld, omdat het oplost in pekels, drukregeling op blanket noodzakelijk is en omdat hergebruik niet mogelijk is. Hiermee heeft stikstof een grotere eco-footprint dan vloeistoffen (deze worden niet verbruikt).
- Stikstof stelt beperkingen aan het dieptebereik van een caverne.
- De bovengrondse infrastructuur krijgt een meer industrieel karakter met bijhorende overlast tot gevolg (zoals geluidsemissie, transportbewegingen, zichtbare procesinstallaties). Daarmee heeft het gebruik van stikstof een grotere impact op de omgeving.

Toepassing per cluster

- Het noordelijk cluster heeft diep gelegen cavernes met een groot dieptebereik. Blauwe diesel zal door de lagere dichtheid dan die van diesel tot een beperking van de cavernehogte leiden. Het toepassen van stikstof leidt vanwege de benodigde hoge druk tot een aanzienlijke beperking van de cavernehogte tot gevolg. De inpassing van een stikstofinstallatie in de omgeving is problematisch.
- Het cluster Haaksbergen heeft eveneens diep gelegen cavernes maar met geringere hoogte. Hier kan waarschijnlijk vrijwel binnen het bestaande ontwerp blauwe diesel in plaats van diesel worden toegepast. Voor het toepassen van stikstof zal het ontwerp ingrijpend aangepast moeten worden. De inpassing van een stikstofinstallatie in het gebied is problematisch.
- Het cluster Hengelo-Enschede heeft relatief ondiepe cavernes met geringe diepte. Hier kan in toekomstige cavernes in plaats van diesel wellicht blauwe diesel worden toegepast, maar geen stikstof vanwege het huidige ontwerp van het caverne-veld en het incrementele karakter van nog eventuele laatste uitbreidingen (Ganzebos).

Risicobeoordeling

- Veiligheids- en gezondheidsrisico's: Lekkage van diesel kan bij blootstelling leiden tot negatieve gezondheidseffecten. Voor blauwe diesel geldt dit niet. Het gebruik van stikstof brengt grote veiligheidsrisico's met zich mee. De belangrijkste is acuut verstikkingsgevaar bij een lekstroom in een gebouw. Bij een spuiters is een dodelijk ongeval mogelijk,
- Milieurisico's: Diesel heeft in het geval van een lekkage negatieve effecten op het milieu. Dit geldt voor blauwe diesel in geringere mate, door de afwezigheid van toxiciteit. Het vrijkomen van stikstof zelf heeft geen milieugevolgen. Echter bij bijvoorbeeld een spuits komen er al snel grote hoeveelheden pek vrij met significante gevolgen voor het milieu,
- Materiële risico's: De materiële schade die kan ontstaan als gevolg van een lekkage van diesel is vergelijkbaar met de materiële schade bij een lekkage van blauwe diesel. Door de aanzienlijk hogere drukken en gas-handling equipment is in geval van calamiteiten grotere materiële schade bij toepassing van stikstof te verwachten.

Eindconclusie:

- Op basis van de algehele afweging inclusief risicobeoordeling ligt het voor de hand de toepassing van een alternatieve vloeistof als afdekmedium verder te onderzoeken. Naast blauwe diesel zijn andere biologische, synthetische en minerale oliën hiervoor kandidaat. Hiermee worden de veiligheids-, gezondheids- en milieurisico's die gepaard gaan met het gebruik van diesel geminimaliseerd, zonder nieuwe risico's te introduceren zoals bij toepassing van een gas als blanket zou gebeuren.

Bijlage 1: Verklarende woordenlijst

Begrip	Omschrijving
Abandonneren	Het verlaten en afsluiten van een caveerne door het plaatsen van cement pluggen in de verbuizing.
Actieve caveerne	Caverne waar sprake is van uitloging van zout.
Afdekolie	Laagje van olie toegepast bij het vormen van een holruimte.
Afsluitende laag	(eng.: caprock) Ondoorlatende (gesteente)laag die geen gassen en/of vloeistoffen doorlaat en daarmee als afsluiting fungeert voor een ondergelegen opslagreservoir.
Annulus	Ringvormige ruimte tussen twee verbuizingen (casings)
Barmm	Besluit algemene regels milieu mijnbouw
BCS	Blanket control system; grenslaag diesel / pekel bepaling d.m.v. meting aan geleidbaarheid.
Bevoegd gezag	De overheidsinstantie die bevoegd is een (wettelijk) besluit te nemen.
Bodemdaling	(in dit verband) Het door zoutwinning dalen van het maaiveld.
Boorgatkop, puthoofd of putmond	In Engels: wellhead. Set van afsluiters die bovenop het stelsel van buizen geplaatst wordt om veilig onder hoge druk vloeistoffen in en uit de caveerne te pompen
Caverne / holruimte	Een ondergrondse, met water/pekel gevulde ruimte ontstaan door het oplossen van zout en afvoeren van pekel.
Drukval	Verlies aan druk in een leiding
Casing	Buizen die aan de buitenzijde afgedicht zijn met cement zodat deze een afgesloten geheel vormen met het omliggende gesteente.
Fossiel water	Grondwater dat, voorkomend in formaties beneden de hydrologische basis, op geen enkele wijze in verbinding staat met de grondwatersystemen die aan de hydrologische kringloop deelnemen.
Geohydrologie	De leer van het vóórkomen, het gedrag en de chemische en fysische eigenschappen van grondwater.
Infrastructuur	Systeem van voorzieningen en verbindingen als (spoor)wegen en vaarwegen, hoogspanningskabels, waterleidingen etc.
Integriteit van een caveerne	Staat van de caveerne met het oog op betrouwbaarheid van de ondoordringbare zoutlaag.
LCSS	Last cemented casing shoe: diepst aanwezige casing die (soms gedeeltelijk) gecementeerd is.
Lithostatische druk	De druk die het gewicht van de bovenliggende aardlagen uitoefent op het gesteente, of de pekel in een caveerne, op een zekere diepte.
Maaiveld	De oppervlakte van het natuurlijke of aangelegde terrein.
MIT	Mechanical Integrity Test
Mitigeren	Het treffen van maatregelen waardoor het effect van ingrepen wordt verzacht, verkleind of voorkomen (bijvoorbeeld het toepassen van geluidsisolatie).
Pekel	Water met grote hoeveelheid opgeloste zouten (vooral natriumchloride). Pekel is de grondstof voor de vacuümzout fabriek in Delfzijl en Hengelo.
PND	Pulsed Neutron Density: Een logging tool waarmee verschillen in dichtheid worden gemeten, zodat de diepte van een blanket (bijvoorbeeld oliespiegel) kan worden bepaald.
Puthoofd (boorgatkop)	In Engels: wellhead. Set van afsluiters die bovenop het stelsel van buizen geplaatst wordt om veilig onder hoge druk vloeistoffen in en uit de caveerne te pompen
Referentie	Vergelijking of maatstaf.
Seismiek	Een geofysische methode om een beeld te krijgen van de ondergrond met behulp van kunstmatig opgewekte drukgolven. Seismiek wordt met name gebruikt in de olie-industrie, maar ook binnen de wetenschap vindt steeds meer toepassing van seismiek plaats.
TVD	True Vertical Depth (gewoonlijk in meters)
Winningsput	Samenstel van verbuizing (casing en tubings), putmond (wellhead) en afsluiters.

Begrip	Omschrijving
Well head (boorgatkop, putmond)	Set van afsluiters die bovenop het stelsel van buizen geplaatst wordt om veilig onder hoge druk vloeistoffen in en uit de caveerne te pompen
Wellhead	Boorgatkop, bovengrondse deel van de mijninstallatie (casings en tubings)
Winningsvergunning (voorheen concessie)	Vergunning waarbij aan een mijnbouwonderneming het recht wordt toegekend binnen een begrensd gebied een delfstof te winnen.
Winningsplan	Een door de mijnbouwonderneming opgesteld plan waarin de wijze, omvang en duur van de delfstoffenwinning worden beschreven. Een winningsplan wordt van kracht na formele instemming door de minister van Economische Zaken en Klimaat. De inhoud van een winningsplan is voorgeschreven in het Mijnbouwbesluit.
Zoutconvergentie	Het verschijnsel dat zout onder hoge druk en temperatuur kruipt (op geologische tijdschalen) en zo een ontstane holte weer kan dichtdrukken.

Bijlage 2: Geraadpleegde literatuur

#	Bron	Auteur	Jaar	Beschrijving
1	Onderzoek alternatieven voor diesel als afdekmedium	WEP	29-mei-19	Evaluatie op basis van generieke functionele eisen en VGM-stofeigenschappen. Onderzoek in opdracht van Frisia, Nedmag en Nouryon. Uitkomst ervan is input voor dit project.
2	101102 Blanket Comparison rev00d (pdf)	AkzoNobel - DEEP	13-dec-10	Comparison of two blanket media: Nitrogen and Diesel for Haaksbergen Saltwinning
3	190206 TN HL caverns - Hydr Considerations about Depth_rev01 (pdf)	DEEP	06.02.2019	Planning of new Brine Production Caverns at Heiligerlee - Pressure Conditions due to Cavern Depth Location while using Nitrogen as Blanket
4	CL1999F_Klafki (pdf)	Michael Klafki	okt-99	AIR BLANKET Practical Experiences m.b.t. caveerne in Stassfurt.
5	Bijlage 11: Generic Technical Risk Assessment of Gas Oil Storage in Salt Caverns in the Twente Region based on the Second Use Containment Concept	TNO - Deltares	2012	Risico-studie m.b.t. olieopslagproject in het Wingebied Hengelo-Enschede
6	190328_Blanket_Overview_rev00 (excel)	?	2018	Tabel met overzicht wat waar als blanket materiaal wordt gebruikt - wereldwijd
7	Bijlage 16: Risicobeheersplan Verspreiding van Olie in de Ondergrond (pdf)	AkzoNobel	9-1-2013	Risicobeheersplan dat ingaat op het gevaar dat er tijdens de opslag olie weglekt vanuit het opslagsysteem ("breach of confinement") en zich verspreidt in de ondergrond.
8	Bijlage 17: Risicobeheersplan Achterblijven van Olie na Abandonnering (pdf)	AkzoNobel	9-1-2013	Risicobeheersplan dat ingaat op het gevaar dat er na beëindiging van de olieopslag, dus na de laatste leging, een significante hoeveelheid olie in de caveerne achterblijft, die zonder extra maatregelen niet meer terug te nemen is.
9	De integriteit van onshore putten in Nederland	SodM	jan-19	Inspectieproject dat ingaat op de technische staat van onshore putten incl. zoutsector. Bevat punten voor technische beheer, verbetering integriteit en geeft focus aan toezicht door SodM.
10	Staat van de sector zout	SodM	mei-18	Rapport dat ingaat op de risico's van zoutwinning. Bevat risicoanalyse per winningsgebied, geeft aanbevelingen.
11	Brief aan SodM - Kockelkoren	Nouryon	8-mrt-19	Brief waarin Nouryon Plan van Aanpak presenteert aan SodM. Dit project betreft stap 5 van het PvA: Beoordeling van de hulpstof per wingebied.
12	150902_ZWA1_end-of-leaching_report_rev01 Blanket setting and overview trend	DEEP	?	Visualisatie van caveerne ontwikkeling Zuidwending

#	Bron	Auteur	Jaar	Beschrijving
13	BGR_Zuidwending_2002	BGR: Federal Institute for geosciences and Natural Resources	june 2002	Future development and optimization of the Zuidwending brine field: ontwerp caverneveld, breedte en hoogte van de cavernes.
14	Winningsplan zuidwending	AkzoNobel	2008	Zuidwending: Aanpassing winningsplan Adolf van Nassau Uitbreiding ten behoeve van de uitbreiding van de zoutproductie in Delfzijl, benoemt volumes blanketolie (HBO).
15	Winningsplan Heiligerlee	AkzoNobel	2009	Heiligerlee: Aanpassing winningsplan Adolf van Nassau ten behoeve van de uitbreiding van de zoutproductie in Delfzijl, benoemt volumes blanketolie (HBO).
16	Winningsplan Haaksbergen fase I	AkzoNobel	2013	Haaksbergen: Winningsplan voor de nieuwe winning. Diesel als blanket.
17	Winningsplan Ganzebos_fase 3	AkzoNobel	2017	Ganzebos fase 3: Winningsplan voor uitbreiding winning. Diesel als blanketolie. 100 en 150 m3 blanketolie per put.
18	Overzichten HL en ZW_3D_31-08-12	AkzoNobel	2012	Schematisaties / profielen van putten Heiligerlee en Zuidwending met diepten
19	Overzicht_Heiligerlee_16.03.2018	AkzoNobel	2018	Update schematisaties / profielen van putten Heiligerlee met diepten
20	Gebiedsdossier Hasselo	Provincie	2017	Drinkwaterwinning
21	Gebiedsdossier Herikerberg-Goor	Provincie	2017	Drinkwaterwinning
22	35 Matrix HL-B versie 3	Vreugdenhil	2019	Risico- analyse
23	35 Matrix HL-L versie 2	Vreugdenhil	2019	Risico-analyse
24	MP2005F_Hasselkus	Hasselkus - SMRI	2005	Beschrijving Computer Controlled Blanket Control System (BCS)
25	NLOG_Endslip_0305_2237_WSN-12	KNS	1966	Boorlog Winschoten
26	NLOG_Endslip_2212_2360_ZWD-KNZ-02	KNS	1967	Boorlog Zuidwending
27	NLOG_GS_PUB_8772_zuidwending-9-01	Akzo Delfzijl	1988	Boorlog Zuidwending
28	Nouryon Feasibility Report N2 blanket rev1.1	Nouryon	2019	Nitrogen blanket application in new salt cavern wells
29	Review_and_analysis_of_historical_leakages_from_st (1)	P. Berest et al.	2019	Beschrijft en analyseert incidenten met cavernes die ingezet zijn voor opslag.

Bijlage 3: Bow tie's (12)

Bijlage 4: Drukverloop in de caverne

Vanwege de eis dat de druk binnenin een caverne nooit groter mag worden dan de druk in het omringende gesteente, moet worden bepaald welke drukken op iedere diepte ontstaan als gevolg van het gebruik van een specifiek afdekkingsmateriaal en welke drukken ontstaan tijdens de eerste aanleg en tijdens de winningsfase van de caverne. Deze complexe afweging wordt geïllustreerd aan de hand van de onderstaande voorbeeld druk-diepte diagrammen.

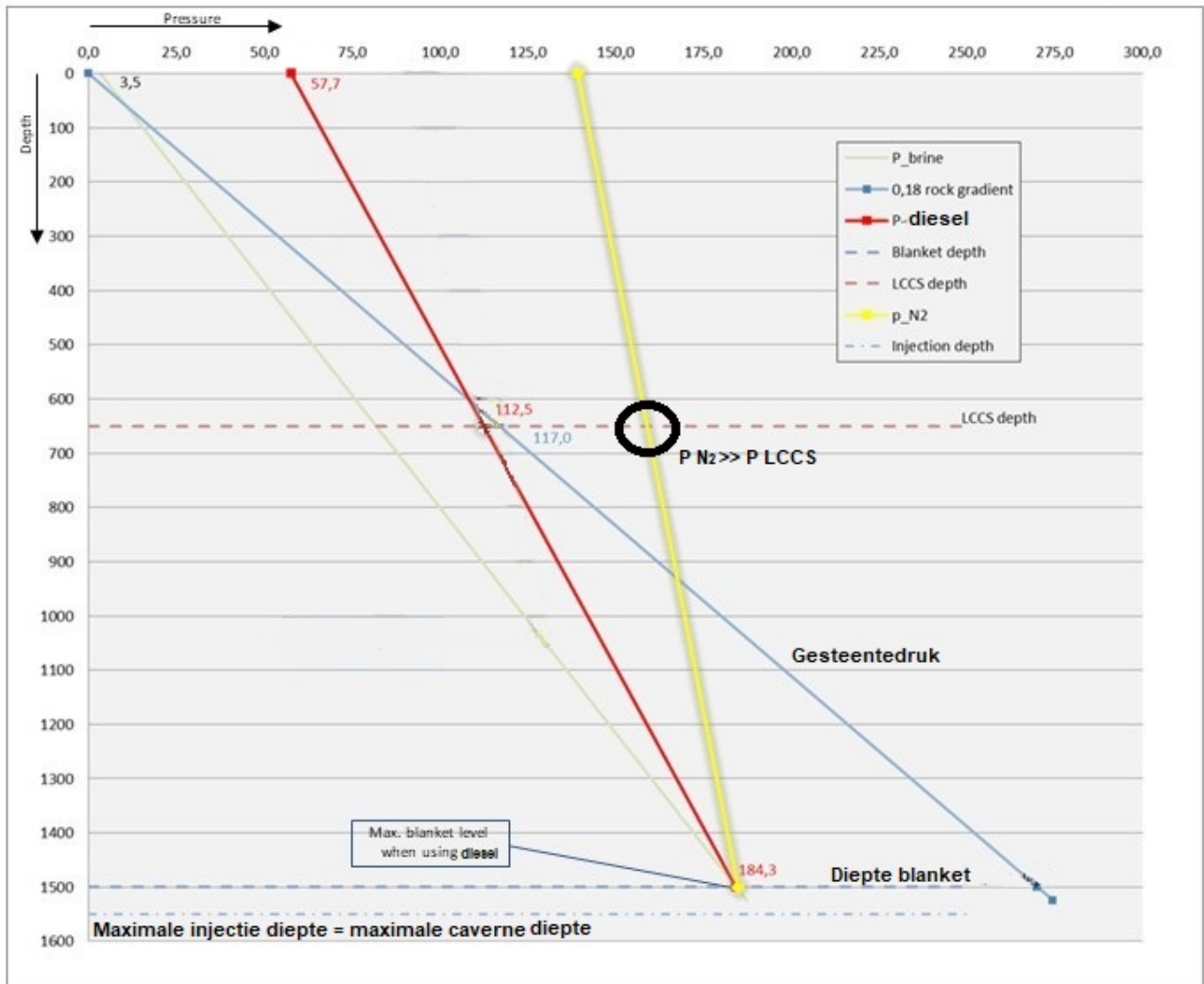
De maatgevende druk in een caverne wordt bepaald door de diepte van de casing shoe (LCCS). Met een LCCS op 650 meter diepte is de maximaal toegestane druk in de caverne $0,18 \cdot 650$ is 117 bar. Met de techniek waarbij van onderaf de caverne uitgeloozd wordt moet - voordat met uitlogen van de nieuwe caverne begonnen kan worden – tot 1500 meter diepte geboord worden. Vervolgens wordt de put uitgerust met een zoetwater aanvoerbuis en een pekelfoerbuis tot een diepte van ongeveer 1500 meter.

Gerekend vanaf het maaiveld bepaald de dichtheid van de pekelfoer in deze afvoerbuis welke druk onderin de caverne heerst. Met een pekeldichtheid van ongeveer 0,121 bar per meter bedraagt de druk op een diepte van 1500 meter ongeveer 184,3 bar. (hierbij is een kleine overdruk aan maaiveld van 3,5 bar meegerekend).

Omdat het uitlogen op deze diepte moet starten (caverne ontwikkeling van onderaf) moet het afdek materiaal de hele hoogte tussen de LCCS en bijna het diepste punt in de caverne afdekken. Alleen dan zal het zoete water onderin de beoogde caverne zout beginnen op te lossen.

Vanwege het grote dieptebereik tussen het diepste punt in de caverne en de LCCS gaat de dichtheid van het afdek materiaal een belangrijke rol spelen. In onderstaande druk-diepte diagram, Figuur A-1, is geïllustreerd welke verschillen ontstaan tussen diesel en stikstof. Indien gewerkt wordt met diesel ontstaat terugwerkend vanaf 1500 meter diepte een druk van 112,5 bar ter hoogte van de casing shoe op 650 meter diepte (kruising rode lijn met de grijze stippellijn). Deze druk is lager dan de toegestane 117 bar op diezelfde diepte.

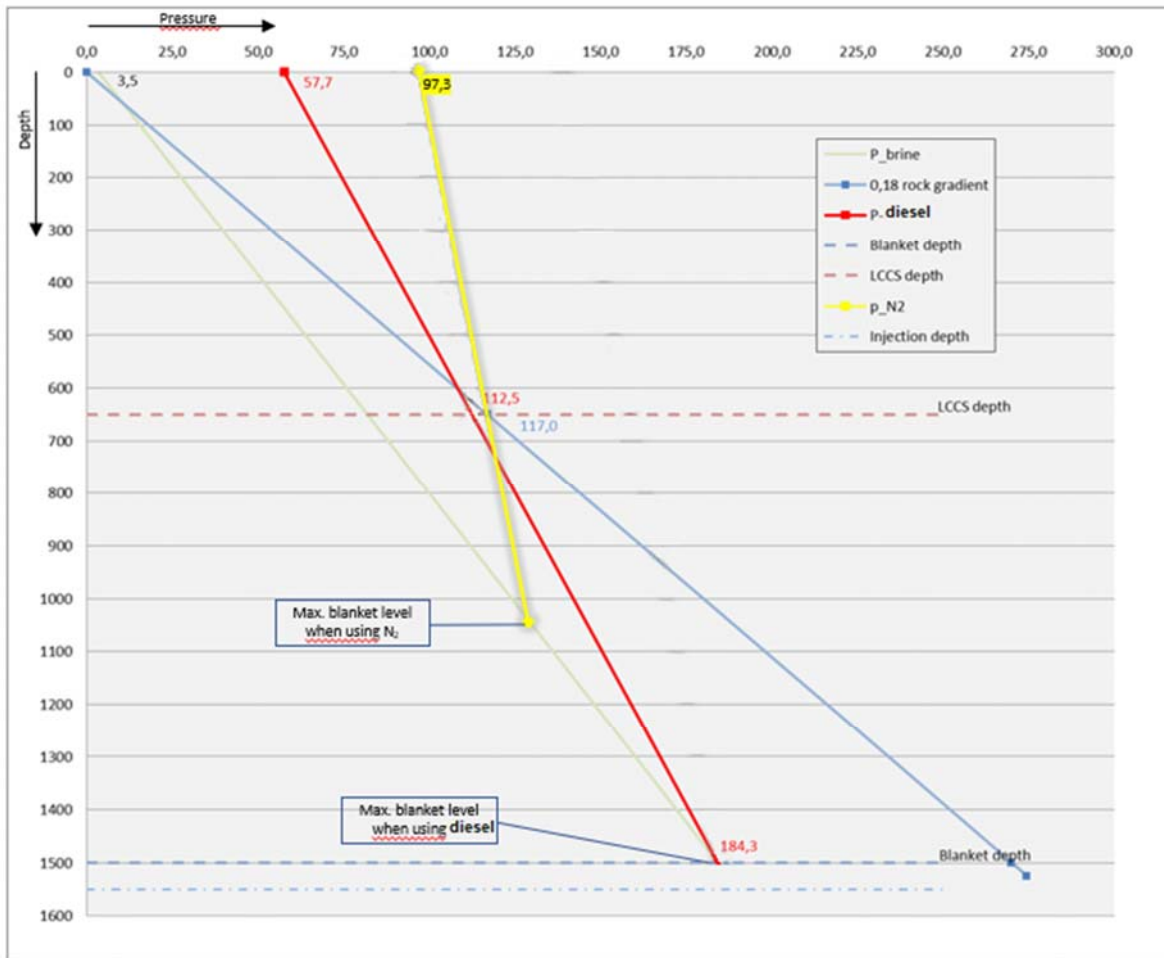
Indien in dit ontwerp gekozen zou worden voor toepassing van stikstof, dat een veel lagere dichtheid heeft, dan ontstaat terugwerkend van 1500 meter een druk van meer dan 150 bar (gele lijn). Dit is veel hoger dan de maximale druk van 117 bar. Deze oplossing is niet toegestaan vanwege de grote kans op scheur- en breukvorming ter plaatse van de LCCS met een ontsnapping van stikstof als gevolg.



Figuur A-1: Drukverloop bij toepassen stikstof en diesel voor caverne op diepte van 1.550 m-mv.

Bovenstaande situatie geldt bij de start van uitlogen. In dezelfde mate dat de caverne in hoogte groeit, wordt het contact oppervlak van pekkel en afdek materiaal naar boven verplaatst. Zowel de rode lijn voor diesel als de gele lijn voor stikstof schuiven parallel langs de pekellijn naar linksboven. De drukken die dan ontstaan ter hoogte van de LCCS nemen daarmee geleidelijk aan af.

In geval van de wens om toch stikstof toe te passen is bij een LCCS diepte van 650 meter de maximale diepte van waaruit uitgelooagd kan worden met stikstof als afdek materiaal ongeveer 1.050 meter diepte, zie Figuur A-2.



Figuur A-2: Drukverloop bij toepassen stikstof voor caverne op diepte van 1.050 m-mv.

Samenvattend, de hoogte van de druk ter plaatse van de LCCS wordt bepaald door de diepte waarop de eerste uitloging plaatsvindt én de keuze van het afdekkingsmateriaal, diesel, stikstof, of een andere stof.

Tevens is deze diepte maatgevend voor de sterkte van de putontwerp en puthoofd, omdat met de keuze van het afdekmateriaal ook de drukken binnen de verbuizingen tot aan maaiveld worden bepaald.

Uit deze figuren blijkt dat met name bij het toepassen van een stof met een lage dichtheid, zoals lucht of stikstof, er beperkingen kleven aan het hoogtebereik van een caverne. Voor een vloeistof is dat minder aan de orde, waarbij wel aangetekend moet worden dat blauwe diesel ook een lagere dichtheid heeft dan diesel. Dit houdt in dat bij het toepassen van vloeistoffen zoals diesel of blauwe diesel diepere (en hogere) cavernes kunnen worden gerealiseerd dan met het toepassen van gassen als afdekmateriaal. Dit heeft ook gevolgen voor de doelmatige winning uit een bepaald zoutvoorkomen.

Naarmate een afdekvloeistof een hogere dichtheid heeft (maar altijd lager dan de dichtheid van water) kan een caverne dieper en met groter hoogtebereik worden gerealiseerd. Diesel scoort qua dichtheid dus het gunstigst, toepassen van blauwe diesel heeft een beperkte impact (iets lagere dichtheid) en het toepassen van stikstof heeft een aanzienlijke impact.