

Doel: Beheersen van pekeldruk in cavernes, de pekelvolumes en de bodemdaling

Autorisatie: Mining Director

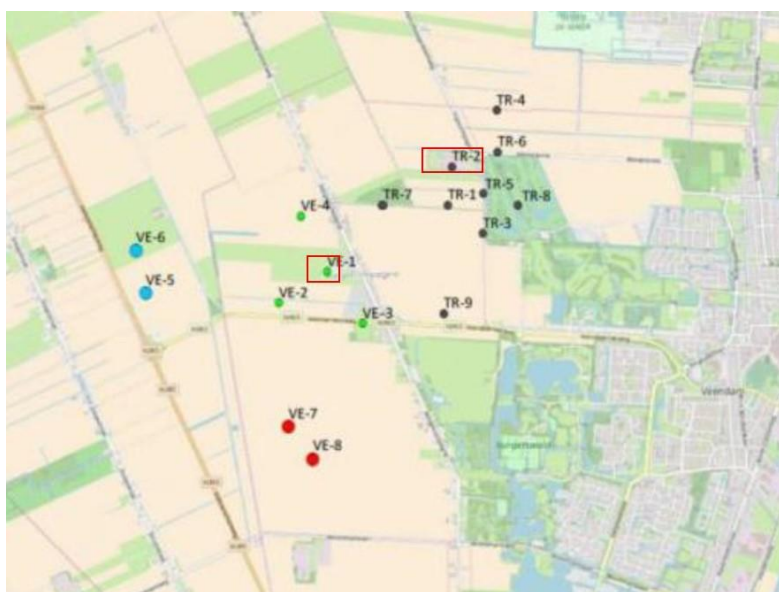
Dit document dient 3 doelen:

- Het is een werkprocedure voor Mining (M-15) ten behoeve van drukbeheersing en rapportage
- Het is een kwartaalrapportage aan Staatstoezicht op de Mijnen voor druk en volumebeheersing en rapportage bodemdaling (verzending per e-mail)
- Het is een kwartaalrapportage voor belanghebbenden en geïnteresseerden. Dit document wordt ieder kwartaal op de website Nedmag.nl geplaatst, waarbij oude versies minstens 2 jaar lang blijven bestaan.
- Bij/tijdens gebruik van dakolie zal het ook de gebruiken en voorraden van dakolie rapporteren.

De schuingedrukte tekst is met name achtergrondinformatie voor de zelfstandige leesbaarheid. De normale tekst bevat werkinstructies, rapportages en informatie over gestelde limieten.

Samenvatting

(i) Ten behoeve van het voorkomen van lekkages van een caveerne via het zoutdak (ii) ter voorkoming van te grote ondergrondse pekelvolumes en (iii) voor de voorspelling en verificatie van bodemdaling, stelt Nedmag randvoorwaarden aan de winning, die deels direct voorkomen uit het winningsplan 2018 en voorschriften in de instemming hiermee, en deels een uitwerking daarvan zijn. Over de instemming loopt nog een beroepsprocedure bij de Raad van State. De beheersing van de integriteit van de verbuizing en wellhead worden beschreven in procedure M-14: het WIMS (Well Integrity Management System). Dit protocol (M-15) is (ook) een publieks-document en kan door derden worden ingezien via het publieke deel van de website van Nedmag. Dit meet- en regelprotocol beschrijft de beheersing van de drukken en volumes in de bestaande bronnen en cavernes (TR-1 t/m TR-9 en VE-1 t/m VE-4) en met ingang van Q4 2023 ook de de beheersing van de drukken en volumes van de cavernes VE-5 en VE-7, waarvan de bijbehorende putten in 2022 zijn geboord. Tot slot gaat dit document in op de bodemdaling door zoutwinning en op het gebruik van dakolie.



Figuur S.1: positie casingshoenen bestaande putten (TR-1 t/m TR-9 en VE-1 t/m VE-5 en VE-7) en indicatieve posities van nog te boren putten (VE-6 en VE-8). Boorlocaties WHC-1 (VE-putten) en WHC-2 (TR-putten) in rood kader.

De initiële maximale cavernedruk is een functie van de initiële zoutspanning in het cavernedak, ten tijde van de boring bepaald via een Leak-Off Test (LOT) bij de casing schoen van de Last Cemented Casing (een 10¾" of 9¾" casing) of via een standaard dichtheid, gebaseerd op eerdere LOT's. Voor de bestaande cavernes (en dieptes) is een gesteentedichtheid van 2150-2250 kg/m³ afgeleid, waar de ondergrens aangehouden wordt om een (conservatief lage) spanning te berekenen op basis van de diepte (True Vertical Depth) van de casingschoen. Alleen als een LOT lager uitvalt wordt deze aangehouden. De maximum cavernedruk (tijdens de eerste loofase) op casingschoenniveau is initieel 90% van de gesteentespanning (op basis van dichtheid of LOT). Omdat langdurige zoutwinning de spanningen in het zout kan verminderen (door boogwerking/ arching van gesteentes boven het zout) moet de maximale cavernedruk constant blijven of dalen in de tijd. Vanaf een totaal pekelvolume van 450.000 m³, gebaseerd op een massabalans, mag de cavernedruk niet hoger worden dan 15 bar boven het laagste jaargemiddelde waarde van alle voorgaande jaren. Daarboven kan niet worden uitgesloten dat er zich een scheur vormt in het zoutdak, waardoor pekels kan ontsnappen naar de lagen boven het zout. Voor de in 2021 bestaande en te opereren cavernes (TR-1 t/m TR-9 en VE-3 t/m VE-4) is de maximum druk gebaseerd op historische drukken. Hoofdstuk 1 behandelt de maximale cavernedrukken.

Vanwege een risicobeheersing en bodemdalings-potentieel is er ook een maximum volume vrije pekels vastgelegd voor iedere caverne of groep cavernes. Dit is de hoeveelheid pekels, die naar verwachting door zoutkruip en caverneverkleining gewonnen kan worden (eenwelk gepaard gaat met bodemdaling). Een deel van de cavernepekels zal echter nooit gewonnen kunnen worden door zoutkruip, omdat de pekels zit ingesloten in de poriën van bezinksel (onopgeloste delen steenzout, sylviet, kieseriet, anhydriet en carnalliet of uitgekristalliseerd zout). Dit deel wordt gebonden pekels genoemd. Het deel gebonden pekels neemt toe met actieve logging (en de vorming van precipitaat) en wordt geacht eeuwig opgesloten te blijven, terwijl het deel vrije pekels toeneemt door logging en afneemt door zoutkruip (squeeze). Deze harde opsplitsing in een vrij en gebonden deel is voor het cluster van cavernes (TR-1 t/m TR-8 en VE-4) een goede aanname, waar de hoeveelheid gebonden pekels in de 1b laag praktijkondervindelijk bepaald is (op circa 25% van het opgeloste zout cq gecreëerde holruimte). Voor cavernes TR-9, VE-3 en de nog te ontwikkelen cavernes zal dit een schatting blijven totdat de totale hoeveelheid kruip (squeeze) in dezelfde orde van grootte komt als de gewonnen pekels. Dit wordt behandeld in hoofdstukken 2 en 3.

Hoofdstuk 4 beschrijft de meting en rapportage van bodemdaling, als gevolg van zoutkruip (squeeze). Hoofdstuk 5 beschrijft de boekhouding van dakolie bij de ontwikkeling van de cavernes VE-5 en -7, waarvoor dit relevant is.

Hoofdstuk 6 beschrijft de rapportage en frequentie daarvan van bovenstaande zaken, alsmede het actualiseren van dit document.

Afkortingen en begrippen

Annulus	Een ringvormige ruimte tussen 2 casings/tubings
Cavernedak	De eerste vloeistofdichte zout-formatie die zich boven een caveerne bevindt. Voor cavernes in de Zechstein ZE-III-2b/3b formatie, betreft het de lagen haliet (NaCl) van de Zechstein ZE-III-4 en ZE-IV formaties. Voor cavernes in alleen de ZE-III-1b formatie betreft het de ZE-III-2a t/m ZE-IV formaties.
Casing	Een deel van de winningsput dat vastzit in de aarde. Meerdere concentrische casings, van buiten naar binnen steeds dieper stekend, vormen samen de verbuizing van een winningsput
Casingschoen	onderkant van een gecementeerde casing, met een bekende diepte onder maaiveld (casing head housing). De last cemented casing is de casing tot in het zoutdak (een 9 ⁵ / ₈ " of 10 ³ / ₄ ")
Caverne	Met pek en vaste stof gevulde ruimte in de Zechstein ZE-III formatie
Dakolie	Mijnbouwhulpstof die gebruikt wordt om een caverne zich zijwaarts te laten ontwikkelen i.p.v. alleen maar verticaal omhoog. In het verleden diesel, tegenwoordig een alternatief dat veiliger is voor mens en milieu, te weten Shell GTL Solvent GS 215.
Last cemented casing	Zie casingschoen
Meet en Regelprotocol	Het protocol zoals voorgeschreven door het bevoegd gezag in artikel 10 in het Instemmingsbesluit winningsplan Nedmag 2018 (2023) d.d. 24-1-2023
Overburden	De formaties die zich boven het zout bevinden
Well	Engelse benaming voor winningsput
Wellhead	De onderdelen van een winningsput waarin casings en tubings zijn afgehangen
Wellheadcenter-WHC	Locatie van Nedmag waar zich meerdere wellheads bevinden (WHC-1 en -2)
Wellhead pressure	De druk in de wellhead van een vloeistofge vulde ruimte van een winningsput. Wordt ook wel aangeduid met de afkorting WHP
WIMS	Well integrity management system. Beschreven in M14

1. Beheersing cavernedrukken

1.1. Cavernedruk cluster (TR-1 t/m TR-8 en VE-4)

Putten TR-1 t/m TR-8 (geboord vanaf WHC2) en put VE-4 (geboord vanaf WHC1) hebben een gezamenlijke caveerne, waardoor de putdrukken elkaar volgen. Put TR-5 is van een cementplug voorzien en kan niet meer gemonitord worden. De druk van het cluster wordt momenteel gestuurd (en gemonitord) op put TR-2. TR-2 bezit geen opvoerserie meer en wordt alleen voor monitoring gebruikt. Put TR-6 wordt als back-up gebruikt indien de drukmeting in TR-2 verstoord zou zijn, om wat voor reden dan ook.

Het cluster wordt sinds Q3 2018 op vrijwel constante druk gehouden. Nedmag heeft als beleid dat de druk in het cluster niet boven de minimale (aangenomen) fracture-closing-druk mag uitkomen die bepaald is na het incident in april 2018 (263 bar voor TR-2). Beneden deze druk reageert het cluster in drukafhankelijkheid (stijfheid, kruipconvergentie) net als voor het incident. Deze 263 bar als drukmaximum is strikter dan uit het winningsplan 2018 en de daaraan verbonden vergunningsvoorschriften voortvloeit: de druk waarbij het cluster wederom een scheur vormt (en een pekellekkage plaatsvindt) wordt medio 2024 geschat op 272-285 bar voor TR-2 schoendruk. De druk is sinds eind 2018 niet boven de 260 bar geweest.

	Diepte schoen (m TVD)	LOT (bar)	Lithostatisch @ 2150 kg/m ³ (bar)	Gemiddelde druk @ schoen (bar) Q1-Q2-Q3-Q4	Max druk @ schoen (bar)	Max druk @ wellhead (bar)
TR-2	1615	340	340			
2022				257-257-257-257		
2023				256-257-257-257		
2024				257*	Q1: 263	Q1: 103 (water)
TR-6	1628	356	343			
2022				260-260-260-260		
2023				259-260-260-260		
2024				260*	Q1: 266	Q1: 60 (pekkel)

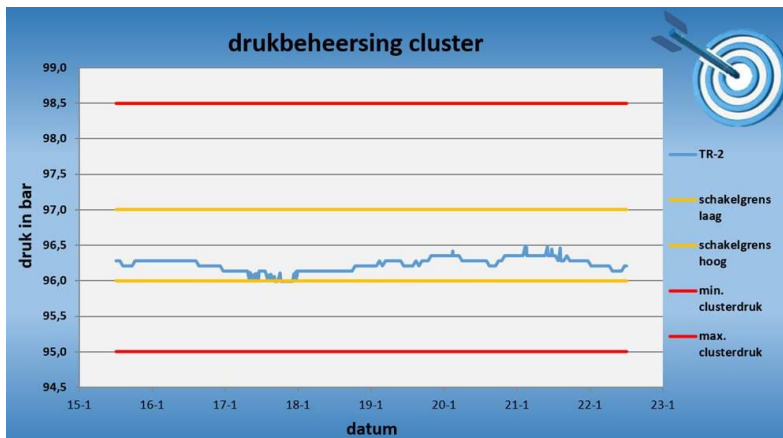
Tabel 1.1: Drukken en maximum drukken voor TR-2 en TR-6. Tabel wordt per kwartaal geüpdatet.

*= prognose.

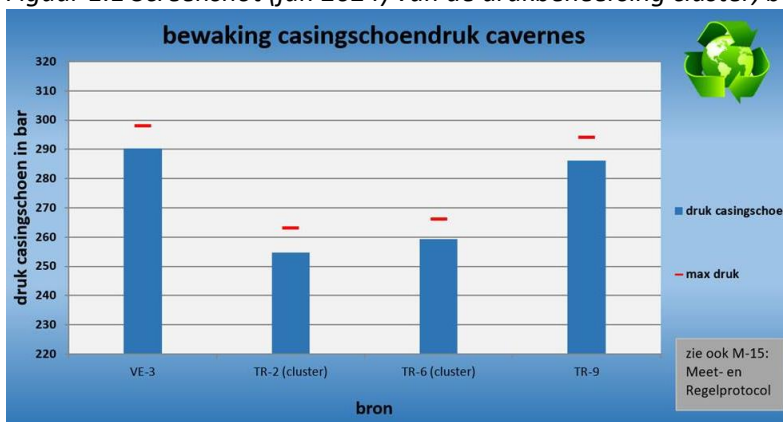
Mocht één van de cluster-cavernes zich geheel (of alleen het ZE-III 2b/3b deel) afzonderen van het cluster, waarbij er schoendrukverschillen ontstaan (gecorrigeerd voor diepte) die meer dan 10 bar bedragen, dan krijgt deze put of caveerne een afzonderlijke maximum druk, met inachtneming van de maximale drukstijging van 15 bar ten opzichte van laagste druk in de voorafgaande jaren, zoals voorgeschreven in de goedkeuring op het winningsplan 2018. Dit is uiteraard alleen mogelijk indien de put nog toegankelijk is (niet het geval voor TR-5). Via putten zonder opvoerserie (TR-2, TR-7) kan in geval van nood door de casing pekkel worden afgelaten.

De putdrukken worden gemonitord in de controlekamer (fig 1.1), waarbij in 2024 gestuurd wordt op de putmondndruk van TR-2, die beneden een maximum-druk moet blijven. De minimum druk is niet meer absoluut, maar afhankelijk van de pekkelbehoefte en de beschikbaarheid van herinjectiepekkel van VE-7 en VE-5). De (gewenste) druk van het cluster varieert op dit moment binnen de grenzen van 1 bar (gele lijnen), maar deze druk kan incidenteel met een spreiding van 3,5 bar variëren (rode lijnen). De onderste lijnen (laag en laag-laag) kunnen door de Mining Director worden aangepast bij grote pekkelbehoefte of wegvallen herinjectiepekkel. Daarnaast worden de drukken in de controlekamer getoond, waar de werkelijke en maximale drukken (volgens tabel 1.1) worden geplott.

In fig 1.2 wordt de huidige maximum casingdruk getoond, die dient als momentopname. Figuur 1.3 geeft de drukhistorie van het cluster van het afgelopen kwartaal. Omdat de drukken op hele barren worden weergegeven (en dus afgerond) lijken de drukken iets te springen.

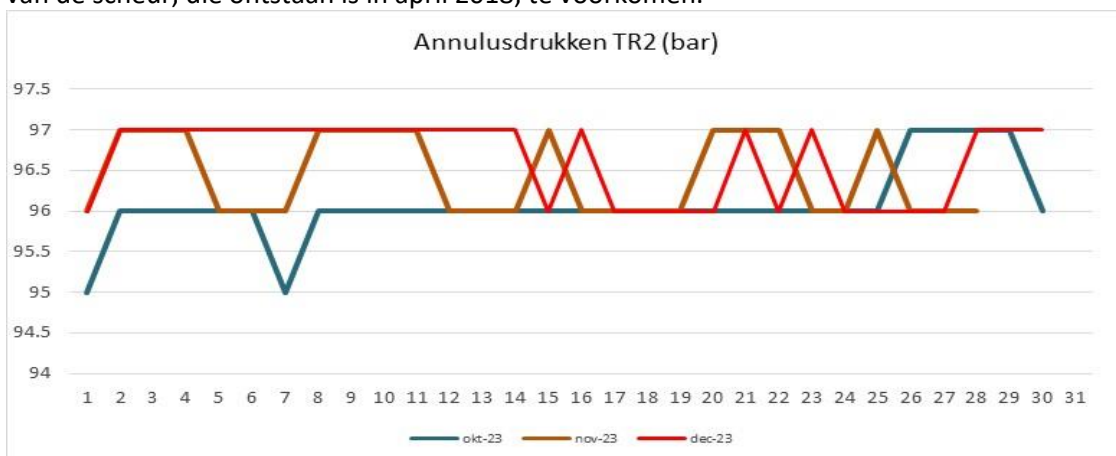


Figuur 1.1 Screenshot (jan 2024) van de drukbeheersing cluster, basis TR-2



Figuur 1.2 Screenshot (jan 2024) van drukken en maximum drukken op casingschoenniveau voor het cluster (putten TR-2 en back-up meting TR-6) en voor de cavernes VE-3 en TR-9.

De Mining Director kan besluiten tot een stuurdrukverandering (of een range-aanpassing) van de clusterdruk, bijvoorbeeld als gevolg van pekelsbehoefte, binnen de grenzen van de maximumdruk van tabel 1.1. Na ieder kwartaal wordt de maximum (veilige) druk opnieuw vastgesteld. De maximum schoendruk voor TR-2 is het gemiddelde van de voorgaande 4 kwartalen plus 15 bar, maar nooit meer dan de maximum schoendruk van het kwartaal daarvoor en nooit meer dan 263 bar (266 bar voor TR-6). Dit om heropening van de scheur, die ontstaan is in april 2018, te voorkomen.



Figuur 1.3 drukverloop TR-2 in Q4-2023 (drukken zijn afgerond op hele bars).

1.1.1 Drukbeheersing en integriteit bij herinjectie van pekels uit VE-5 en VE-7

Vanaf Q4-2023 injecteert Nedmag onverzadigde pekels uit VE-7, die gewonnen wordt door waterinjectie onder een oliedak. Vanaf 2024 ook VE-5 pekels. Deze pekels worden in het TR cavernecollier geherinjecteerd, en dan in beginsel via put VE-4:

- De instemming met actieve winning uit TR-9 is vooralsnog niet van kracht, vooralsnog mag er alleen uit TR-9 gewonnen via bleed off. VE-3 mag niet voor actieve logging worden gebruikt. Andere mogelijkheden voor herinjectie zijn er op de korte termijn niet.
- Nedmag heeft ervaring met herinjectie in het cluster, opgedaan met de gipsinjectie in TR3.
- Van het cluster is de compressibiliteit (ca 950 m³/bar, zie appendix A) bekend.
- De gevolgen voor bodemdaling zijn gering (enkele mm's in de fase van logen met oliedak).
- SodM heeft op 18 oktober 2023 (brief vv-24296/38176508) de herinjectie in VE-4 veilig bevonden voor de fase 1 met logging onder oliedak. Nedmag dient voor herinjectie in fase 2 (met NaCl pekels dosering) en fase 3 (waterinjectie zonder pekeldosering, indien nodig voor VE7) een nieuwe beoordeling aan te vragen.

Herinjectie van onverzadigde pekels uit VE-5 en -7 verloopt via een tussentank op WHC-2 (T9202), die ook als oliescheider zal werken, zo er al dakolie met de productiepekels terugkomt. In het cluster vindt een naverzadiging en zuivering plaats door oplossing van bischofiet en neerslag van carnalliet, haliet en kieseriet. De herinjectie vindt plaats via een hoge-druk pomp op WHC-2 met vast debiet van 30 m³/h. Zeker in de beginfase van logen (met kleine cavernes VE-5 en VE-7 en beperkte waterinjectie) zal deze pomp slechts een aantal uren per dag draaien. Injectie geschiedt in VE-4, één van de putten met toegang tot de bischofietlagen, tenzij er zich in of naar VE-4 een technisch probleem voordoet. Dan is TR-4 een denkbaar alternatief. Zonder compensatie door extra productie levert deze injectie een drukverhoging op van maximaal 0,75 bar per dag, als de herinjectie een volledige 24 uur plaatsvindt. Er is dus voldoende tijd om de productie te verhogen om deze drukstijging te mitigeren. Mocht de druk in een injectieput/caverne met meer dan 3 bar oplopen door een verslechterende verbinding met de rest van het cluster, dan wordt overgegaan op injectie in een andere put of wordt de put afwisselend gebruikt voor injectie en productie, om zo de druk voldoende laag te houden. De drukken van alle toegankelijke clusterputten worden dagelijks gemonitord op afwijkend gedrag met andere clusterputten.

De druk van het cluster wordt (zo goed als) constant gehouden, door de injectie in het cluster te compenseren met extra productie van bischofietpekels, net als wanneer er gips geïnjecteerd wordt. De drukmonitoring en bewaking is dezelfde als voorheen (zie Fig 1.1), zodat er geen extra risico bestaat voor lekkage uit het cluster door drukstijgingen. De injectie gebeurt ook niet nabij het midden van het cluster, waar in 2018 de lekkage vrijwel zeker optrad (nabij TR-1), zodat er geen logging plaatsvindt nabij het gesloten lek en in de ZE-2b/3b bovencavernes.

Het is denkbaar dat de scheur in 2018 lekdicht is geraakt door koelkristallisatie van carnalliet tijdens een pekelmigratie naar de Bunterformatie, na een mechanische sluiting. Injectie van water of zeer slappe pekels nabij de voormalige scheur, zou dit carnalliet in de scheur weer kunnen oplossen, waardoor in theorie een beperkt lek kan herontstaan. Door geen injectie toe te staan in de 2b/3b laag (of de cavernes TR-1/2/5) is dit mechanisme niet mogelijk. Pekels die worden geïnjecteerd in de 1b bischofietlagen heeft door menging met de bestaande pekels een te hoge soortelijke massa om naar de 2b/3b laag (gevuld met lichtere pekels) te stromen en zal dus van een herinjectieput naar een productieput stromen via de verbindingen in de 1b laag, waarbij het onderweg iets verder zal verzadigen met bischofiet, onder precipitatie van een deel van de restzouten (haliet, carnalliet en kieseriet).

De herinjectie van pekels, geloofd onder oliedak (met gemiddeld 10-20 m³/h) zal niet leiden tot een (absolute) vergroting van het ondergronds pekelsvolume door oplossing van bischofiet. Door squeeze neemt dit volume reeds jaren af, met op dit moment circa 30 m³/h (zie fig A1). Door herinjectie en verzadiging door oplossing van bischofiet neemt dit volume slechts minder snel af (gedurende de periode van herinjectie) naar 10-15 m³/h, wat per maand nauwkeurig is vast te stellen als de pekelsamenstelling en volumes bekend zijn. De gevolgen van een nieuw lek (bij gelijkblijvende kans op gebeuren) nemen door een dalend clustervolume en gelijke druk dus af in de tijd.

De extra zoutwinning en extra potentiële bodemdaling door herinjectie uit VE-5/7 tijdens de periode met oliedak is zeer beperkt (enkele mm's), zie H.5. De invloed op de ondergrondse pekelsvolumes wordt besproken in H.3.

Tijdens de ontwikkeling van de cavernes VE-5 en -7 met verdunde magnesiumchloridepekels als oplosmiddel, met NaCl-dosering op de pekelinjectiestroom, moet er vermoedelijk ook nog herinjectie van de uit VE-5 en -7 geproduceerde pekels plaatsvinden, maar dat zal in een volgende versie van dit document behandeld worden (vermoedelijk Q1-24).

1.2. Cavernedruk TR-9

Put TR-9 is geboord in 2011, heeft geen verbinding met het cluster en ligt voldoende ver verwijderd van het cluster om (vrijwel zeker) losstaand te blijven tot het moment waarop actieve winning uit TR-9 cf. het instemmingsbesluit met het winningsplan niet meer toegestaan is.

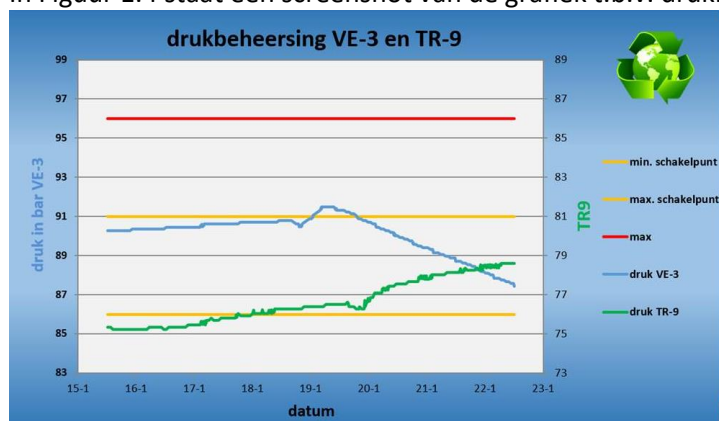
De Raad van State heeft in Q2-23 een voorlopige voorziening tegen de actieve winning in TR-9 uitgesproken, waardoor de put vooralsnog niet kan worden gebruikt voor waterinjectie (actieve logging).

De casingschoen van TR-9 bevindt zich in de ZE-IV formatie, maar de 2b/3b carnallietlagen zijn niet geloofd, waardoor er slechts een met bischofitische pekels gevulde caverne in de 1b sectie bestaat.

De maximum druk op casing-schoen-diepte wordt bewaakt via een maximum annulusdruk (Fig 1.4), waarbij de druk-omrekening plaats vindt volgens de dichtheid van vloeistof in de annulus (pekelsm 1,30). De alarmsettings worden aangepast aan de maximum toegelaten cavernedruk op basis van de druk van de voorafgaande jaren (tabel 1.2), de verschillen met het cluster en indien de dichtheid van inhoud van de annulus wijzigt, bijvoorbeeld van pekels naar water. Indien de annulusdruk niet communiceert met de caverne (door bijvoorbeeld een blokkade in de 2b/3b zouten) wordt de statische injectiedruk als alternatief genomen, eenwelk naar een druk op het niveau casingschoen wordt doorgerekend.

De putdrukken worden gemonitord in de controlekamer, waarbij gestuurd wordt op de putmondruk. Bij een overdruk gaat een intern alarm af, waarna de controle-operator de pekelsproductie verhoogt (of nadat dat weer toegestaan zou zijn de waterinjectie verlaagt) om de druk weer naar beneden te krijgen. De drukken worden realtime in de controlekamer weergegeven, waarbij tevens de werkelijke- en maximum-drukken (volgens tabel 1.2) worden geplott. Drukverlopen worden per kwartaal gerapporteerd via dit document.

In Figuur 1.4 staat een screenshot van de grafiek t.b.v. drukbeheersing voor VE-3 en TR-9.



Figuur 1.4 drukverloop VE-3 en TR-9 (jan 24) als verloop van tijd, met als rode lijn de alarm druk aan het wellhead, afgeleid van de maximum casingschoendruk. De gele lijnen zijn gewenste operating-drukken bij normaal bedrijf.

	Diepte schoen (m TVD)	LOT (bar)	Lithostatisch @ 2150 kg/m ³ (bar)	Gemiddelde druk @ schoen (bar) Q1-Q2-Q3-Q4	Max druk @ schoen (bar)	Max druk @ wellhead (bar)
TR-9	1625	NVT	342			
2022				293-290-290-290		
2023				290-290-290-290		
2024				290*	Q1: 294	Q1: 86 (pekels 1.300)

Tabel 1.2: Drukken en maximum drukken voor TR-9. Tabel wordt per kwartaal geüpdatet. *= prognose

TR-9 is in jan 24 een kleine caverne (< 450.000 m³ totaal volume pekel, tabel 3.1), waarvoor volgens het winningsplan 2018 (en artikel 6 van het instemmingsbesluit) nog geen (drukhistorisch bepaalde) maximumdruk geldt. Vanaf Q2-2022 heeft Nedmag dit vroegtijdig ingevoerd. De maximum schoendruk is op 294 bar gezet.

Na ieder kwartaal wordt de maximum (veilige) druk opnieuw vastgesteld. De maximum schoendruk voor TR-9 is het gemiddelde van de voorgaande 4 kwartalen plus 15 bar, maar nooit hoger dan 294 bar.

Zodra actieve waterinjectie in TR-9 is goedgekeurd door een uitspraak van de Raad v State (in 2024 of 2025), zal de maximum druk van de casingschoen van TR-9 in 6 maanden worden teruggebracht naar maximaal 5 bar boven die van TR-6. Tot die tijd ligt de maximum druk hoger om de caverne niet (door zoutkruip) te klein te laten worden, wat negatief is voor de pekelkwaliteit zodra water geïnjecteerd mag worden (geringe verblijftijd en contactoppervlak bischofiet).

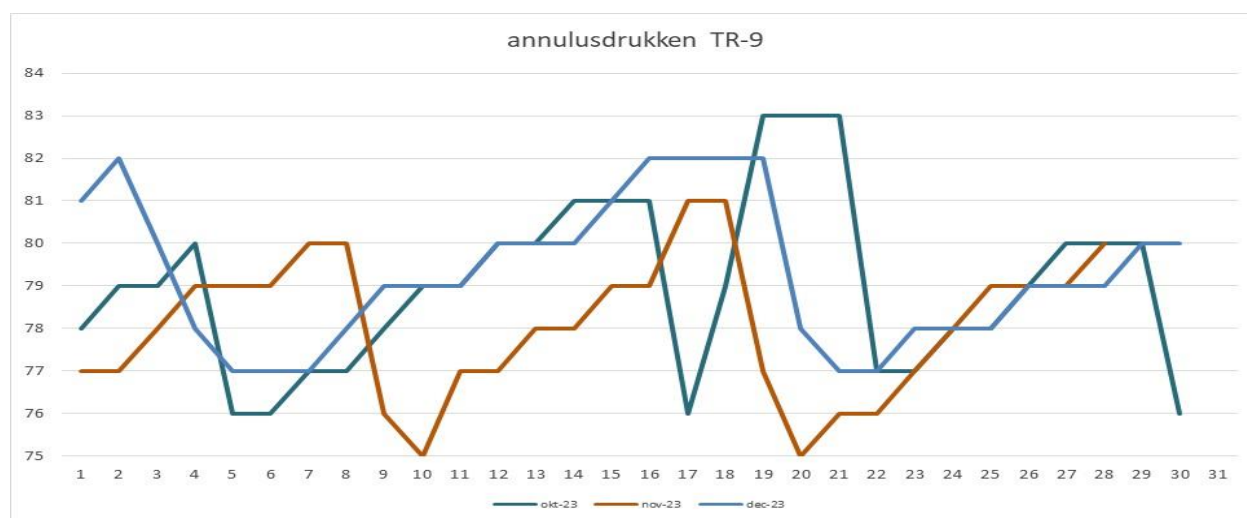
In oktober 2023 was de compressibiliteit van TR-9 circa 105 m³ per bar en het cluster 950 m³ per bar (zie Appendix A). In het onwaarschijnlijke geval dat TR-9 binnen de limieten van de vergunning door hydraulisch contact toch plosteling verbinding maakt met het cluster zal een 25 bar drukdaling in TR-9 ongeveer 2.5 bar drukstijging in het cluster opleveren. Na enkele maanden logen in TR-9 en een drukverschil van 15 bar zal dit hoogstens 2 bar zijn.

Door verwachte groei van TR-9 (door logging indien toegestaan vanaf medio 2024) en krimp van het clustervolume (door squeeze) zal deze verhouding in de toekomst (medio 2030) veranderen, vermoedelijk tot (maximaal) 300 m³/bar voor TR-9 en (minimaal) 750 m³/bar voor het cluster. Nedmag zal daarom het maximum (positive) drukverschil tussen TR-9 en het cluster (TR-6 of TR2 gecorrigeerd voor schoendiepte) nog verder doen dalen tot circa 5 bar medio 2028, om de drukstijging van het cluster bij doorbraak tot maximaal 2 bar te houden. Een drukstijging van 2 bar ligt binnen de in § 1.1 genoemde grenzen en leidde tijdens de laatste compressibiliteitstest niet tot afwijkende gedrag van het cluster.

Minstens 1 maal per jaar wordt de compressibiliteit gemeten (meestal rond een onderhoudsstop), voor het cluster door een insluittest van 24-48 uur en een productie- of injectietest voor TR-9 van 12-24 uur. Indien nodig wordt de maximum TR-9 druk aangepast aan die van het cluster. Zie appendix A.

De kans op samengroei van TR-9 met het cluster en de denkbare gevolgen daarvan zijn besproken in Hoofdstuk 4.2 van de "Aanvulling op Winningsplan 2018 (16 sept 2019)". Hierin wordt verwezen naar een rapport: "Hydraulic connections between Nedmag caverns. Underlying mechanism, chance of new connections and possible consequences (19-10-2018)". Deze rapporten gaan uit van de worst-case situatie (grote caverne TR-9 en klein resterend pekervolume van het cluster medio 2028) met een hogere verschildruk (circa 50 bar) dan gehandhaafd zal worden.

Figuur 1.5 geeft de TR-9 drukhistorie in Q4-2023 en Figuur 1.6 van Q1-23 t/m Q3-23.



Figuur 1.5 drukverloop annulusdruk van TR-9 in Q4-2023.



Figuur 1.6a/b/c. Drukverloop annulus TR-9 in Q1-23 t/m Q3-23.

1.3. Cavernedruk VE-3

VE-3 mag volgens het instemmingsbesluit op het Winningsplan 2018 niet langer gebruikt worden voor actieve logging. De caverne zal afgelaten worden, waarbij de pekkel gebruikt kan worden voor plantpekkel of andere doeleinden.

	Diepte schoen (m TVD)	LOT (bar)	Lithostatisch @ 2150 kg/m ³ (bar)	Gemiddelde druk @ schoen (bar) Q1-Q2-Q3-Q4	Max druk @ schoen (bar)	Max druk @ wellhead (bar)
VE-3	1590	NVT	335			
2022				296-296-292-281		
2023				285-288-279-280		
2024				275*	Q1: 298	Q1: 97 (pekkel 1.28)

Tabel 1.3 Drukken en maximum drukken voor VE-3. Tabel wordt per kwartaal geüpdatet. *= prognose

Na ieder kwartaal wordt de maximum (veilige) druk opnieuw vastgesteld. De maximum schoendruk voor VE-3 is het gemiddelde van de voorgaande 4 kwartalen plus 15 bar, maar nooit meer dan de maximumdruk van het kwartaal daarvoor. De putdruk wordt gemonitord in de controlekamer, waarbij gestuurd wordt op de putmondruk (Fig 1.4).

De Mining Director kan besluiten tot een stuurdrukverandering (of een range-verandering) van VE-3, bijvoorbeeld als gevolg van pekkelbehoefte, binnen de grenzen van de maximumdruk van tabel 1.3.

In sept 2022 was de compressibiliteit van VE-3 circa 300 m³ per bar.

1.4. Cavernedruk VE-1

Caverne VE-1 heeft geen cavernedeel in de ZE-III-1b bischofietsectie en heeft geen productietubings meer. De druk van de casing kan wordt gemonitord, maar de druk wordt niet gemaximeerd. Gezien de geringe cavernegrootte (schatting 50.000 m³ vrije pekel) en het ontbreken van snelkruipend bischofiet wordt het risico van grote of snelle lekkage naar naburige cavernes of de overburden gering geacht.

1.5. Cavernedruk VE-2

Caverne VE-2 is in 2023 geabandonneerd, met uitzondering van de environmental (surface) plug voorzien en de druk kan niet meer gemonitord worden; pekel kan niet meer afgelaten worden. De definitieve abandonnering van put VE-2 nabij het maaiveld is gepland voor Q2-2024.

1.6. Beheersing cavernedrukken VE-5

VE-5 is op dit moment slechts een microcaverne van circa 300 m³. In Q1-24 zal worden begonnen met logen onder een oliedak. De verwachting is dat de pekel carnallitisch wordt. VE-5 wordt initieel bedreven op een druk van circa 60-90% van de lithostatische druk. VE-5 vertoonde geen Leak-off tot 0,235 bar/m en er wordt dus 0,215 bar/m aangehouden als ondergrens lithostatische druk.

Tijdens de eerste fase (met logging met water en dakolie) wordt de druk beheerst door een maximum druk in te stellen op de injectiepomp op basis van een waterge vulde injectietubing. Dit is 145 bar voor VE-5. Bij een zeer kleine caverne wordt de productieklep volledig opengezet, omdat er te weinig compressibiliteit is om met de productieklep (choke) de putdruk te sturen. Indien dakolie wordt geïnjecteerd in batches van 0.5-2 m³ in een zeer kleine caverne (< 2000 m³) wordt de productieklep opengelaten.

De maximum cavernedruk tijdens injectie en productie is 90% van de lithostatische druk aan de casingschoen minus de gradiënt van olie (0,080 bar/m), zie tabel 1.4. Tijdens insluiting van de put met een kleine caverne (<10.000 m³) kan de druk door kruip, thermische- en oploexpansie van pekel tot hogere waardes oplopen. Dit wordt acceptabel geacht voor een zeer kleine caverne, daar het om kleine volumes gaat, die geen grote scheuren kunnen maken. Boven dit cavernevolume wordt periodiek druk afgelaten als de caverne niet voor productie benodigd is.

	Diepte schoen (m TVD)	LOT (bar)	Lithostatisch @ 2150 kg/m ³ (bar)	Gemiddelde druk @ schoen (bar) Q1-Q2-Q3-Q4	Max druk @ schoen (bar) (tijdens injectie)	Max druk @ wellhead (bar) (tijdens injectie)
VE-5	1589	--	335			
2023				Nvt-Nvt-Nvt-337		
2024				310*	Q1: 302	Q1: 177 (olie sg 0.8)

Tabel 1.4 Drukbeheersing VE-5. *= verwachting, opstart VE-5 eind februari 2024.

1.7. Beheersing cavernedrukken VE-7

VE-7 is op 01-01-24 slechts een minicaverne van circa 7000 m³. Er is in okt 23 begonnen met logen onder een oliedak. Hiermee worden alle zouten (waaronder haliet) rond de verbuizing onder de casingschoen opgelost, waarbij de dakolie voorkomt dat ook halietzouten boven de casingschoen oplossen. De pekelskwaliteit is carnallitisch bij een waterinjectie van circa 180 m³/dag. De verwachting is dat de pekel op den duur bischofitisch wordt. VE-7 wordt initieel bedreven op een druk van circa 85-90% van de lithostatische druk. VE-7 vertoonde geen Leak-off tot 0,235 bar/m en er wordt dus 0,215 bar/m aangehouden als ondergrens lithostatische druk.

Tijdens de eerste fase (met logging met water en dakolie) wordt de cavernedruk beheerst door een maximum druk in te stellen op de pers van de injectiepomp op basis van een waterge vulde injectietubing. Dit is 167 bar voor VE-7.

De maximum druk is de 90% van de lithostatische druk aan de casingschoen minus de gradiënt van olie (0,080 bar/m), zie tabel 1.5. Tijdens insluiting van de put met een kleine caverne (<10.000 m³) kan de druk door thermische en oploexpansie van pekel tot hogere waardes oplopen. Dit wordt acceptabel geacht voor een zeer kleine caverne, daar het om kleine volumes gaat, die geen grote scheuren kunnen maken. Boven dit cavernevolume wordt periodiek druk afgelaten als de caverne niet voor productie benodigd is.

	Diepte schoen (m TVD)	LOT (bar)	Lithostatisch @ 2150 kg/m ³ (bar)	Gemiddelde druk @ schoen (bar) Q1-Q2-Q3-Q4	Max druk @ schoen (bar) (tijdens injectie)	Max druk @ wellhead (bar) (tijdens injectie)
VE-7	1820	--	384			
2023				Nvt-nvt-nvt-335		
2024				335*	Q1: 345	Q1: 203 (olie sg 0.8)

Tabel 1.5 Drukbeheersing VE-7. *= verwachting.

1.8. Beheersing cavernedrukken VE-8

Dit hoofdstuk zal worden aangevuld, zodra put VE-8 is geboord en de casingschoen-diepte bekend is. Dit voordat met actieve winning (logging) wordt aangevangen. Dit zal niet voor 2025 zijn.

1.9. Beheersing cavernedrukken VE-6

Dit hoofdstuk zal worden aangevuld, zodra put VE-6 is geboord en de casingschoen-diepte bekend is. Dit voordat met actieve winning (logging) wordt aangevangen. Dit zal niet voor 2026 zijn.

2. Bepaling cavernegroei en convergentie uit productiecijfers

De cavernegroei en convergentie, wordt berekend (per caveerne) aan de hand van debietmeters aan de productie- en injectie- en dilutiekant. Bij Nedmag wordt de cavernepemel binnen de productiebuisk (via een concentrische dilutiebuisk) ondergronds met water verdund (gediluteerd) om afkoelings-kristallisatie te voorkomen. De flows worden continue gemeten en per dag in totalen intern gerapporteerd. Deze dagtotalen worden omgezet in maand-, kwartaal en jaaroverzichten, waarbij ook wordt berekend hoeveel zout is opgelost en hoeveel caverneconvergentie er op basis van de productie- en injectietotalen opgetreden is.

De netto productie uit een caveerne is het (dagelijkse of maandelijks) productievolumen minus het dilutievolumen. De injectie is het volumen aan injectiewater plus het waterdeel (boven dat van verzadigde cavernepemel) van geherinjecteerde pek. Er wordt sinds 2011 niet meer actief carnalliet uit de ZE-III-2b/3b opgelost, en dit proces wordt daarom niet besproken. Bij oplossing van zout in de ZE-III-1b laag wordt voornamelijk bischofiet ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) opgelost en kleine hoeveelheden carnalliet ($\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), haliet (NaCl) en kieseriet ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Dit wordt allemaal berekend op basis van een massabalans en een (te verwachten) verzadigde toestand van de pek, afgeleid uit de geproduceerde pek. De cavernepemel (bij 65 °C) van een volwassen caveerne heeft gemiddeld (per caveerne en in de tijd) een dichtheid van 1355 kg/m³ en een MgCl_2 percentage van 38%.

De exacte formules zijn complex en de parameters afhankelijk van de gemiddelde pekelsamenstelling per caveerne, maar een benadering is wel te geven in eenvoudige formules, indien uitgegaan wordt van slechts winning door waterinjectie in bischofietlagen.

Indien 1 m³ water wordt geïnjecteerd, dan lost 2,9 m³ magnesiumzout op, met een gelijke toename van het pekelgevulde cavernevolumen. In totaal wordt er 4,1 m³ pek gevormd uit 2,9 m³ magnesiumzout (bischofiet, carnalliet en kieseriet samen), 1 m³ water en een expansie van 0,2 m³. Dit levert -zonder het effect van zoutkruip en drukveranderingen- 1,2 m³ geproduceerde onverdunde pek op. Doordat de pek met 10-20% verdund wordt ter voorkoming van kristallisatie in de leidingen en opslagtanks, wordt er uiteindelijk (zonder squeeze) 1,4 m³ verdunde pek geproduceerd.

Indien de caveerne groot genoeg is en de cavernedruk laag genoeg, dan levert zouttoestroom (squeeze) door verdringing een extra hoeveelheid pek op. Van de hoeveelheid pek in de bischofietlagen (2,9 m³ per 1 m³ waterinjectie) kan 2 tot 2,5 m³ gewonnen worden door zoutkruip. Deze aanwezige hoeveelheid "vrije" pek neemt toe met logging en af met squeeze. De onverdunde pekproductie bij gelijkblijvend vrij pekervolumen kan dan van 1,2 naar 3,2-3,7 m³ stijgen per geïnjecteerde 1 m³ water.

De rest van de pek in de caveerne (0,5 tot 1 m³ per 1 m³ waterinjectie) is ingesloten in neerslag (brokken onoplosbaar of gekristalliseerd zout) en wordt gebonden pek genoemd. Die onderverdeling en berekende volumes worden in hoofdstuk 3 besproken.

3. Bepaling opsplitsing gebonden en vrije deel pekkel

Een deel van de pekkel, dat ontstaat bij oplossing van bischofiet, zal voor geologische tijden (duizenden tot tienduizenden jaren) opgesloten blijven in de poriën en kleinere holtes van slechter oplosbare zouten: anhydriet (CaSO_4), haliet (NaCl), kieseriet ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) en carnalliet ($\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Dit gebonden deel kan in een tijdsschaal van tientallen jaren (de maximum leeftijd van de productieput) niet door kruipconvergentie gewonnen worden. Het andere deel (het vrije deel) kan door kruip gewonnen worden. Voor kleinere cavernes (VE-3, TR-9) lijkt $\frac{2}{3}$ vrije pekkel een goede high-end aanname. Voor het bischofietgedeelte (de 1b) van het cluster lijkt $\frac{3}{4}$ een betere fit. Voor het carnallietdeel van het cluster en de cavernes VE-1 t/m -3 bestaat er geen praktijkgetal, maar een analogie met de bischofietsectie van kleine cavernes. Aan VE-1 en -2 wordt in dit protocol verder geen aandacht besteed, zie § 1.4 en 1.5. Er wordt van uitgegaan dat vrijwel alle niet-bischofiet-zouten, die zich in de bischofietlaag bevinden, na wegloging van het bischofiet, in de caveerne zullen vallen met een porievolumen van circa 20%. Als bijvoorbeeld 43% van deze sectie bischofiet is (en dus 57% andere zouten) zal 1 m^3 opgelost bischofiet $1,3 \text{ m}^3$ vaste stof aan neerslag opleveren. Inclusief 20% pekkelvulling is dit $1,6 \text{ m}^3$ neerslag met $0,33 \text{ m}^3$ pekkel (20% van $1,6 \text{ m}^3$). Het ontstane vrije pekkelvolume is dan $0,67 \text{ m}^3$, naast $0,33 \text{ m}^3$ gebonden pekkel oftewel $\frac{2}{3}$. Convergentievolumen (squeeze) wordt dan afgetrokken van het vrije pekkelvolume om het resterende squeeze-potentieel te berekenen, dat de input is voor bodemdalingspotentieel (H 4).

Het verloop van het volume vrije pekkel in het cluster in de tijd (vanaf 2018) staat weergegeven in Appendix A (fig A1), waarbij de hoeveelheid pekkel in de bischofietsectie is afgenomen van bijna 2,5 miljoen m^3 naar circa 1 miljoen m^3 op 1-1-24.

De volumes van vrije en gebonden pekkel van het cluster tijdens pekkel-herinjectie van onverzadigde pekkel van VE-5 en VE-7, blijven gerapporteerd via dit rapport, waarbij verwacht wordt dat het volume vrije pekkel blijft afnemen gedurende de herinjectie, doordat er meer squeeze plaatsvindt dan oplossing van zout. Intern Nedmag worden de injectiegegevens op dagelijkse basis bijgehouden in BDS (volume en dichtheid) en (mede op basis van labresultaten van de zoutfracties in de herinjectie-pekkel) maandelijks vertaald naar het opgeloste volume zout. De vrije en gebonden pekkelvolumes worden gerapporteerd via Tabel 3.1 en 3.2.

	% vrij bij oplossing 1b	Vrij pekkelvolume 1b 1-1-2024 (*1000 m^3)	Gebonden pekkelvolume 1b 1-1-2024 (*1000 m^3)
Cluster	75% ($\frac{3}{4}$)	1007	2911
TR-9	67% ($\frac{2}{3}$)	188	170
VE-3	67% ($\frac{2}{3}$)	211	294
VE-5	67% ($\frac{2}{3}$)	0	0
VE-7	67% ($\frac{2}{3}$)	9	3

Tabel 3.1: percentage van vrij volume bij oplossing Mg-zouten alsmede volumes vrije en gebonden pekkel in de 1b laag. Het % vrije pekkel in de 1b-laag in het cluster is gecalculeerd voor het cluster. De andere percentages zijn bepaald via boorkerngegevens.

Voor de 2b/3b carnallietcavernes is een vergelijkbare analyse gemaakt. In tabel 3.2 staan de op deze manier bepaalde ondergrondse pekkelvolumes in de 2b/3b laag (carnallietpekkel). Per kwartaal worden deze waarden gerapporteerd. Het aandeel van de squeeze uit het carnallietpekkeldeel (2b/3b) is een schatting en bedraagt in Q1-24 circa 25% van de totale convergentie.

	% vrij bij oplossing carnalliet 2b/3b	Vrij pekkelvolume 2b/3b 1-1-2024 (*1000 m^3)	Geb. pekkelvolume 2b/3b 1-1-2024 (*1000 m^3)
Cluster	67% ($\frac{2}{3}$)	859	936
VE-3	67% ($\frac{2}{3}$)	57	100

Tabel 3.2: percentage vrije pekkel bij oplossing van carnalliet in de 2b/3b laag en volumes vrije en gebonden pekkel in de 2b/3b laag.

Indien het percentage gebonden pekkel significant hoger blijkt te zijn dan verwacht dan zal minder pekkel gewonnen kunnen worden door zoutkruip (convergentie). Dan zal er ook minder bodemdaling optreden. Met name het volume vrije pekkel in het carnallietische deel van het cluster (geschat op circa 0.9 miljoen m^3) is

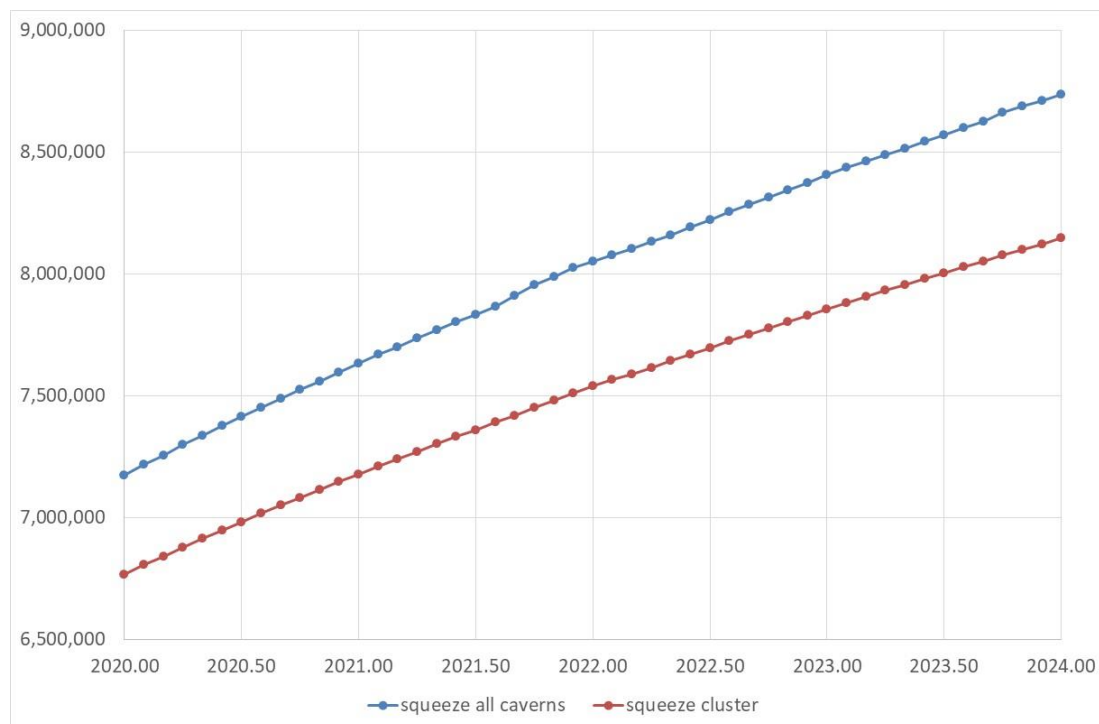
relevant voor de bodemdaling op lange termijn, en deze kan voor de 2b/3b lager uitvallen dan geschat, omdat de 3a halietlaag vermoedelijk een vergaande volumereductie door kruip van carnalliet beperkt.

4. Bodemdaling door zoutwinning

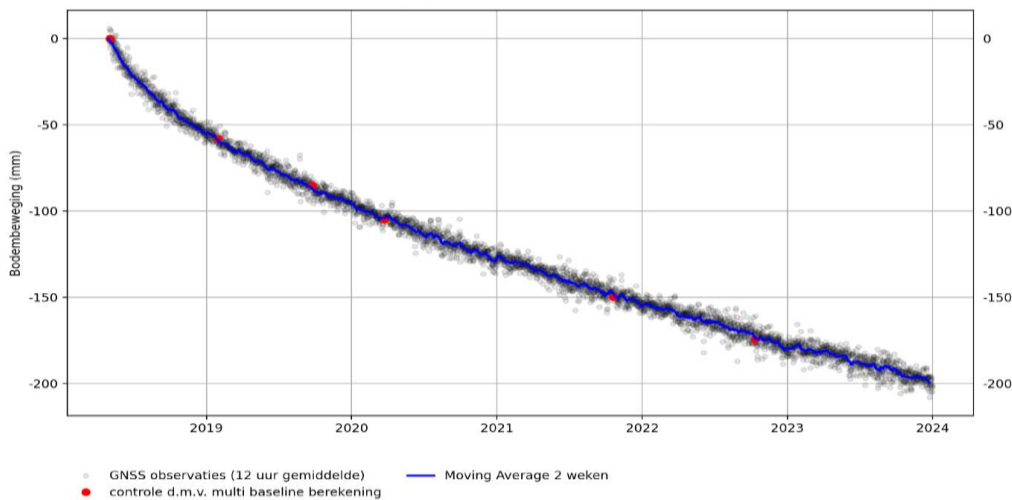
4.1. Bepaling bodemdaling: maximum, volumes en komvorm

Op kwartaalbasis worden InSAR metingen verkregen, waarbij de verandering van hoogteligging van verharde vlakken (brede wegen, daken en verharde terreinen) wordt vastgesteld door een satelliet. De bodemdalingstrend wordt vergeleken met de berekende squeezevolumes (Fig 4.1). De dalingsanalyse nabij het diepste punt wordt (onafhankelijk) gecontroleerd met GPS data op WHC-2 (Fig 4.2).

In deze dalingswaardes zitten ook dalingen door gaswinning en autonome daling (compactie van ondiepe lagen door inklinking en veenoxidatie) alsmede seizoens-schommelingen door fluctuerende waterstanden en temperaturen. Het berekende komvolume wordt (als totaal en als toename per jaar) vergeleken met het berekende squeezevolume door de gemeten bodemdaling te fitten met Geertsma-Van Opstal en/of Gauss-curves, met name om de volumes in de rand van de kom beter te schatten. Hier is heel weinig bodemdaling en veel verstoring door gaswinning, maar ook een groot oppervlak aanwezig met potentieel grote volumes aan bodemdaling.



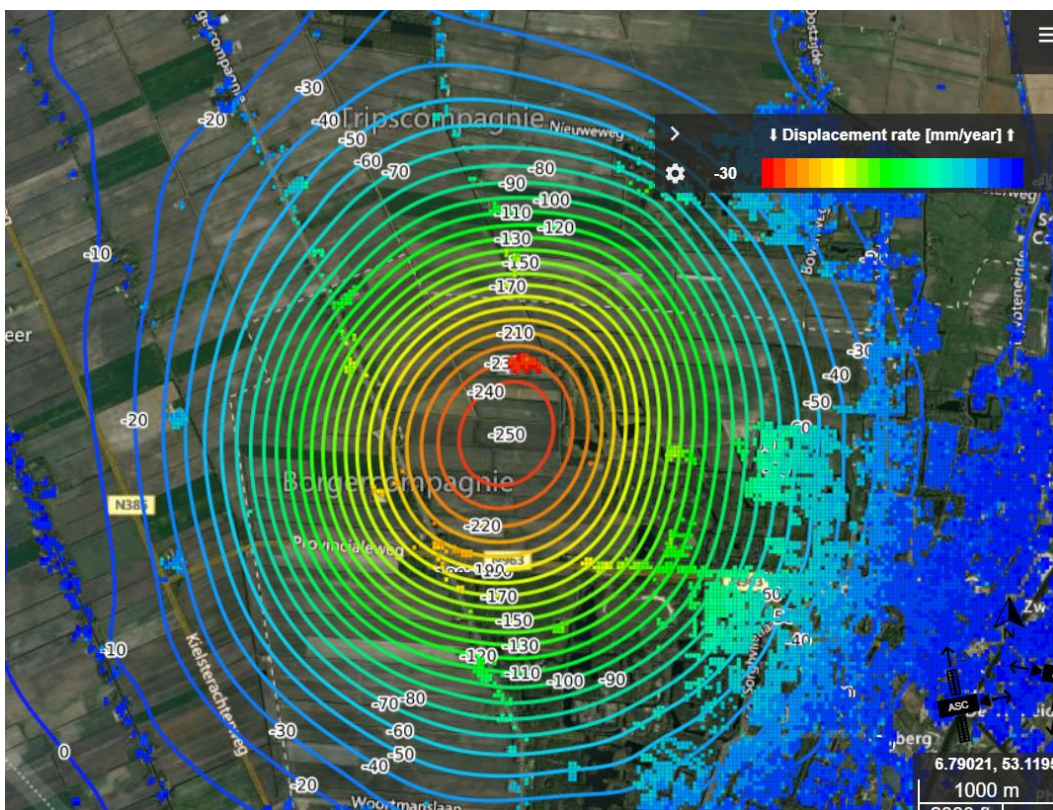
Figuur 4.1: cumulatieve squeeze-evolutie (caverneconvergentie) in m³ van jan-2020 t/m dec-2023.



Figuur 4.2 GPS dagwaardes en 14 daagse gemiddelde voor bodemdaling op WHC-2 sinds mei 2018. De spreiding is meetruis (meteorologische effecten), die over een langere periode uitmiddelt.

In het hart van de zoutwinningskom is de daling door Nedmag zoutwinning dominant. Alleen op de flanken (op meer dan 5 km afstand) is er de laatste jaren een significante bijdrage van de gaswinning en/of zoutwinning/gasopslag in Zuidwending (zie figuur 4.6). Het aandeel van bodemdaling door gaswinning (na stoppen gaswinning uit de velden Groningen en Annerveen) zal -naar verwachting- afnemen.

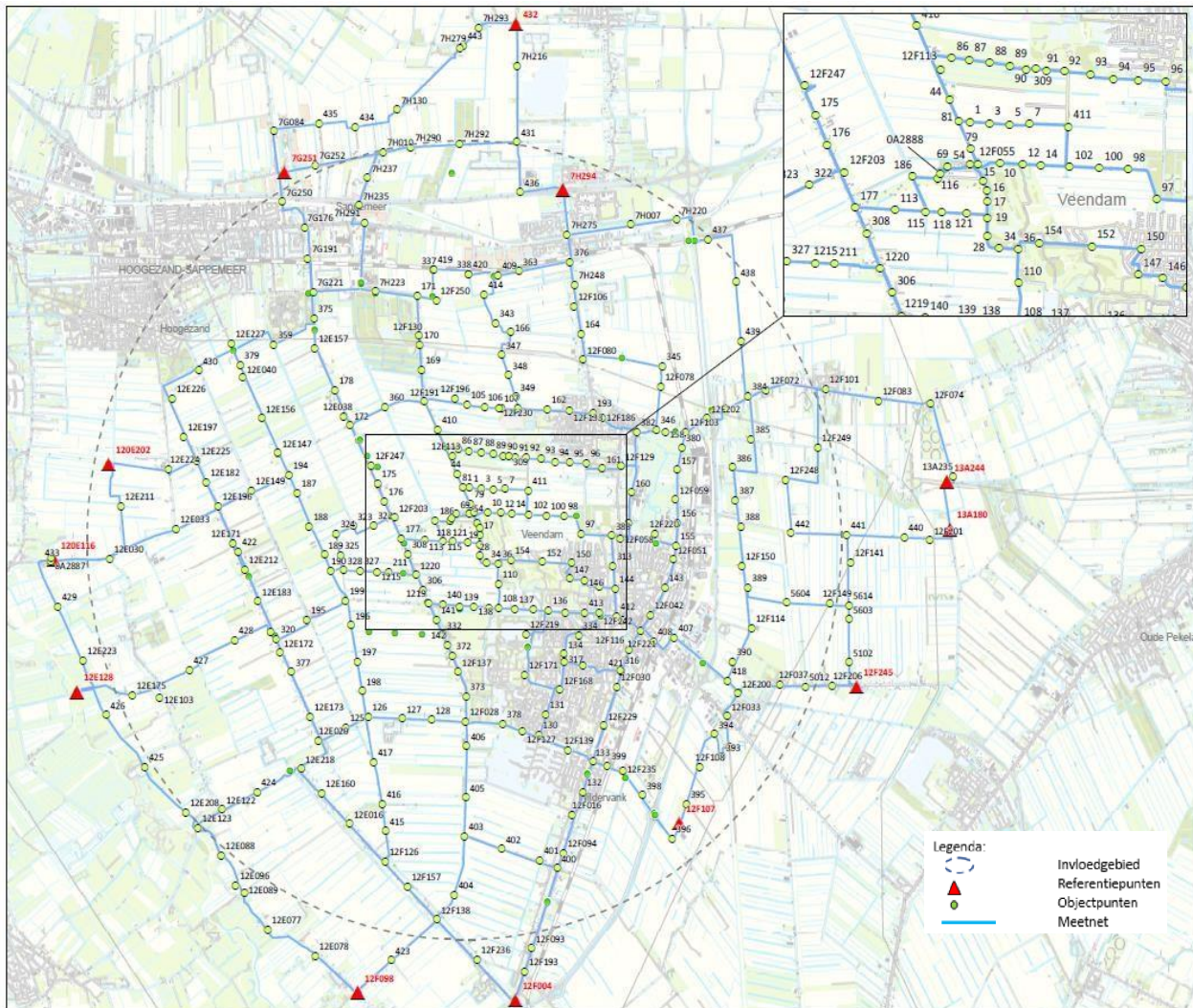
InSAR-data worden ieder kwartaal omgewerkt in een bodemdalingskom. Zie figuur 4.3 voor een kaart voor de periode 2016-heden.



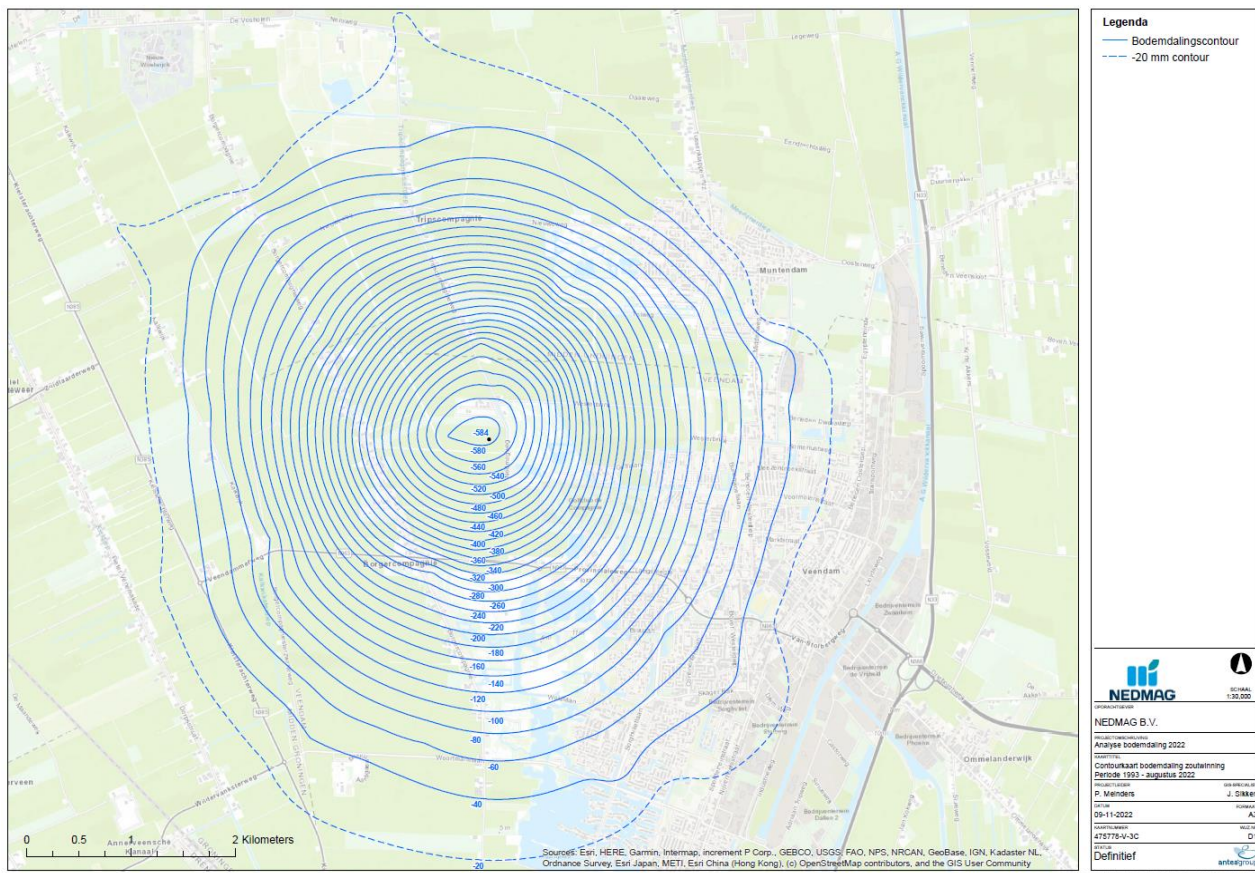
Figuur 4.3 Bodemdalingcontouren Insar feb 2016 t/m dec 2023 in mm. De gekleurde punten geven de gemiddelde (dus niet de actuele) dalingssnelheid van meetpunten van 0 tot 30 mm per jaar over deze zelfde periode. De contouren hebben hun eigen kleurenschaal van 0 tot 250 mm.

Om de 2 jaar (ieder even jaar) vindt er een waterpassing plaats, de aankomende in Q2-3 2024.

Deze waterpassing bepaalt hoogte-veranderingen van vaste punten op gefundeerde huizen, objecten en ondergrondse meetpalen. Met deze meting kunnen ondiepe effecten (van de bovenste 1-3 meter, met name door grondwaterschommelingen) worden uitgefilterd. De meetpunten bevinden zich in de regel langs wegen, maar ook langs smalle en onverharde wegen, waardoor InSAR en waterpassingen elkaar aanvullen. Het 2018-2022 meetnet staat in figuur 4.4. De bodemdaling 1993 t/m aug 2022 is getoond in Fig 4.5.



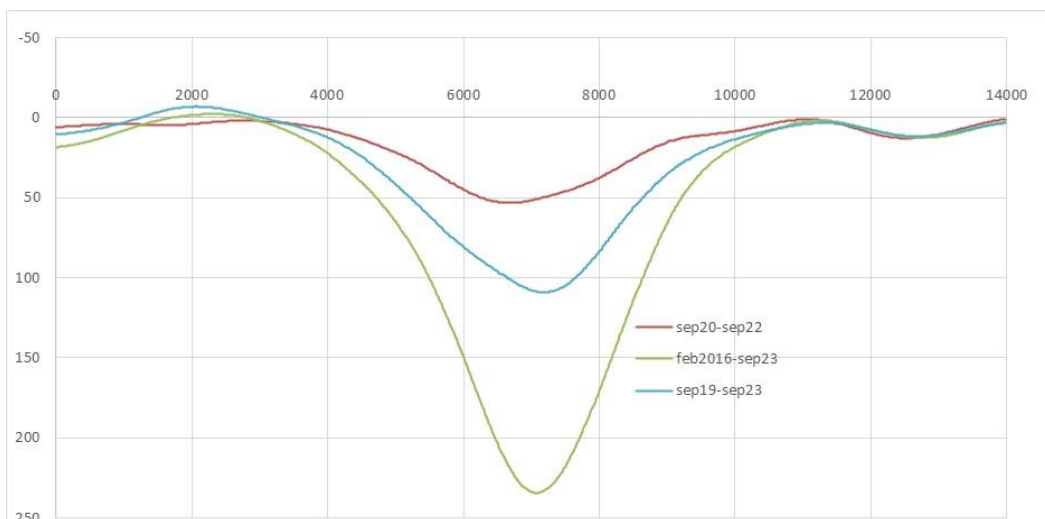
Figuur 4.4: Waterpasmeetnet Nedmag in 2022, deels overlappend met het NAM meetnet.



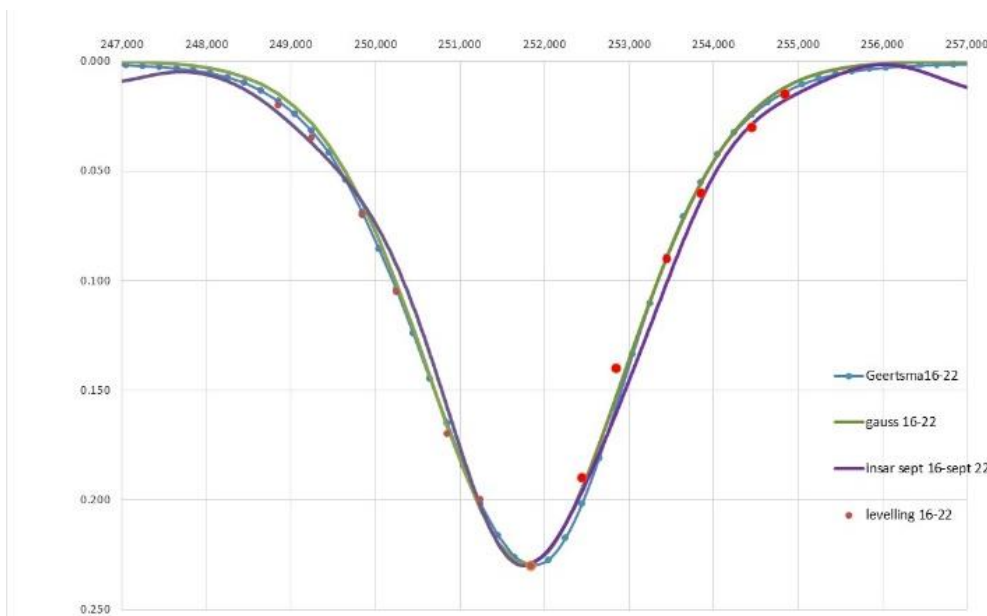
Figuur 4.5: Waterpasmeetresultaten Nedmag 1993- aug 2022 in dalingscontouren, geschoond voor daling door gaswinning. De diepste contourlijn geeft 580 mm bodemdaling weer (diepste punt 584 mm). De gestippelde lijn is een schatting van de 20 mm contour.

De vorm en het volume van de zoutbijdrage aan de met InSAR gemeten bodemdaling wordt gecontroleerd door een (hoofdzakelijk) west-oost lijn te fitten met theoretische modellen (fig 4.6 en 4.7). In deze richting is er zo min mogelijk verstoring door bodemdaling van gaswinning, omdat deze lijn de grenzen (sealing faults) van de gasvelden volgt. Op circa 6 km afstand is er wel invloed van kleinere gasvelden en de zoutwinning/gasopslag van Zuidwending, die door gebruik van de curves (terecht) niet aan Nedmag wordt toegeschreven.

Figuur 4.7 geeft een best-fit aan van de Gauss-curve en de ook gebruikte Geertsma-Van-Opstal-methode aan de bodemdaling 2016-2022 door zoutwinning voor de west-oostrichting. Na iedere waterpassing wordt een nieuwe fit gemaakt.



Figuur 4.6 : Insar bodemdaling W-E feb 2016 – sep 2023 en twee andere periodes.



Figuur 4.7 : fit west-oost bodemdaling volgens Geertsma (SGS-model), Gauss curve, Insar en waterpas (levelling) data 2016-2022, als functie breedte-coördinaten (Easting). Northing is 571 088 m

4.2. Voorspelling bodemdalingsvolumes en komvorm

Iedere 4 jaar na het beschikbaar komen van waterpasgegevens, voor het eerst na de waterpassing in 2024, wordt er een statusrapport gemaakt van de bodemdalingskom-verwachting van 2045 op basis van opgetreden daling en te verwachten daling op basis van de geplande winning, evaluaties van vrij pekervolume, en geodetische evaluatie van de komvormen. Zolang de instemming met het winningsplan nog niet onherroepelijk is een update niet heel zinvol. Op basis van het gedrag van de bestaande cavernes is in 2022 geen nieuw inzicht gekregen in de vorm, positie of maximum diepte van de kom. Voor de voorspelling worden de meest actuele data gebruikt van het resterend volume vrije pek (per caverne of -cluster) en de convergentiesnelheid op basis van vrij volume en cavernedruk. Zie ook hoofdstukken 6.2 en 6.3.

5. Controle op dakolieverbruik

(voorschrift uit Omgevingsvergunning WHC-1)

De injectie van dakolie in VE-5 en -7 is met name van belang om via injectie van water haliet en kieseriet nabij het boorgat (rond de bischofietlagen) op te kunnen lossen en zodoende pekelstroming (dichtheidsstroming) tussen de boven- en onderzijde van de caverne niet te laten hinderen door zoutbanken. Het overgaan op de injectie van pekel zonder gebruik van een oliedak is dus niet afhankelijk van de pekelkwaliteit (percentages Mg, K, Na, of SO₄) op dat moment. Er wordt geen dakolie gebruikt in cavernes en winningsputten geboord voor 2022.

Nedmag houdt nauwkeurig bij hoeveel dakolie geïnjecteerd en teruggenomen wordt in en uit VE-5 en -7. Op basis van de registratie kan gecontroleerd worden of voldaan wordt aan artikel 8 in het instemmingsbesluit met het winningsplan. Het streven is om bij het einde van de periode waarin dakolie gebruikt wordt zo weinig mogelijk dakolie achter te laten in de caverne. Op basis van de registratie van injectie en terugname van dakolie kan nauwkeurig worden vastgesteld hoeveel daarvan uiteindelijk achterblijft in de caverne.

De aanvoer van dakolie op WHC-1 gebeurt per tankwagen. Deze wordt in zijn geheel met perslucht geleegd en heeft een vrachtbrief met belading (bij opslag fabrikant of leverancier) in kg en liters. De olie wordt gelost in T-9211, die een inhoud heeft van 60 m³. Via een tankmeting kan (met een nauwkeurigheid van ca 0,1 m³) worden gecontroleerd op de levering overeenkomt met de vrachtbrief. Na lossen gaat de pak/tankbon naar de Technical Engineer Solution Mining. In zijn afwezigheid vervult de Installatiebeheerder/Productieleider deze rol. Deze registreert de aflevering (minimaal eens per week, maar bij voorkeur binnen een werkdag) in het Excel-voorraadsheet (Registratie dakolie.xls ; zie Appendix B). Wekelijks worden de mutaties door de Installatiebeheerder/Productieleider in het IT systeem ERP LN geregistreerd.

Indien olie tijdelijk wordt opgeslagen bij een externe opslag (bijvoorbeeld als olie wordt teruggenomen ten behoeve van een workover op VE-5 of VE-7 en niet in T-9211 past), wordt deze ook via een nauwkeurige registratie (via flowmeter of weegbrug) genoteerd, waarbij vrachtbrieven naar de Installatiebeheerder/Productieleider gaan voor ERP LN voorraadoverboekingen. Hetzelfde geldt als olie uit een externe opslag terugkomt naar WHC-1.

Indien olie (permanent) wordt afgevoerd naar een officiële verwerker geldt een zelfde methodiek in Excel.

Indien dakolie (vanuit T-9211) wordt geïnjecteerd in VE-5 of VE-7 wordt deze per batch bijgehouden door het doen van een tankmeting. De nauwkeurigheid van de meting en daarmee de totale injectie is circa 0,1 m³. De geïnjecteerde hoeveelheid wordt (samen met de putnaam) doorgegeven aan de Technical Engineer Solution Mining, die de hoeveelheden in het Excelsheet zet. Eens per week (bij mutaties) worden de hoeveelheden per e-mail aan de Installatiebeheerder/Productieleider gestuurd, die de mutaties tussen tank en put binnen een week in ERP LN boekt. De Technical Engineer Solution Mining boekt de injectiehoeveelheden olie ook in BDS (op dagbasis of opgeteld per week op de betreffende putnaam).

Minimaal eens per jaar controleert een medewerker van Finance (in persoon) de tankstanden in het kader van financieel voorraadbeheer. Deze rapportage is slechts een rapportage voor de accountant.

Eens per kwartaal (per 1 januari, april, juli en oktober) worden de voorraden in T9211 en de netto geïnjecteerde hoeveelheden in VE-5 en VE-7 gerapporteerd in dit Meet & Regelprotocol, dat tevens dienst doet als kwartaalrapportage. Dit samen met een grafiek van het drukverloop per put van de (oliegevulde) annulus. Zodra alle olie uit de annulus is verwijderd en er minstens een kwartaal lang minder dan 1 m³ olie terugstroomt, kan de registratie (per put) gestaakt worden. De olieregistratie van T9211 kan pas gestaakt worden als de tank leeg is en er ook geen olieterugname of oliegebruik in de nabije toekomst verwacht wordt (bijvoorbeeld voor de opstart van de nog niet geboorde putten VE-6 of VE-8).

In Q4-23 is er in VE-7 olie geïnjecteerd. Nieuwe olieaanvoer vanaf Q4-23 bestaat uit Shell GTL Solvent GS 215, dat vrijwel dezelfde kenmerken heeft als de eerder gebruikte Surdyne en goed mengt. Surdyne wordt niet meer geproduceerd en geleverd.

	Aan- afvoer Q4 in m ³	Injectie (of retour) Q4 in m ³	Voorraad m ³ op 1-1-24
T-9211	56,0	52,6	37,6
VE-5		0	60,4
VE-7		52,6	91,4
Afvoer opslag extern	0		0
Afvoer verwerker	0		

Tabel 5.1 Overzicht dakolie-mutaties Q4-23 en voorraden 1-1-24 in m³. Aanvoer of injectie is plus, afvoer of retour is min

5.1 Logen VE-5 met dakolie

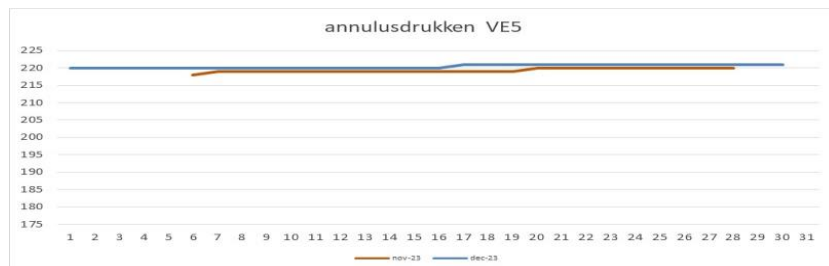
VE-5 wordt initieel geloofd met water onder een oliedak, zodat ook de slecht oplosbare zouten rond het boorgat (met name haliëet en kieseriet) kunnen oplossen en daarmee er een ruime schacht ontstaat van 1-5 m diameter, ook in de haliëetbanken. Dit om uitwisseling en menging van verzadigde en onverzadigde pekels makkelijk te maken. Het plan is om VE-5 tot een ondergronds pekervolume van circa 30.000 m³ (berekend) te logen met een oliedak. Olie wordt toegevoegd in batches via de annulus. Mocht dit niet mogelijk zijn, bijv. door verstoppingen (instroming van zout), dan zal de olie via de injectietubing worden geïnjecteerd.

Voor iedere 200 m³ injectiewater zal circa 1 m³ olie worden aangevuld, waardoor na circa 20.000 m³ injectiewater (en een verwachte cavernegrootte van circa 30.000 m³), er circa 100 m³ olie extra is geïnjecteerd, t.o.v. de dakolie die zich in de last cemented casing annulus bevindt die retour genomen kan worden. Deze 100 m³ injectie moet grotendeels (50-90%) als verloren moet worden beschouwd. Bij een totale waterinjectie 10 m³/h (240 m³/dag) zal de oliebehoefte circa 1 m³ per dag zijn. Denkbaar wordt echter de opstart van de winning uit VE-5 in dagdienst gedaan (8 uur per dag) en zal het proces langzamer verlopen.

Als wordt aangenomen dat tijdens het logen met water onder oliedak alle carnalliet oplost in de 26 m dikke laag boven de injectieschoen en dat de zuiverheid hierin 70% is, dan vertaalt een cavernevolume van 30.000 m³ zich naar een diameter van 45 m. De 100 m³ extra olie zou zich dan bij een gelijke verspreiding als dakolie vertalen naar een laagdikte van 6 cm. Mocht de cavernevorm meer een cone (trapezium) vorm aannemen over de 45 m, dan kan de laagdikte bij hetzelfde caverne volume teruglopen tot 3 cm.

De geproduceerde C-pekels zal moeten worden geherinjecteerd in een caverne, waar naverzadiging met bischofiet kan optreden en waar K, Na en SO₄ deels kunnen uitkristalliseren. De pekels zal naar planning geïnjecteerd worden in het bestaande cluster, omdat TR-9 in verband met een voorlopige voorziening van de Raad v State niet beschikbaar is voor herinjectie. Caverne VE-7 is in Q1-Q3 2024 zo goed als zeker nog niet geschikt (groot genoeg) om de pekels uit VE-5 voldoende op te werken. Aannemende dat de geproduceerde carnallitische pekels (gemiddeld) voor 50% verzadigd is met MgCl₂ en er 25.000 m³ pekels wordt geproduceerd (inclusief dilutiewater) en geherinjecteerd in het TR-cluster, wordt er in deze fase effectief 6.000 m³ water geïnjecteerd in het cluster, wat circa 24.000 m³ extra vrije pekels (squeeze potentieel) oplevert en een bodemdalingspotentieel van 2 mm.

De annulusdrukken van VE-5 (Fig 5.1) worden vanaf november automatisch gerapporteerd.



Figuur 5.1 Drukken annulus VE-5 nov-dec 23

5.2 Logen VE-7 met dakolie

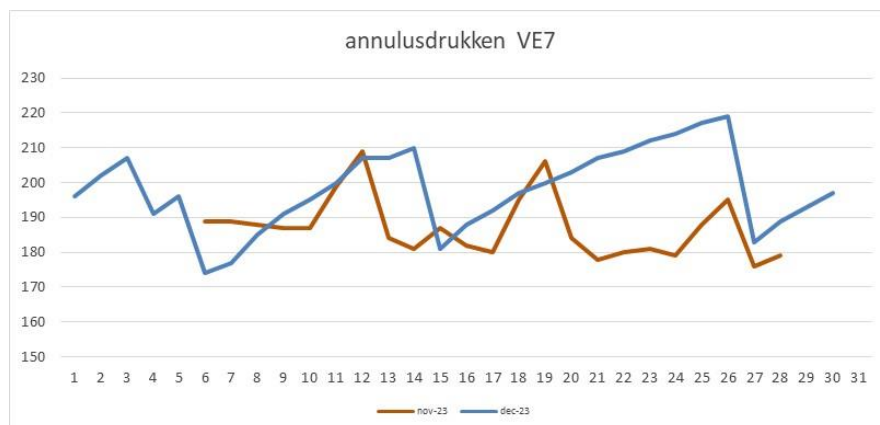
VE-7 wordt initieel geloofd met water onder een oliedak, zodat ook de slecht oplosbare zouten rond het boorgat kunnen oplossen. Dit om uitwisseling en menging van verzadigde en onverzadigde pekkel makkelijk te maken. Het plan is om VE-7 tot een pekkelvolume van 20.000 m³ (berekend) te logen met een oliedak. Olie wordt 1-3 keer per week toegevoegd in batches, afhankelijk van de waterinjectiehoeveelheden per dag/week.

Voor iedere 1000 m³ injectiewater zal circa 10 m³ olie worden aangevuld, waardoor na circa 10.000 m³ injectiewater (en een verwacht ondergronds pekkelvolume van circa 20.000 m³), er circa 100 m³ olie extra is geïnjecteerd. Deze extra 100 m³ moet grotendeels (50-90%) als verloren moet worden beschouwd. Bij een totale waterinjectie van 10 m³/h (240 m³/dag) zal de oliebehoefte circa 2 m³ per dag zijn. Deels wordt echter de opstart in dagdienst gedaan (8 uur per dag) en zal het proces initieel langzamer verlopen.

De geproduceerde pekkel zal moeten worden geherinjecteerd in een caveerne, waar naverzadiging met bischofiet kan optreden en waar de fracties K- Na en SO₄ gehaltes deels kunnen uitkristalliseren. De pekkel zal worden geïnjecteerd in het bestaande cluster (zie 5.1). Aannemende dat de geproduceerde pekkel (gemiddeld) voor 75% verzadigd is met MgCl₂ en er 15.000 m³ pekkel wordt geproduceerd (inclusief dilutiewater) en geherinjecteerd in het TR-cluster, wordt er in deze fase effectief 4000 m³ water geïnjecteerd in het cluster, wat circa 7500 m³ extra vrije pekkel oplevert (als squeeze-potentieel) en een bodemdalingspotentieel van 0,8 mm.

Bij een caveernevolume van 20.000 m³ en een bischofiet-laagdikte van 5 m is de diameter circa 85 meter. Bij een injectie van 100 m³ olie, zal de oliefilm-laag ongeveer 2 cm bedragen, indien deze gelijkmatig verdeeld is in de bischofietlaag. Bij een laag van slechts 5 m wordt een gelijkmatige uitloging over de dikte verwacht.

De annulusdrukken van VE-7 (Fig 5.2) worden vanaf begin november automatisch gerapporteerd.



Figuur 5.2 Drukken annulus nov-dec 23 VE-7

6. Rapportage en updates

6.1. Ieder Kwartaal

Rapportage van cavernegroottes, squeeze, olieverbbruik en bodemdaling worden (als update van dit document) aan het SodM gezonden en zo snel mogelijk ook openbaar gemaakt door plaatsing op de Nedmag website (www.nedmag.nl), waar deze minstens 2 jaar na publicatie beschikbaar blijven.

6.2. Iedere 2 jaar

Na een waterpassing in ieder even jaar (en uitgebreide foutanalyse en filtering gaswinningseffecten) wordt een uitgebreide analyse gedaan naar eventuele afwijkingen met de InSAR data en updates van theoretische komvormen. Dit heeft geresulteerd in Figuur 4.7, waarin de overeenstemming vanaf 2016 (aanvang nauwkeurige Insar data) zeer goed is voor de West-Oost richting, waar slechts weinig verstoring is door bodemdaling als gevolg van gaswinning.

6.3. Iedere 4 jaar (art 9 lid 2 Instemming Winningsplan 2018)

Iedere 4 jaar wordt een actualisatie gemaakt van de bodemdalingsvoorspelling op basis van de meest recente data en inzichten. Dit wordt gedeeld met alle relevante lokale overheden. Dit zal niet eerder gebeuren dan dat de goedkeuring op het Winningsplan 2018 definitief is (en de randvoorwaarden van winning aldus bekend zijn), vermoedelijk begin 2025, na de waterpassing 2024.

6.4. Update van dit document

De tabellen in dit document worden ieder kwartaal geüpdatet, waarbij tevens kleine wijzigingen doorgevoerd kunnen worden. Grotere wijzigingen (binnen de voorwaarden van het winningsplan) op initiatief van Nedmag of SodM, zullen ad hoc en laagfrequent worden doorgevoerd. In ieder geval iedere 5 jaar (na een laatste formele wijziging) moet dit document worden gereviewed, inhoudelijk geüpdatet en ter beoordeling aan SodM worden gezonden.

Referenties

Te vinden op [Nedmag.nl](https://nedmag.nl) en/of op [Mijnbouwvergunningen.nl](https://mijnbouwvergunningen.nl).

- [1] Nedmag - Winningsplan 2018, 28 november 2018
- [2] Nedmag - Aanvulling Winningsplan 2018, 16 september 2019
- [3] Instemmingsbesluit Winningsplan 2018 (2023)

Appendix A Compressibiliteitsberekening cluster en TR-9

In Q3 2023 is de convergentiesnelheid van het cluster teruggelopen naar 33 m³/h bij vrijwel dezelfde cavedruk die sinds juni 2018 wordt aangehouden (met drukschommelingen tot 2 bar), met destijds 70 m³/h aan convergentiesnelheid. In figuur A staan de aangenomen (en opnieuw gefitte) ondergrondse vrije-pekervolumes van bischofietpekel (1b laag) en carnallietpekel (2b/3b laag) afgezet tegen de convergentie(kruip) snelheid. De nieuwe fit suggereert meer squeeze uit de 2b/3b laag en daarmee minder squeeze uit de 1b laag. Er wordt geschat dat de 2b/3b-carnallietsectie in Q3-23 met ongeveer 30% bijdraagt aan de convergentie, een percentage dat stijgt zolang de squeeze uit het vrije pekervolume in de 1b groter is dan uit de 2b/3b.

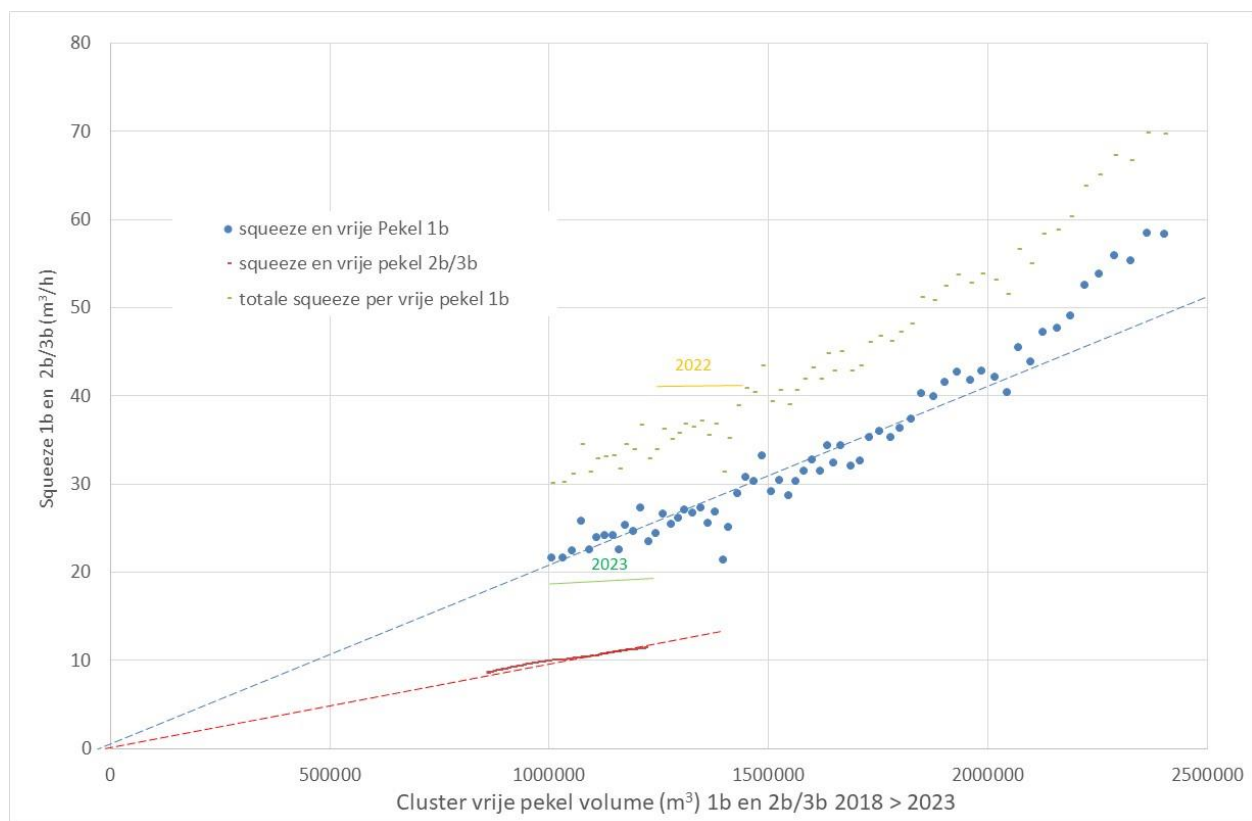


Fig A.1 Convergentiesnelheid van TR-cluster bij bijna constante cavedruk als functie van het geschatte vrije volume van de 1b (bischofiet) sectie en de 2b/3b carnallietsectie. Aan de rechterzijde is medio juni 2018 met 70 m³/h convergentie en de linkerzijde dec 2023 met 30 m³/h. De meeste convergentie komt uit de bischofiet-sectie, waar aangenomen wordt dat de carnallietsectie langzamer convergeert met circa 8 m³/h.

Put TR-2 (die niet voor productie en injectie wordt gebruikt) is leidend voor de drukmetingen, omdat temperatuurschommelingen in andere putten (opwarmen door productie en afkoeling door injectie of insluiten put) tot 2 bar drukschommelingen geven door dichtheidsveranderingen van water of pekervolume in de putten.

De compressibiliteit van het cluster wordt gemeten door het cluster 24 tot 48 uur in te sluiten. De druk loopt dan op met 1 tot 2 bar door doorgaande kruip en er kan worden aangenomen dat de kruipsnelheid slechts beperkt afhankelijk is van 1 tot 2 bar drukschommelingen.

Figuur A.2 laat de drukstijging zien van 48 uur insluiten (van 6:00 tot exact 24 uur later). De druk in TR-2 stijgt 1,6 bar, mede bevestigd door put TR-7 (ook buiten gebruik). Putdrukken worden met een nauwkeurigheid van 0,1 bar geregistreerd.

De drukopbouw is niet volledig lineair, deels door een hogere cavernedruk en deels door hysteresis-effect (vermoedelijk te wijten aan transiente kruip-effecten (primary creep), die een beperkte rol spelen in het lange termijn effect.

Wanneer we aannemen dat de convergentie 33 m³/h voor 48 uur bedraagt, is de compressibiliteit 990 m³/bar.

Wanneer we een gemiddelde van 30 m³/h aannemen (van 33 naar 27 m³/h over 48 uur), bedraagt de stijfheid 900 m³/bar. Een redelijke aanname voor de compressibiliteit van okt 2023 is 950 m³/bar.

Vermoedelijk zal de compressibiliteit in de komende 5 jaar afnemen, naar circa 500 m³/bar, afhankelijk van de gekozen cavernedruk (en daarmee de convergentiesnelheid). Dit zal minstens ieder jaar worden gemeten.

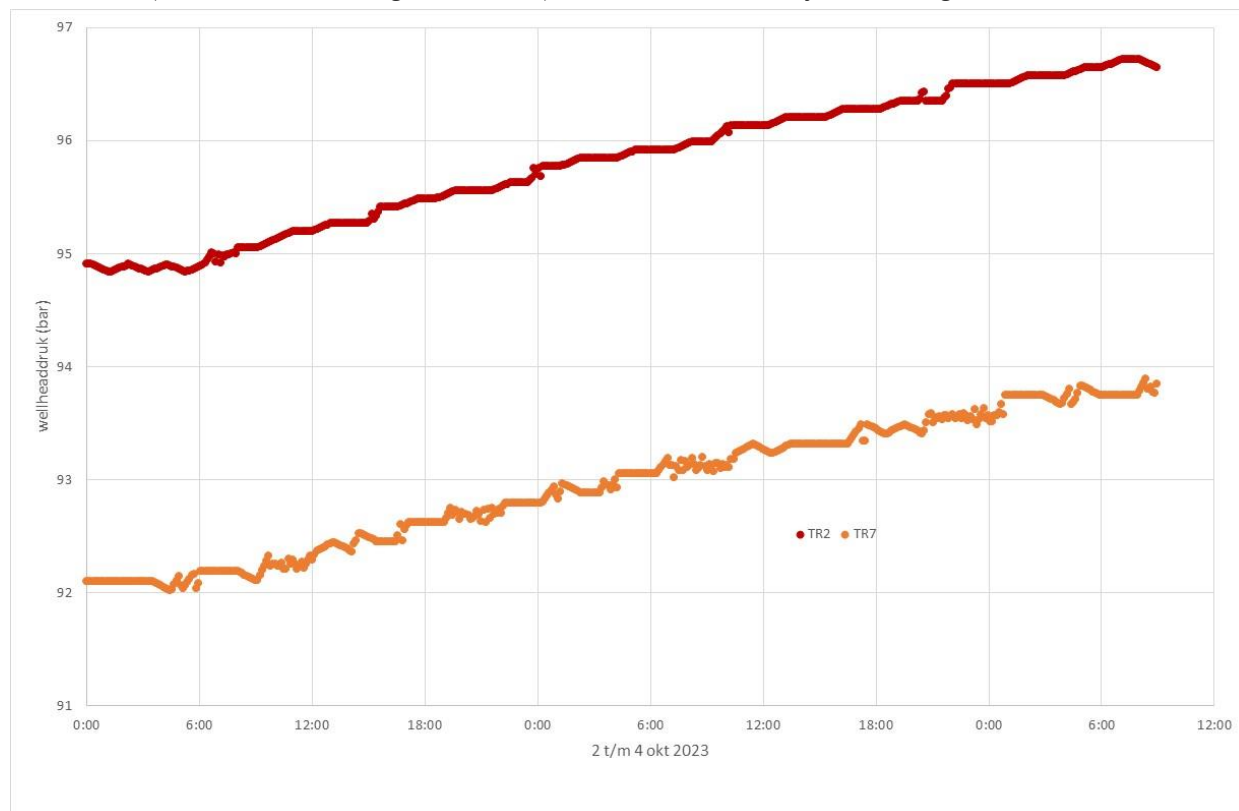


Fig A.2 Drukverloop van insluittest in (inactieve) putten TR-1,2 en 7. Het drukverloop van TR-2 wordt leidend geacht, maar wordt gesteund door het drukverloop van TR-7. Drukken worden in eenheden van 0.1 bar gemeten, dus vandaar de sprongen.

Put TR-9 heeft in oktober 2023 een convergentiesnelheid van 1,4 m³/h bij een totaal berekend pekervolume van 350.000 m³, waarvan een berekende 170.000 m³ gebonden pekkel en hoogstens 185.000 m³ vrije (te squeeze) pekkel. Een fit tussen convergentie en gemiddelde convergentiesnelheid toont slechts circa 30.000 m³ vrije pekkel aan. Het kleinere volume en de minder platte vorm (van TR-9 vergeleken met het cluster) geeft vermoedelijk een kleiner relatief squeeze-potentieel. Dat kan natuurlijk groter worden naarmate TR-9 in volume groeit, als het is toegestaan water of onverzadigde pekkel (uit bijvoorbeeld VE-5 of VE-7) te injecteren.

De compressibiliteit van TR-9 is in oktober 2023 bepaald op 140 m³/bar. Tijdens een drukaflaat van circa 3.5 bar over 10 uur (Figuur A3) is 10 uur lang 38 m³/h volume afgelaten (productie minus dilutie). Bij verwaarlozing van de zoutkruip levert dit 144 m³/bar. Indien een cavernconvergentie door kruip wordt afgetrokken is dit circa 140 m³/bar. Indien de cave TR-9 groeit naar (een volgens aanvulling Winningsplan 2018) geschat volume vrije pekkel van 440.000 m³ vrije pekkel (en een totaal ondergronds pekervolume van circa 1.000.000 m³), zal de compressibiliteit vermoedelijk ver- 2 tot 3 -voudigen tot circa 350 m³/bar. Deze waarden zullen periodiek (maar minstens 1 maal per jaar) worden gemeten.

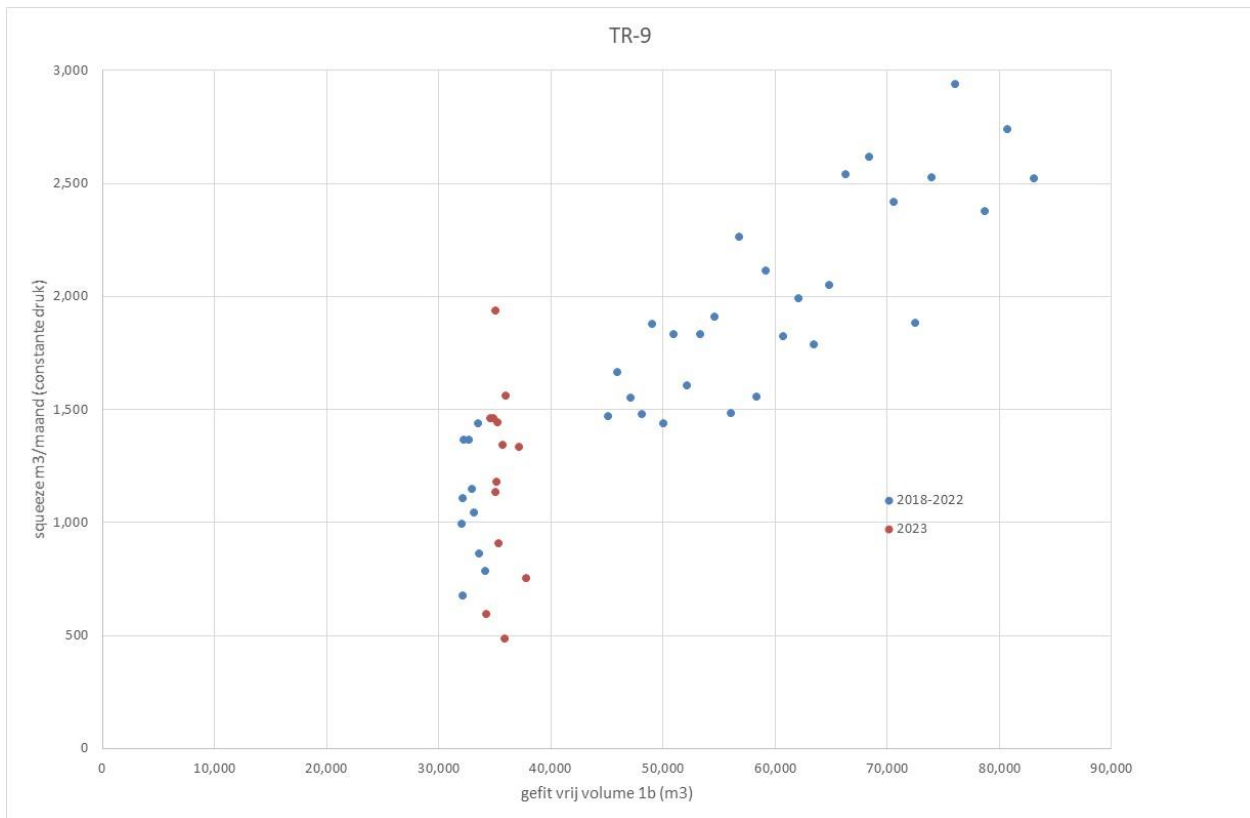


Fig A3 Convergentie (zoutkruip) van TR-9 op circa 1000 m³/maand (1.4 m³/h). 2023 waarden in rood.

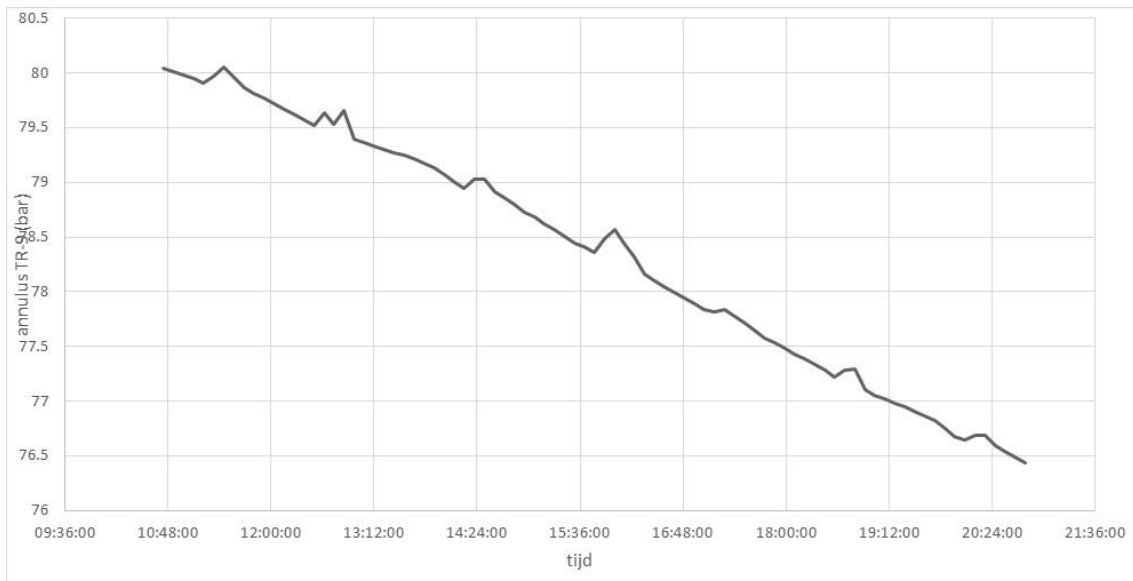


Fig A4 Drukdaling (3,5 bar) versus 504 m³ netto productie in 9.5 uur uit TR-9 in okt 2023.

Spreadsheet oliebalans. De printscreen van dit sheet is een voorbeeld en niet de formele rapportage.

Geprinte versies van dit document zijn niet beheerd. De actuele versie staat op Magnet en Nedmag.nl.