

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

Autorisatie: Mining Director

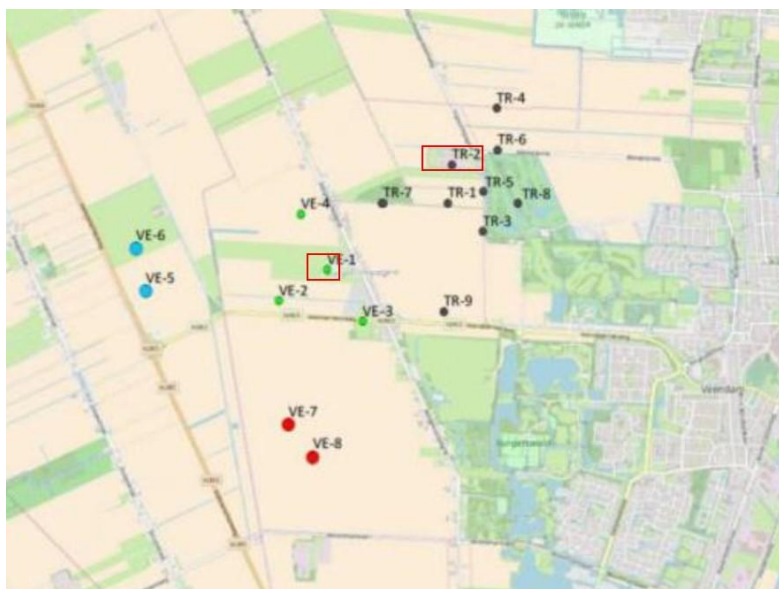
Dit document dient 3 doelen:

- 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 beschikbaar blijven.
- 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 Tot slot gaat dit document in op de bodemdaling door zoutwinning en op het gebruik van dakolie.



Figuur S.1: positie casingschoenen 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. VE-2 en TR-5 (grotendeels) zijn inmiddels geabandonneerd.

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 gesteente-dichtheid 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 productie) 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 pekervolume van 450.000 m³, gebaseerd op een massabalans, mag de cavernedruk niet hoger worden dan 15 bar boven de laagste jaargemiddelde waarde van alle voorgaande 4 aaneengesloten kwartalen (1 jaar dus). Daarboven kan niet worden uitgesloten dat er zich een scheur vormt in het zoutdak, waardoor pekkel kan ontsnappen naar de lagen boven het zout. Voor de in 2021 bestaande en te opereren cavernes (TR-cluster, TR-9 en VE-3) is de maximum druk gebaseerd op historische drukken. Hoofdstuk 1 behandelt de maximale cavernedrukken.

Vanwege risicobeheersing en bodemdalings-potentieel is er ook een maximum volume vrije pekkel vastgelegd voor iedere caverne of groep cavernes. Dit is de hoeveelheid pekkel, die naar verwachting door zoutkruip en caverneverkleining gewonnen kan worden (eenwelk gepaard gaat met bodemdaling). Een deel van de cavernepekkel zal echter nooit gewonnen kunnen worden door zoutkruip, omdat de pekkel zit ingesloten in de poriën van bezinksel (onopgeloste delen steenzout, sylviet, kieseriet, anhydriet en carnalliet of uitgekristalliseerd zout). Dit deel wordt gebonden pekkel genoemd. Het deel gebonden pekkel neemt toe met actieve logging (en de vorming van precipitaat) en wordt geacht eeuwig opgesloten te blijven, terwijl het deel vrije pekkel 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 pekkel 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 pekkel. 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 cavernedak (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. voornamelijk omhoog.
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 vloeistofgepulde ruimte van een winningsput. Wordt ook wel aangeduid met de afkorting WHP
WIMS	Well Integrity Management System. Beschreven in M14

1. Beheersing cavedrukken

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 cave, 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. Voor putdiagrammen, zie Appendix C. 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 2025 geschat op 272-285 bar voor TR-2 schoendruk. De druk is sinds eind 2018 niet boven de 260 bar geweest.

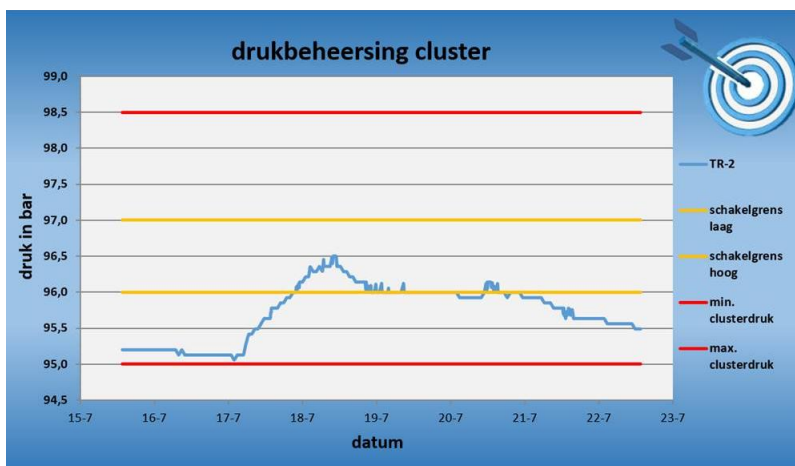
	Diepte schoen (m TVD)	LOT (bar)	Lithostatisch @ 2150 kg/m ³ (bar)	Gemiddelde druk @ schoen (bar) Q1-Q2-Q3-Q4	Max druk @ schoen (bar)	Max druk @ wellhead (bar)
TR-2	1615	340	340			
2023				256-257-257-257		
2024				257-257-257-257		
2025				257-257-257-257*	Q4: 263	Q4: 103 (water)
TR-6	1628	356	343			
2023				259-260-260-260		
2024				260-260-260-260		
2025				260-260-260-260*	Q4: 266	Q4: 60 (pek)

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

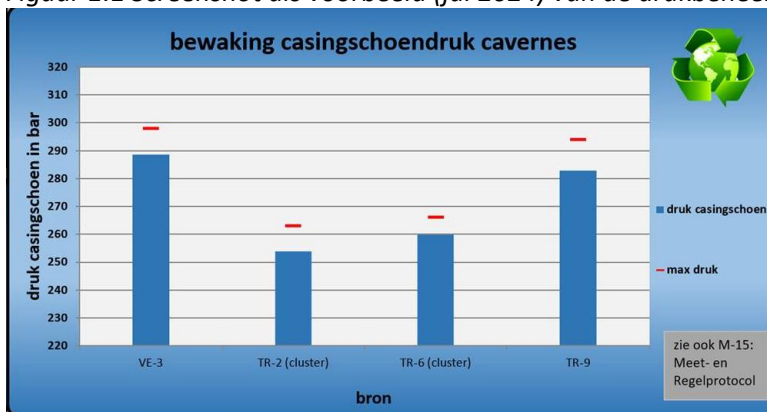
*= prognose.

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 cave 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 pek worden afgelaten.

De clusterdruk wordt gemonitord in de controlekamer (fig 1.1), waarbij in 2025 gestuurd wordt op de putmondruk van TR-2, die beneden een maximum-druk moet blijven. De minimum druk is niet absoluut, maar afhankelijk van de pekbehoefte en de beschikbaarheid van pek 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 pekbehoefte of wegvallen pek uit VE5/7. Daarnaast worden de annulusdrukken in de controlekamer getoond, waar de werkelijke en maximale drukken (Figuur 1.2 is een momentopname) worden geplotted.

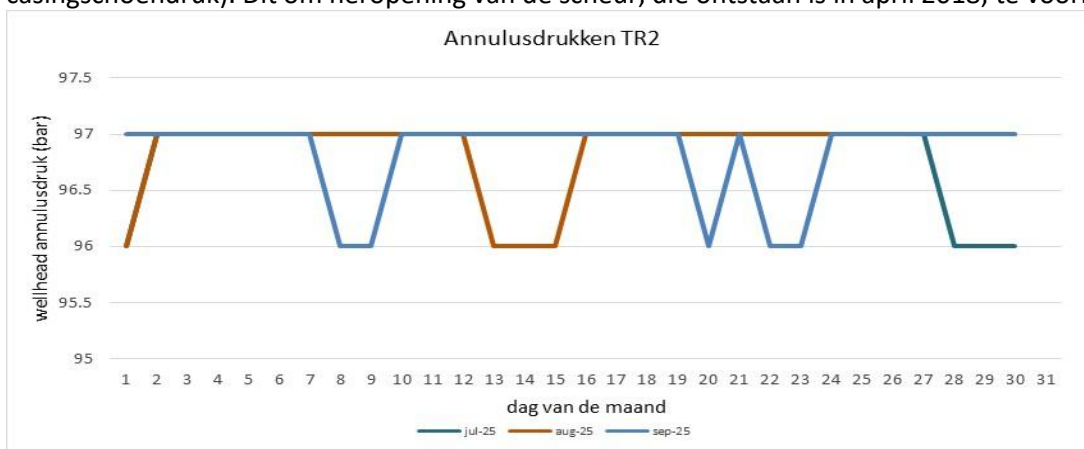


Figuur 1.1 Screenshot als voorbeeld (jul 2024) van de drukbeheersing cluster, basis TR-2



Figuur 1.2 Screenshot als voorbeeld (jul 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 pekelbehoefte, 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 (overeenkomend met 103 bar casingschoendruk). Dit om heropening van de scheur, die ontstaan is in april 2018, te voorkomen.



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

1.1.1 Drukbeheersing en integriteit cluster bij herinjectie van pekkel

Nedmag produceert bij langdurige pekkelinjectie onverzadigde bishofitische pekkel uit VE-7 en (aan MgCl_2) onverzadigde carnallitische pekkel uit VE-5. VE-5 pekkel wordt wanneer mogelijk in VE-7 geïnjecteerd ter deel-naverzadiging met bishofiet. De VE-7 pekkel wordt in het cavernecollier (via VE-4) geherinjecteerd voor verdere naverzadiging, tenzij de productie (en injectie) van VE-7 zeer laag is en VE-7 aan de plantpekkel kan worden toegevoegd. Voor de herinjectie in het cluster geldt dat:

- Van het cluster is de compressibiliteit (ca $760 \text{ m}^3/\text{bar}$, zie appendix A) bekend. De herinjectie levert geen drukschommelingen op van groter dan 1 bar, omdat gelijktijdig pekkel wordt geproduceerd uit andere putten.
- De gevolgen voor bodemdaling zijn gering (enkele mm's in de fases van logen met oliedak en pekkelinjectie).
- De VE-7 pekkel was bij geringe injectie/productie bij VE-7 voldoende verzadigd met bishofiet, om deze vaker bij te mengen met de plantpekkel (voor productie MgO), waardoor minder in VE-4 hoeft te worden geïnjecteerd.
- Herinjectie van onderverzadigde pekkel uit VE-7 verloopt via een tussentank op WHC-2 (T9202), die ook als oliescheider zal werken, zo er al dakolie met de productiepekkel terugkomt. In het cluster vindt een naverzadiging en zuivering plaats door oplossing van bishofiet en neerslag van carnalliet, haliet en kieseriet. De herinjectie in het cluster vindt plaats via een hoge-druk pomp op WHC-2 met vast debiet van $30 \text{ m}^3/\text{h}$. Injectie geschiedt in VE-4, één van de putten met toegang tot de bishofietlagen, tenzij er zich in of naar VE-4 een technisch probleem voordoet. Zonder compensatie door extra productie levert deze injectie een drukverhoging op van maximaal 1 bar per dag, als de herinjectie een volledige 24 uur plaatsvindt zonder compensatie door pekkelwinning. 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 t.o.v. 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 bishofietpekkel, 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 pekkelmigratie naar de Bunterformatie, na de mechanische sluiting. Injectie van water of zeer slappe pekkel 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. Pekkel die wordt geïnjecteerd in de 1b bishofietlagen heeft door menging met de bestaande pekkel een te hoge soortelijke massa om naar de 2b/3b laag (gevuld met lichtere pekkel) 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 bishofiet, onder precipitatie van een deel van de restzouten (haliet, carnalliet en kieseriet).

De herinjectie van pekkel (met gemiddeld $5\text{-}15 \text{ m}^3/\text{h}$, afhankelijk van de pekkelbehoefte) zal niet leiden tot een (absolute) vergroting van het ondergronds pekkelvolume door oplossing van bishofiet. Door squeeze neemt dit volume reeds jaren af, met op dit moment circa $25\text{-}30 \text{ m}^3/\text{h}$ (zie fig A1). Door herinjectie en verzadiging door oplossing van bishofiet neemt dit (vrije pekkel-)volume slechts minder snel af (gedurende de periode van herinjectie) naar $15\text{-}25 \text{ m}^3/\text{h}$, wat per maand nauwkeurig is vast te stellen als de pekkelcompositie 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.

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 (pekels sm 1,30). De alarmsettings worden aangepast aan de maximum toegelaten caverndruk 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 TR-9 druk wordt gemonitord in de controlekamer, waarbij gestuurd wordt op de putmondndruk. 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 geplot. Drukverlopen worden per kwartaal gerapporteerd via dit document. In Figuur 1.4 staat (als voorbeeld) een screenshot van de grafiek t.b.v. drukbeheersing voor VE-3 en TR-9.



Figuur 1.4 Snapshot drukverloop VE-3 en TR-9 (jul 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. Soms wordt bij hoge pekelsvraag VE-3 extra afgelaten, met drukken onder het minimum schakelpunt als gevolg.

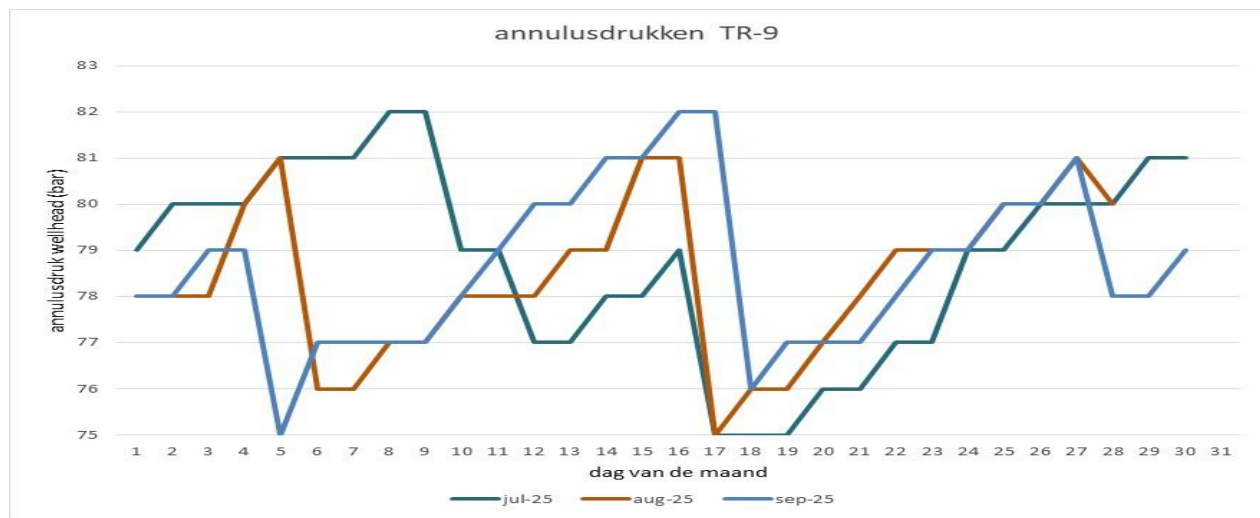
	Diepte schoen (m TVD)	LOT (bar)	Lithostatisch @ 2150 kg/m ³ (bar)	Gemiddelde druk @ schoen (bar) Q1-Q2-Q3-Q4	Max druk @ schoen (bar)	Max druk @ wellhead (bar)
TR-9	1625	NVT	342			
2023				290-290-290-290		
2024				290-291-290-290		
2025				290-290-291-290*	Q4: 294	Q4: 86 (pekels 1.30)

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

TR-9 is op dit moment 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.

Figuur 1.5 geeft de TR-9 drukhistorie in het voorgaand kwartaal.



Figuur 1.5 drukverloop annulusdruk van TR-9 in voorgaand kwartaal.

Zoals gezegd, is als gevolg van een voorlopige voorziening van de Raad van State (RvS) actieve waterinjectie in TR-9 op dit moment nog niet toegestaan, ondanks dat er door het bevoegd gezag onder voorwaarden mee ingestemd is. Het is mogelijk dat de RvS eind 2025 tot het oordeel komt dat de instemming onder voorwaarden met actieve winning uit TR-9 alsnog van kracht wordt, waarna daarmee gestart zal worden. In de aanvulling op het winningsplan 2018 d.d. 16 september 2019 is aangegeven dat Nedmag de druk in TR-9 op dat moment preventief zal verlagen, om te voorkomen dat er een te grote plotselinge stijging van de druk in het TR-cluster optreedt, in het onwaarschijnlijke geval dat er een verbinding tussen TR-9 en het TR-cluster ontstaat. Deze preventieve drukverlaging is momenteel voorzien als volgt. Na aanvang van de actieve winning uit TR-9 zal de maximum druk van de casingschoen van TR-9 in 6 maanden worden teruggebracht naar maximaal 5 bar boven die van TR-6. Daarvoor 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).

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. In 2024 was de compressibiliteit van TR-9 circa 150 m³/bar en het cluster 760 m³/bar (zie Appendix A). In het onwaarschijnlijke geval dat TR-9 binnen de limieten van de vergunning door hydraulisch contact toch plotseling verbinding maakt met het cluster, zal een 25 bar drukdaling in TR-9 ongeveer 5 bar drukstijging in het cluster opleveren. Na enkele maanden logen in TR-9 en een drukverschil van 15 bar zal dit hoogstens 3 bar zijn en bij een drukverschil van 5 bar slechts 1 bar.

Door verwachte groei van TR-9 (door logging indien toegestaan vanaf op zijn vroegst Q4 2025) 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) 600 m³/bar voor het cluster. Nedmag zal daarom het maximum (positieve) drukverschil tussen TR-9 en het cluster (TR-6 of TR-2 gecorrigeerd voor schoendiepte) nog verder doen dalen tot circa 4 bar eind 2026, om de drukstijging van het cluster bij doorbraak tot maximaal 2 bar te beperken. Een drukstijging van 2 bar ligt binnen de in § 1.1 genoemde grenzen en leidde tijdens de laatste compressibiliteitstest niet tot afwijkend gedrag van het cluster. Een (onwaarschijnlijke) doorbraak van TR9 naar het cluster is dan niet onveiliger dan de drukschommelingen die in normaal bedrijf acceptabel worden geacht en niet tot operationele of milieu-problemen leiden. Een doorbraak verhoogt dan het risico op een hernieuwde lekkage uit het cluster niet, zelfs als de kans op doorbraak niet wordt meegenomen in de risicoweging (lees: als de kans op doorbraak op vrijwel zeker wordt geschat).

1.3. Cavernedruk VE-3

VE-3 mag volgens het instemmingsbesluit op het Winningsplan 2018 niet langer gebruikt worden voor actieve logging. De caveerne wordt afgelaten, waarbij de pekel gebruikt kan worden voor plantpekel 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			
2023				285-288-279-280		
2024				278-284-283-285		
2025				285-289-284-286*	Q4: 298	Q4: 97 (pekel 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 1.2 en 1.4).

De Mining Director kan besluiten tot een stuurdrukverandering (of een range-verandering) van VE-3, bijvoorbeeld als gevolg van pekelbehoefte, 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 alleen een holruimte in de 2b/3b carnalliet en heeft geen productietubings meer. De druk van de casing 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. VE-1 vertoont periodieke beperkte leak-off naar vermoedelijk het cluster, waarbij de druk 3-4 bar daalt, met een (op basis van 2019 compressibiliteit) aflek van circa 150 m³ gedurende een maand, waarna de leak-off weer enkele maanden stopt.

1.5. Cavernedruk VE-2

Caverne/put VE-2 is in januari 2025 volledig geabandonneerd na verwijdering van de wellhead tot 3 meter onder maaiveld. De druk kan niet meer gemonitord worden; pekel kan niet meer afgelaten worden.

1.6. Beheersing cavernedrukken VE-5

VE-5 is op 1 okt slechts een minicaverne van circa 34000 m³ totaal pekervolume. Gezien het kleine volume geldt er nog geen maximum drukregime. De verwachting is dat de pekel carnallitisch blijft. VE-5 vertoonde geen Leak-off tot 0,235 bar/m en er wordt dus 0,215 bar/m aangehouden als ondergrens lithostatische druk. Voor putdiagrammen, zie Appendix C. In juni-augustus 2025 is de dakolie in de casingannulus teruggenomen door alternerende waterinjectie en olieterugname. Denkbaar komt er nog langzaam olie terug via de slechte verbinding tussen de casingannulus en de caveerne. De casingannulus is per midden juli grotendeels met water gevuld en getracht zal worden met neckwashes de verbinding tussen annulus en caveerne te verbeteren.

	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-5	1589	--	335			
2024				340-318-322-317		
2025				322-328-318-328*	Q4: nvt	Q4: nvt (water)

Tabel 1.4 Drukbeheersing VE-5. *= verwachting.

1.7. Beheersing cavernedrukken VE-7

VE-7 is op 1 okt een minicaverne van circa 44000 m³. Er geldt nog geen druklimiet gezien dit kleine volume. Vanaf Q3 is overgegaan op injectie van plant-pekkel, na toevoeging van 3% (volume) verzadigde NaCl pekkel. Medio 2026 wordt verwacht dat ook VE-5 pekkel kan worden ingezet als injectiepekkel. De annulus is nu met water gevuld.

	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-7	1820	--	384			
2024				336-342-342-330		
2025				342-342-340-242*	Q4: nvt	Q4: nvt (water)

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 (loging) wordt aangevangen. Dit zal niet voor 2028 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 (loging) wordt aangevangen. Dit zal niet voor 2028 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 cavernepelk 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 maandelijkse) productievolumek minus het dilutievolumek. De injectie is het volumek aan injectiewater plus het waterdeel (boven dat van verzadigde cavernepelk) van geherinjecteerde pelk.

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 1 m^3 water wordt geïnjecteerd waar zich bischofiet ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) bevindt, dan lost $2,9 \text{ m}^3$ (met name bischofiet) magnesiumzout op, met een gelijke toename van het pekkelgevulde cavernevolumek. In totaal wordt er $4,1 \text{ m}^3$ pekkel gevormd uit $2,9 \text{ m}^3$ magnesiumzout (bischofiet, carnalliet en kieseriet samen), 1 m^3 water en een expansie van $0,2 \text{ m}^3$. Dit levert -zonder het effect van zoutkruip en drukveranderingen- $1,2 \text{ m}^3$ geproduceerde onverdunde pekkel op. Doordat de pekkel met 10-20% verdund wordt ter voorkoming van kristallisatie in de leidingen en opslagtanks, wordt er uiteindelijk (zonder squeeze) $1,4 \text{ m}^3$ verdunde pekkel geproduceerd.

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

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

Alleen in geval van VE-5 wordt carnalliet ($\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) gewonnen vanuit de 1b laag, zolang de caveerne geen bischofietlagen tegenkomt tijdens het groeien. Bij deze pekkel wordt per 1 m^3 waterinjectie circa $0,8 \text{ m}^3$ zout opgelost ($0,7 \text{ m}^3$ carnalliet, $0,04 \text{ m}^3$ kieseriet ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) en $0,04 \text{ m}^3$ haliet (NaCl)) en slaat er $0,07 \text{ m}^3$ sylviet (KCl) neer. Dit levert (met een geschatte onderverdeling) circa $0,5 \text{ m}^3$ vrije pekkel op en $0,3 \text{ m}^3$ gebonden pekkel.

Indien VE-5 carnallitische pekkel in een bischofietische caveerne wordt geïnjecteerd (VE-4 of VE-7), dan lost er per 1 m^3 (20% verdunde) pekkel circa $0,5 \text{ m}^3$ bischofiet op en slaat er circa $0,1 \text{ m}^3$ carnalliet neer en $0,03 \text{ m}^3$ andere zouten.

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 cluster is $\frac{3}{4}$ een betere fit. 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 weglogging van het bischofiet, in de caveerne zullen vallen met een porievolumek 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 pekkelvolumek is dan $0,67 \text{ m}^3$, naast $0,33 \text{ m}^3$ gebonden pekkel oftewel $\frac{2}{3}$. Convergentievolumek (squeeze) wordt dan afgetrokken van het vrije pekkelvolumek om het resterende squeeze potentieel te berekenen, dat de input is voor bodemdalingspotentieel (H 4).

Voor carnalliet oplossen in VE-5 1b laag wordt ook $\frac{2}{3}$ aangehouden als vrije pekkel.

Het verloop van het volumek 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 $0,83$ miljoen m^3 .

De volumes van vrije en gebonden pekels van het cluster tijdens pekels-herinjectie van onverzadigde pekels van VE-5 en VE-7, blijven gerapporteerd via dit rapport, waarbij verwacht wordt dat het volume vrije pekels 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-pekels) maandelijks vertaald naar het opgeloste volume zout. De vrije en gebonden pekelsvolumes worden gerapporteerd via Tabel 3.1 en 3.2.

	% vrij bij oplossing 1b	Vrij pekelsvolume 1b 1-10-2025 (*1000 m ³)	Max vrij volume (*1000 m ³)	Gebonden pekelsvolume 1b 1-10-2025 (*1000 m ³)
Cluster	75% ($\frac{3}{4}$)	720	nvt	2953
TR-9	67% ($\frac{2}{3}$)	189	700	175
VE-3	67% ($\frac{2}{3}$)	192	nvt	298
VE-5	67% ($\frac{2}{3}$)	23	1200	11
VE-7	67% ($\frac{2}{3}$)	28	900	16

Tabel 3.1: percentage van vrij volume bij oplossing Mg-zouten alsmede volumes vrije en gebonden pekels in de 1b laag. Het % vrije pekels in de 1b-laag in het cluster is gecalibreerd voor het cluster. De andere percentages zijn bepaald via boorkerngegevens of schattingen. Het instemmingsbesluit bij het Winningsplan 2018 geeft voor enkele cavernes of groepen een maximaal volume vrije pekels.

Voor de 2b/3b carnallietcavernes is een vergelijkbare analyse gemaakt. In tabel 3.2 staan de op deze manier bepaalde ondergrondse pekelsvolumes in de 2b/3b laag (carnallietpekels). Per kwartaal worden deze waarden gerapporteerd.

	% vrij bij oplossing carnalliet 2b/3b	Vrij pekelsvolume 2b/3b 1-10-2025 (*1000 m ³)	Geb. pekelsvolume 2b/3b 1-10-2025 (*1000 m ³)
Cluster	67% ($\frac{2}{3}$)	738	937
VE-3	67% ($\frac{2}{3}$)	52	100

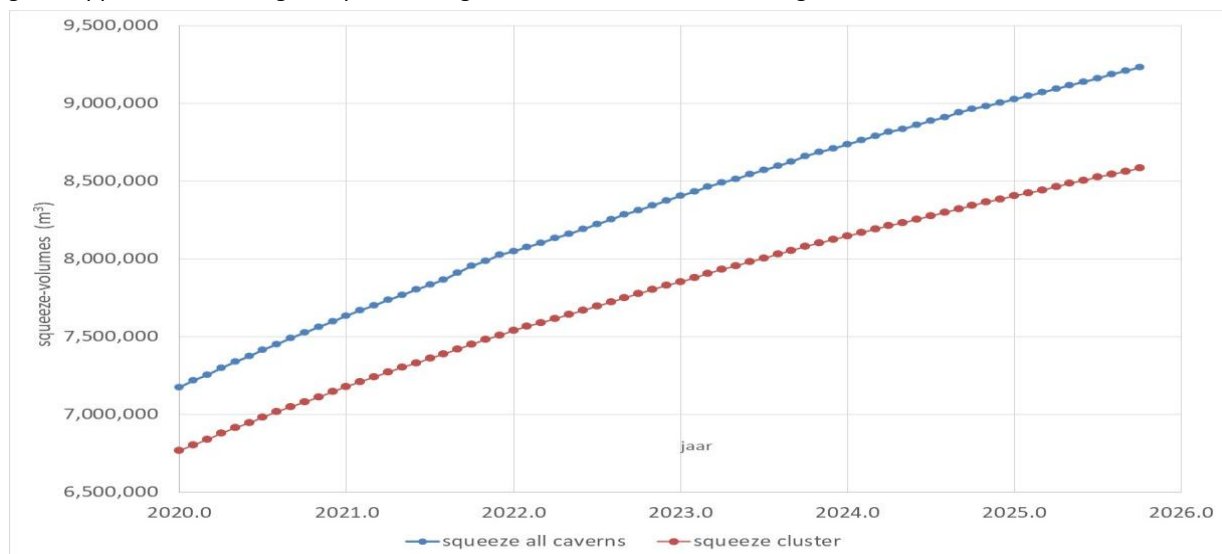
Tabel 3.2: percentage vrije pekels bij oplossing van carnalliet in de 2b/3b laag en volumes vrije en gebonden pekels in de 2b/3b laag.

4. Bodemdaling door zoutwinning

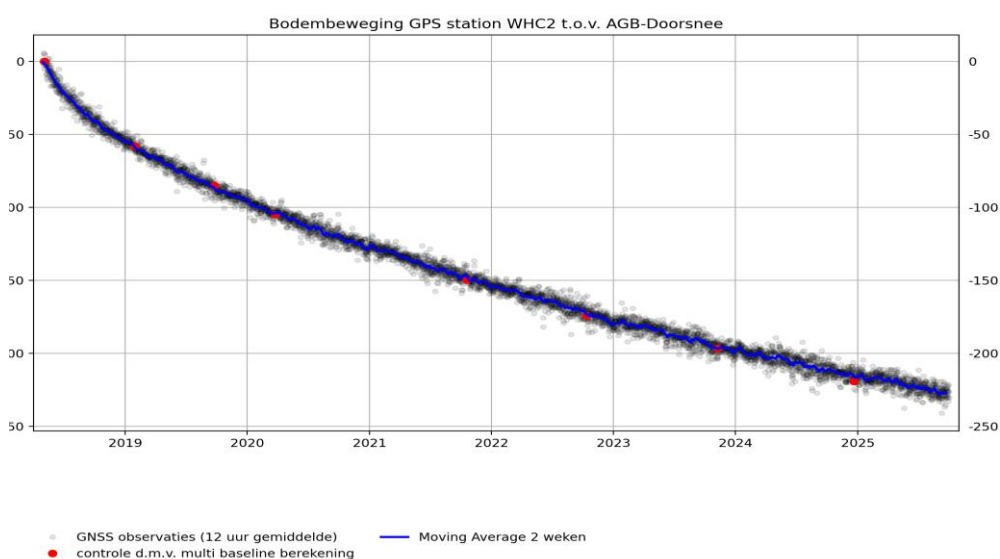
4.1. Bepaling bodemdaling: maximum, volumes en komvorm

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 bodemdalingssom 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.

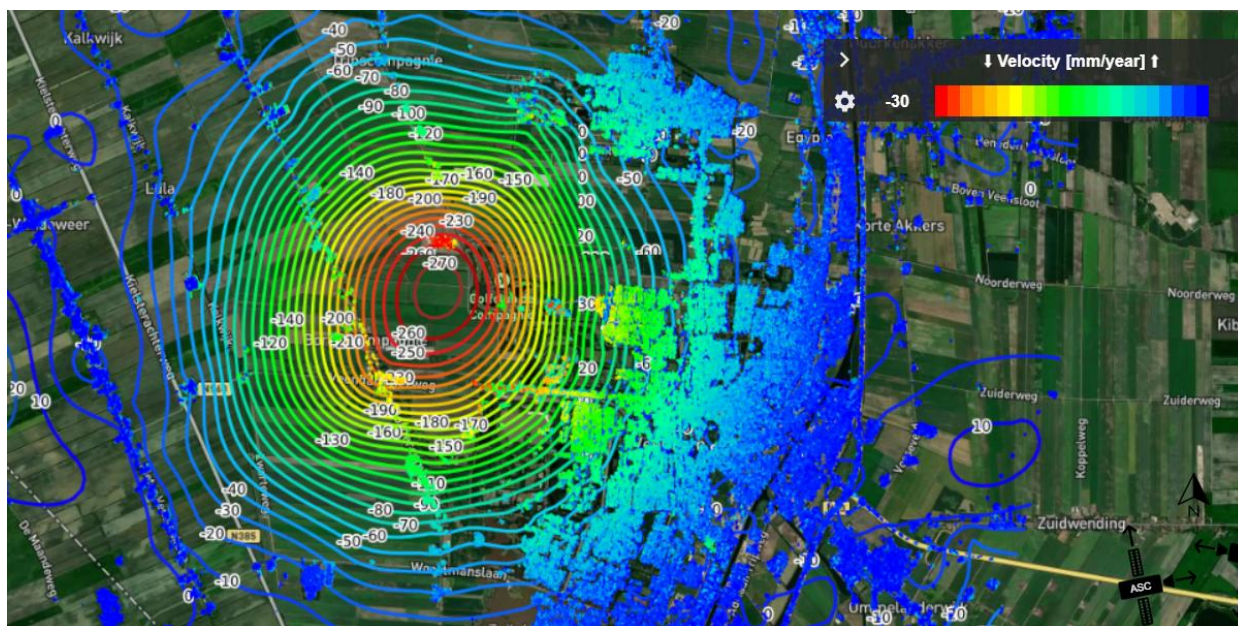


Figuur 4.1: cumulatieve squeeze-evolutie (caverneconvergentie) in m^3 vanaf jan-2020.



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.

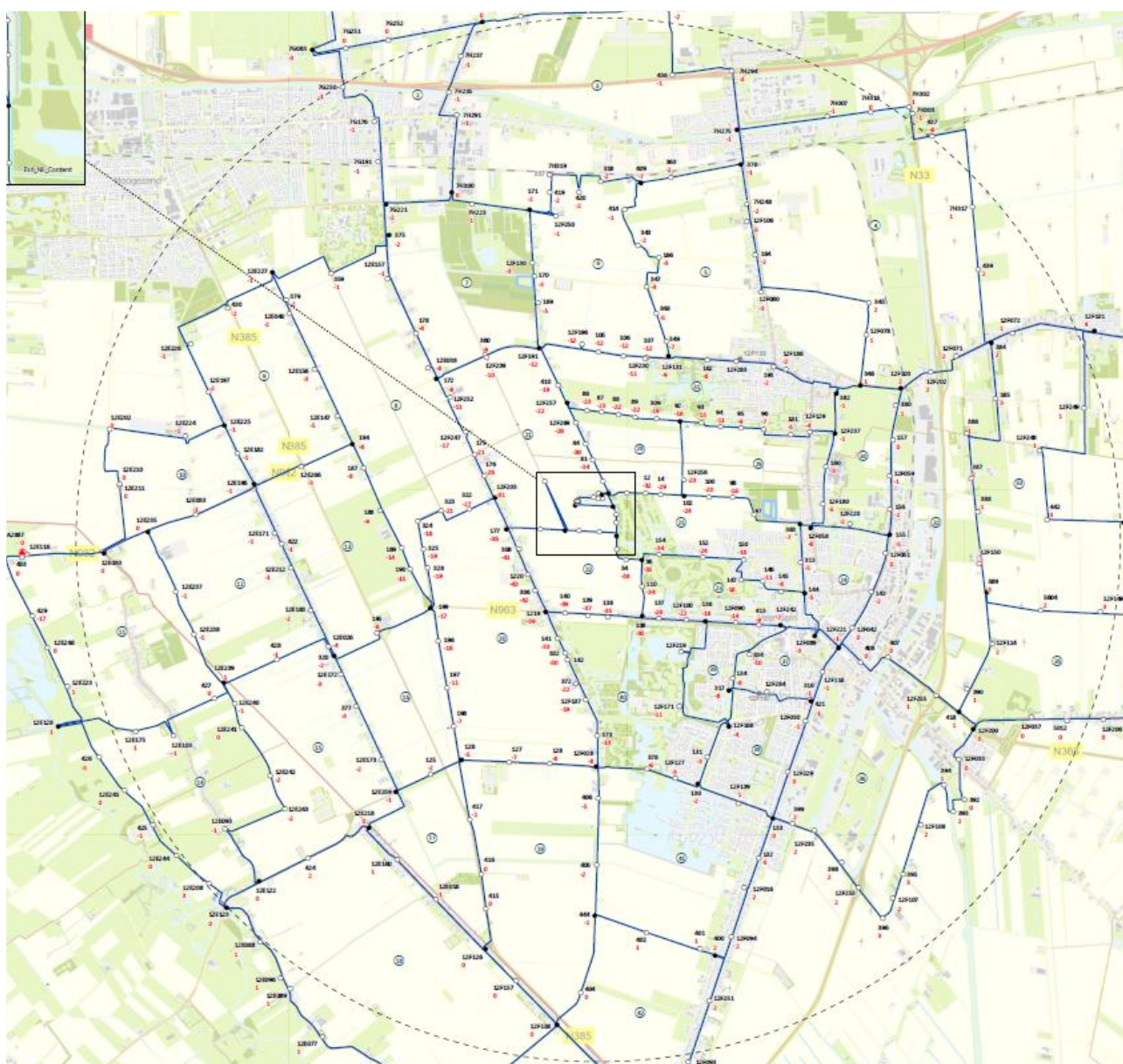
InSAR-data worden ieder kwartaal omgewerkt in een bodemdalingskom. Zie figuur 4.3 voor een kaart voor de periode 2016-heden.



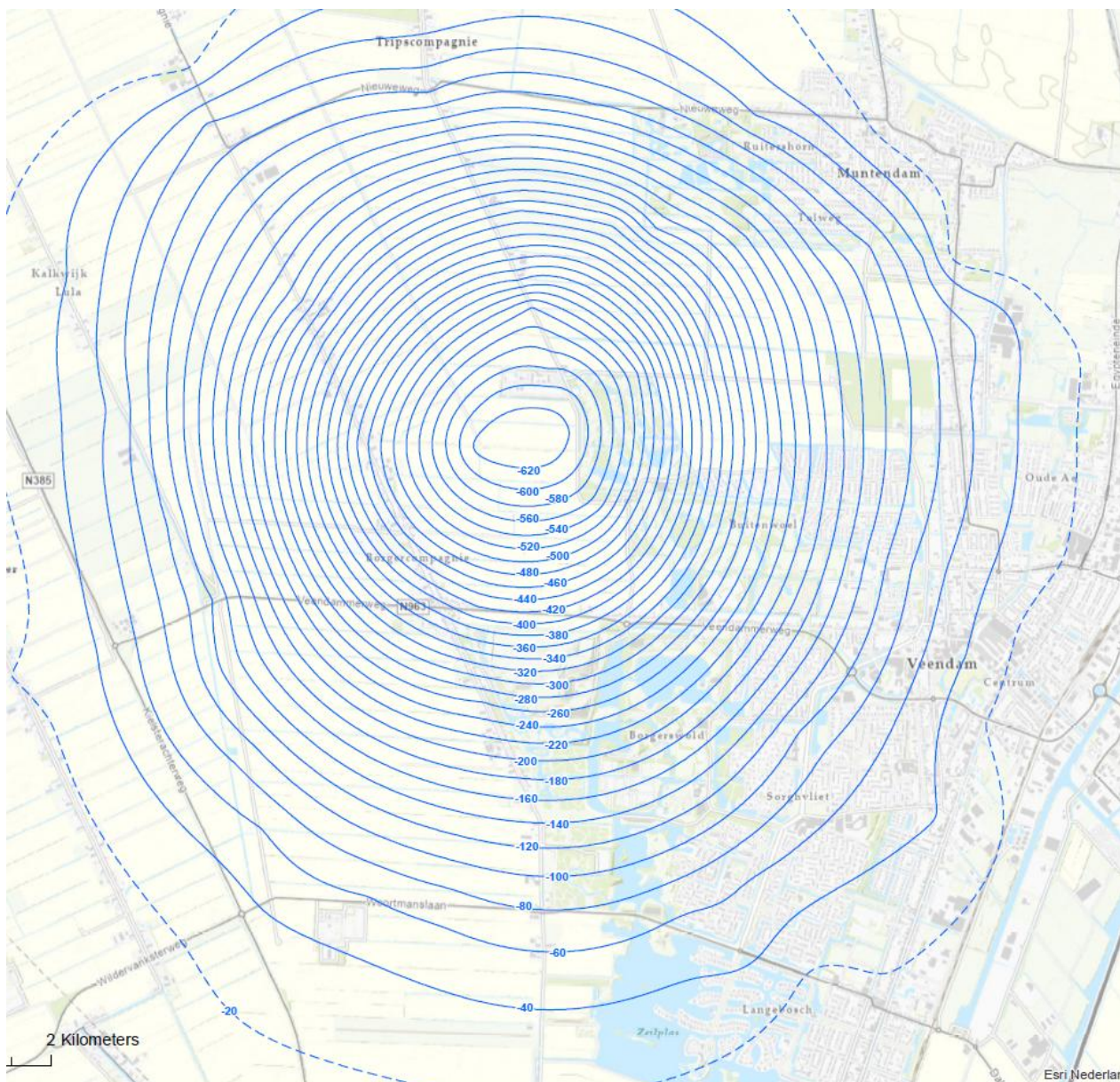
Figuur 4.3 Bodemdalingcontouren Insar feb 2016 t/m sep 2025 in mm. De gekleurde punten geven de gemiddelde dalingsnelheid van meetpunten van 0 tot 30 mm/jaar. De contouren hebben hun eigen kleurenschaal van 0 tot 270 mm.

Om de 2 jaar (ieder even jaar) vindt er een waterpassing plaats, de laatste in 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 2018-2024 meetnet staat in figuur 4.4. De bodemdaling 1993 t/m juni 2024 is getoond in Fig 4.5.



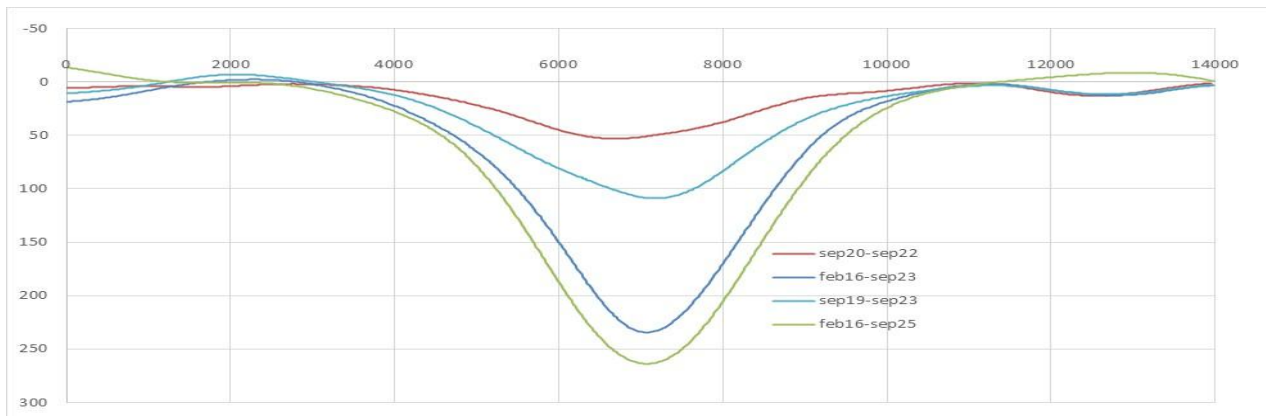
Figuur 4.4: Waterpasmeeetnet Nedmag in 2024, deels overlappend met het NAM meetnet met dalingen (indien negatief) in mm tussen 2022 en 2024.



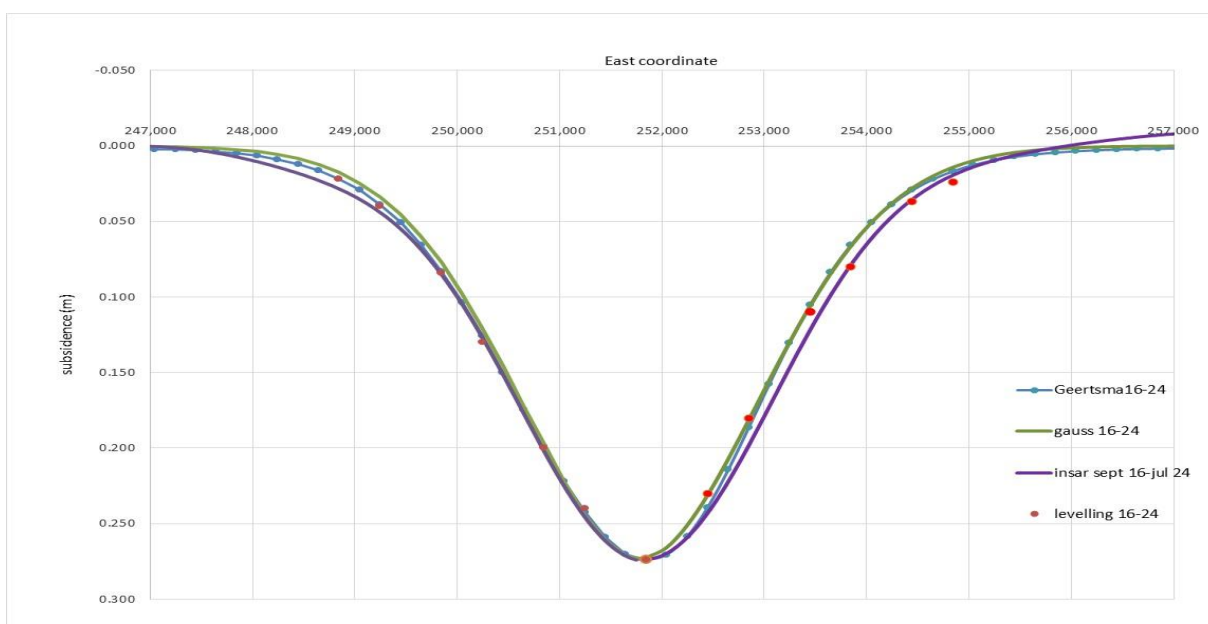
Figuur 4.5: Waterpasmeetresultaten Nedmag 1993- 2024 in dalingscontouren, geschoond voor daling door gaswinning. De diepste contourlijn geeft 620 mm bodemdaling weer. De gestippelde lijn is een schatting van de 20 mm contour.

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 2016-2025 door zoutwinning voor de west-oostrichting. Na iedere waterpassing wordt een nieuwe fit gemaakt.



Figuur 4.6 : Insar bodemdaling W-E feb 2016 – sep 2025 en drie andere periodes.



Figuur 4.7 : fit west-oost bodemdaling volgens Geertsma (SGS-model), Gauss curve, Insar en waterpas (levelling) data 2016-2024, als functie breedte-coördinaten (Easting). Northing is 571 088 m.

4.2. Voorspelling bodemdaling volumes en komvorm

Iedere 4 jaar wordt er een statusrapport gemaakt van de bodemdalingen-verwachting van 2045 op basis van opgetreden daling en te verwachten daling op basis van de geplande winning, evaluaties van vrij pekelvolume, en geodetische evaluatie van de komvormen. Zolang de instemming met het winningsplan nog niet onherroepelijk is, is het opstellen van een statusrapport niet heel zinvol, omdat de randvoorwaarden (bijvoorbeeld te winnen hoeveelheid zout uit TR-9) niet bekend zijn. Op basis van het (2024) gedrag van de bestaande cavernes wordt niet verwacht dat een actuele prognose (van de vorm en diepte) significant afwijkt van die uit het Winningsplan 2018 aannemende dat er geen additionele productiebeperkingen op TR-9, VE-5 en/of VE-7 worden opgelegd door de Raad v State. De onzekerheidsmarge in de maximale bodemdaling zal vermoedelijk wel afnemen door met name de toegenomen kennis (en data) van het squeeze-gedrag van het cluster en VE-3. Voor de voorspelling worden de meest actuele data gebruikt van het resterend volume vrije pekel (per caverne of -cluster) en de convergentiesnelheid op basis van vrij volume en caverndruk. Zie ook hoofdstukken 6.2 en 6.3.

5. Controle op dakolieverbruik

(voorschrift uit Omgevingsvergunning WHC-1)

Nedmag injecteert geen olie meer in de nieuwe cavernes VE-5 en VE-7. Inmiddels is de olie uit de annulus van VE-7 en VE-5 teruggenomen, maar door een slechte verbinding tussen de caverne (en het oliedak) en de annulus van VE-5 is nog onduidelijk hoeveel olie er nog naar de annulus terug zal stromen vanuit het oliedak.

Eens per kwartaal (per 1 januari, april, juli en oktober) worden de voorraden in T9211 en de teruggenomen hoeveelheden uit VE-5 en VE-7 gerapporteerd in dit document. Dit samen met een grafiek van het drukverloop per put van de (olie of pekelge vulde) 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 Q3-25 (vanaf 12 juli) is er geen olie geleverd en is er nog enige olie uit de annulus van VE-5 in de voorraadtank teruggeproduceerd. Er wordt in Q4-Q1 nog enige olie terugverwacht uit VE-5, waardoor vermoedelijk tussen de 100 en 130 m³ permanent in VE-5 achterblijft.

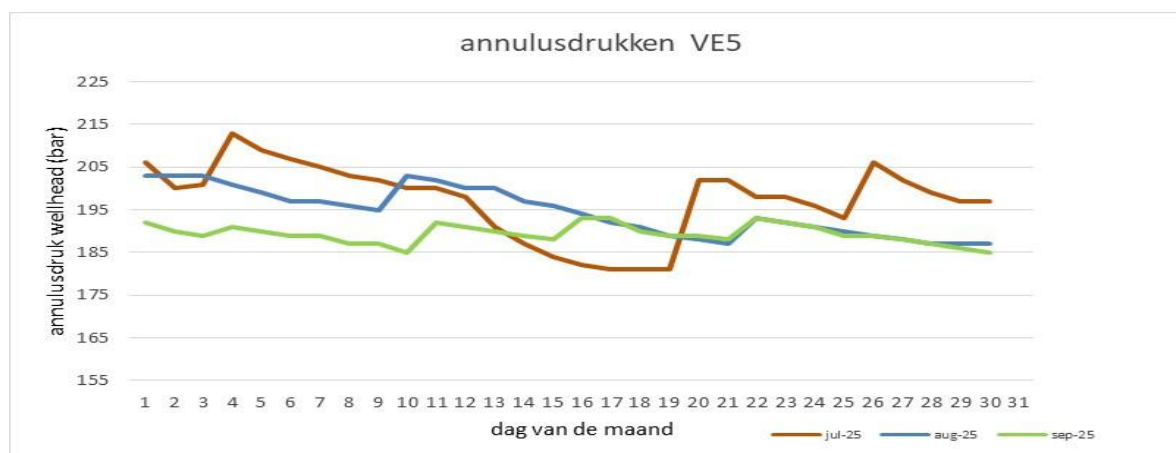
	Aan- afvoer Q3 in m ³	Injectie (of retour) Q3 in m ³	Voorraad m ³ op 1-10-25
T-9211	0	+4,0	33,5
VE-5		-4,0	130,9
VE-7		0	109,1
Afvoer opslag extern	0		0
Afvoer verwerker	0		

Tabel 5.1 Overzicht dakolie-mutaties (12-7 t/m 30-9). Aanvoer of injectie is plus, afvoer of retour is min

5.1 Logen VE-5 met dakolie

VE-5 wordt niet meer met dakolie geloofd en er wordt in Q4/Q1 getracht meer olie terug te krijgen door herstel van de verbinding met de annulus door het toepassen van neckwashes. De olie uit de annulus is intussen teruggeproduceerd naar de voorraadtank. VE-5 zal vermoedelijk in Q4 niet benut worden voor pekelwinning (anders dan drukaflaten en korte spoeltests), in afwachting tot een overstap naar fase 2 van winning (met pekelinjectie).

De annulusdrukken van VE-5 staan in Fig 5.1.

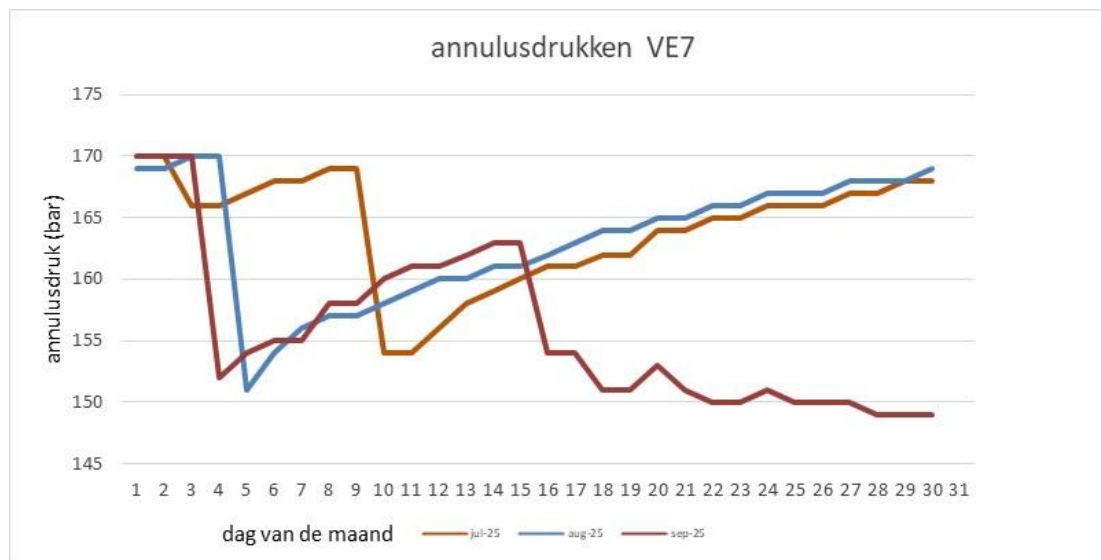


Figuur 5.1 Drukken annulus VE-5.

5.2 Logen VE-7 met dakolie

VE-7 is t/m Q1-24 geloofd met water onder een oliedak. In Q4-24 is alle olie teruggeproduceerd uit de casing van VE7. De casing-annulus bevat nu water. Circa 109 m³ olie zal vermoedelijk niet teruggewonnen kunnen worden en in de caverne achterblijven.

Het verloop van de annulusdrukken van VE-7 staat in Fig 5.2.



Figuur 5.2 Drukken annulus VE-7. Langzaam oplopende waarden zijn oplos-expansie en kruip.

6. Logen met pekelinjectie (fase 2) met NaCl dosering

6.1 Logen VE-5

In Q3-25 is VE-5 slechts incidenteel bedreven door een lage pekelsbehoefte. Pas vanaf begin 2026 zal worden overgestapt op logen met pekels en NaCl dosering (fase 2) nadat een verzoek hiertoe is geaccordeerd is door SodM. Er bevindt zich een kortsluiting tussen de injectie en productieverbuizing rond de schoen van de injectietubing die in Q4 verder wordt onderzocht om te bepalen of er niet teveel injectiepekels direct in de productiepekels belandt. Bij een teveel zal dit tot een workover leiden (gedeeltelijke vervanging van productiebuizen).

6.2 Logen VE-7

VE-7 is slechts beperkt gebruikt in Q3-2025 door een lage pekelsbehoefte. De pekelinjectie zal in 2025 en wellicht deels 2026 plantpekels zijn met NaCl dosering. Met plantpekels-injectie (ipvs VE-5 pekels injectie) zal het KCl gehalte van de VE-7 productiepekels vermoedelijk iets lager blijven en daarmee sneller benut kunnen worden voor direct commercieel gebruik. In geval van NaCl dosering is het oplospotentieel van NaCl (haliet) van de injectiepekels (na menging met de cavernepekels) negatief en zal er NaCl neerslaan als zoutkristallen. Zodoende wordt het haliet-tussendak (ZE3-2a) in deze fase beschermd tegen oplossen.

Een dosering van 3%vol (30 liter op 1 m³ Mg-pekels) verzadigde NaCl pekels afkomstig van Nobian-Delfzijl (1160 kg/m³ pekels, 255 kg/m³ NaCl, ofwel circa 22%wt NaCl oplossing) levert circa 0,5%wt NaCl toename op van de injectiepekels.

6.3 Effect van herinjectie pekels in VE4 (cluster) op extra bodemdaling

T/m sep 2025 is er circa 65000 m³ holruimte ontstaan in of nabij injectieput VE-4 door pekelerinjectie. Dit heeft circa 48000 m³ vrije pekels opgeleverd, oftewel een bodemdalingspotentieel van circa 3 mm op het diepste punt van de huidige kom. In Q4 zal er beperkt pekels worden gewonnen uit VE-7 en zeer beperkt worden geherinjecteerd in het cluster. Uitgaande dat van Q4-25 tot eind Q3-26 er gemiddeld circa netto 9 m³/h verdunde VE-7 pekels wordt geproduceerd, die in zijn geheel moet worden geinjecteerd in VE-4 en deze pekels $\frac{2}{3}$ verzadigd is aan bischofiet, zal er effectief 3 m³/h aan water-equivalent worden geinjecteerd, oftewel 25000 m³ in 12 maanden. Dit levert een vergelijkbare toename aan vrije pekels in het cluster op en dus extra squeeze-potentieel. Dit levert een additioneel bodemdalingspotentieel van circa 2-3 mm op vanuit het cluster, bovenop de circa 3 mm t/m sep 2025. Het Winningsplan 2018 gaat uit van een totaal van 10 mm door naverzadiging in het cluster.

7. Rapportage en updates

7.1. 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.

7.2. 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.

7.3. 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).

7.4. 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 en/of op 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 2025 is de convergentiesnelheid van het cluster teruggelopen naar 25 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. Er wordt geschat dat de 2b/3b-carnallietsectie in 2025 met ongeveer 35% 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.

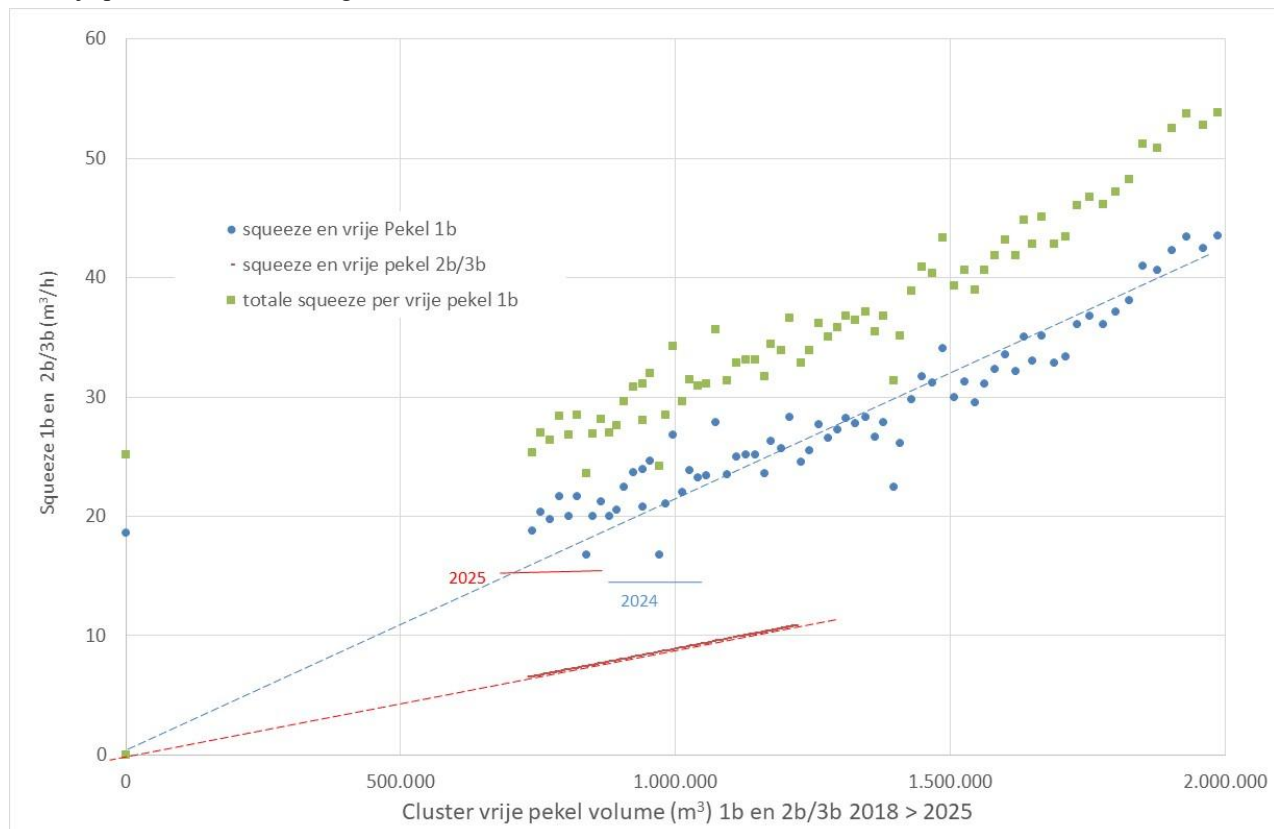


Fig A.1 Convergentiesnelheid van TR-cluster bij bijna constante cavedruk als functie van het geschatte vrije volume van de 1b (bischofiet) sectie en de 2b/3b carnallietsectie. Aan de rechterzijde is medio 2018 met 70 m³/h convergentie en de linkerzijde het afgelopen kwartaal met 27 m³/h. De meeste convergentie 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 pek in de putten.

De compressibiliteit van het cluster wordt gemeten door het cluster 24 tot 48 uur 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 46 uur insluiten. De druk in TR-2 stijgt 1,6 bar. Putdrukken worden met een nauwkeurigheid van 0,1 bar geregistreerd.

De drukopbouw is niet volledig lineair, deels door een hogere cavedruk 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 27 m³/h voor 46 uur bedraagt, is de compressibiliteit 780 m³/bar.

Wanneer we een gemiddelde van 25 m³/h aannemen (van 27 naar 23 m³/h over 46 uur), bedraagt de stijfheid 720 m³/bar. Een redelijke aanname voor de compressibiliteit van sept 2024 is 760 m³/bar.

Vermoedelijk zal de compressibiliteit in de komende 5 jaar afnemen, naar circa 400 m³/bar, afhankelijk van de gekozen caverndruk (en daarmee de convergentiesnelheid). Dit zal minstens ieder jaar worden gemeten.

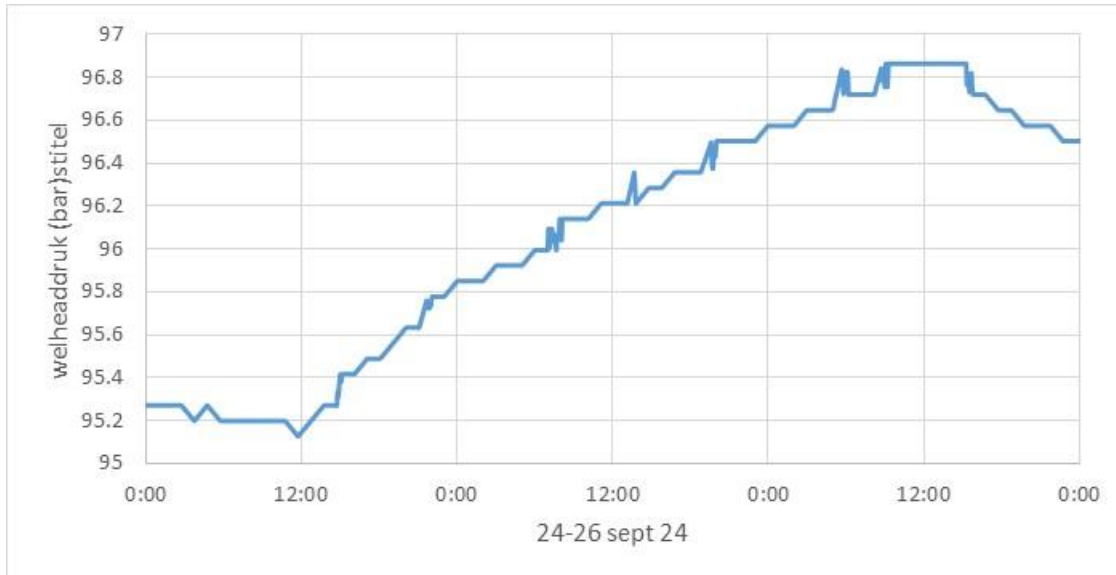


Fig A.2 Drukverloop van insluittest in (inactieve) put TR,2. Drukken worden in eenheden van 0,1 bar gemeten, dus vandaar de sprongen.

Put TR-9 had in oktober 2024 een convergentiesnelheid van 1,7 m³/h bij een totaal berekend pekervolume van 350.000 m³, waarvan een berekende 172.000 m³ gebonden pek en hoogstens 187.000 m³ vrije (te squeeze) pek. Een fit tussen convergentie en gemiddelde convergentiesnelheid toont slechts circa 30.000 m³ vrije pek 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 pek (uit bijvoorbeeld VE-5 of VE-7) te injecteren.

De compressibiliteit van TR-9 is in oktober 2024 bepaald op 150 m³/bar. Tijdens een drukaflaat van circa 4,5 bar over 12 uur (Figuur A3) is 12 uur lang netto circa 47 m³/h volume afgelaten (productie minus dilutie). Bij verwaarlozing van de zoutkruip levert dit 125 m³/bar. Indien een caverneconvergentie door kruip wordt afgetrokken is dit circa 120 m³/bar. Indien de caverne TR-9 groeit naar (een volgens aanvulling Winningsplan 2018) geschat volume vrije pek van 440.000 m³ vrije pek (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.

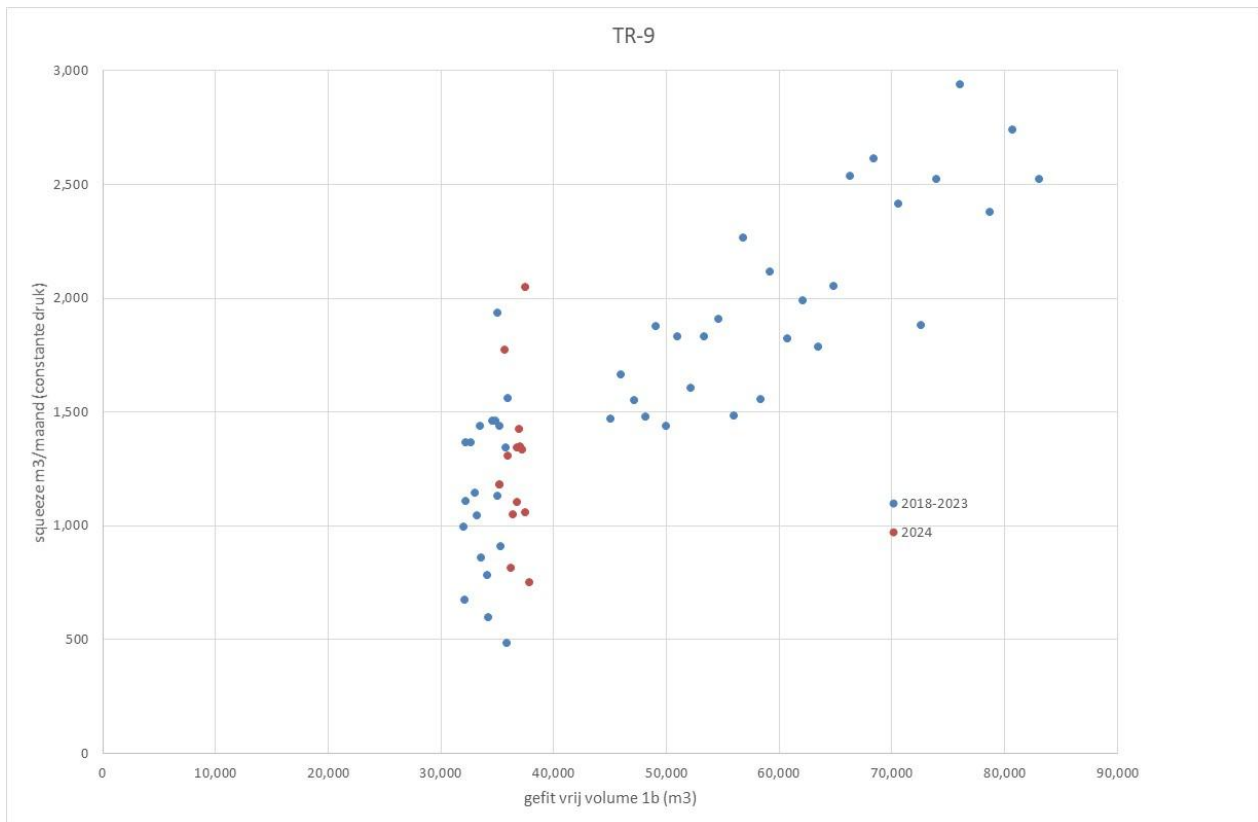


Fig A3 Convergentie (zoutkruip) van TR-9 bedraagt in 2024 circa 1200 m³/maand (1,7 m³/h).

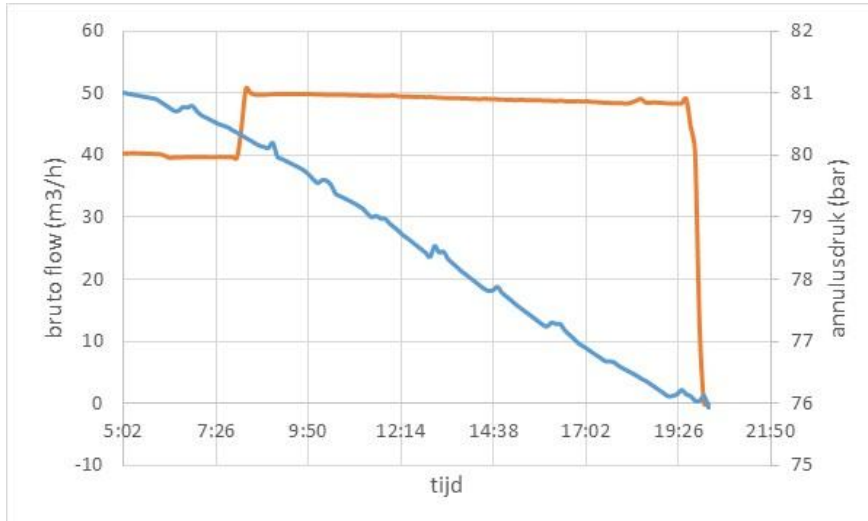


Fig A4 Drukdaling (4,5 bar) bij 560 m³ netto productie in 12 uur uit TR-9 in okt 2024.

Appendix B Voorraad- en dakolie-registratie VE-5 en VE-7

De dakolieaanvoer, injectie, terugname en voorraad geschiedt (met vermelding van weekdag) in onderstaande spreadsheet. Per kwartaal worden de verbruiken opgeteld en vermeld in Hoofdstuk 5. Deze appendix dient als voorbeeld van het sheet.

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

Datum	Aanvoer GTI Solvent GS 215 en leverancier naar WMC-1 O.v.v. voorbed of meting op vachtauto Registratie in ERP in door B/P Achteraf "pakket" door Mining Director	Aanvoer GTI Solvent GS 215 uit externe opslag naar WMC-1 O.v.v. voorbed of meting op vachtauto Registratie in ERP in door B/P Achteraf "pakket" door Mining Director	Injectie VE-5 Meting via penen tank(s) WMC-1 Registratie in ERP in door B/P	Terugname VE-5 Meting via penen tank(s) WMC-1 Registratie in ERP in door B/P	dakolie In VE-5 [m ³]	Injectie VE-7 Meting via penen tank(s) WMC-1 Registratie in ERP in door B/P	Terugname VE-7 Meting via penen tank(s) WMC-1 Registratie in ERP in door B/P	dakolie In VE-7 [m ³]	Aanvoer GTI Solvent GS 215 en WMC-1 naar verwerker [m ³] O.v.v. meting op vachtauto of penen tanks Registratie in ERP in door B/P Achteraf "pakket" door Mining Director	Einde dag in tank(s) WMC-1 [m ³]	Einde dag in externe opslag [m ³]
19-6-2024			3,24		98,94			141,8		15,66	0
20-6-2024			4,21		91,15			141,8		12,45	0
21-6-2024			4,61		95,76			141,8		7,84	0
26-6-2024					95,76			141,8		55,87	0
22-10-2024			5,49		101,25			141,8		30,38	0
28-10-2024			3,773		105,023			141,8		26,61	0
30-10-2024			3,947		108,97			141,8		22,66	0
14-11-2024					108,97		4,46	137,3		27,12	0
15-11-2024					108,97		10,2	27,1		37,32	0
19-11-2024					108,97		5,89	22,2		43,21	0
20-11-2024					108,97		12,11	109,1		55,32	0
6-12-2024			3,398		112,368			109,1		51,93	0
9-12-2024			3,615		115,983			109,1		48,31	0
11-12-2024			3,619		119,402			109,1		44,69	0
12-12-2024			4,706		124,308			109,1		38,99	0
18-12-2024			6,409		130,747			109,1		33,55	0
24-12-2024			1,556		132,303			109,1		31,99	0
2-1-2025			1,247		133,55			109,1		30,74	0
27-1-2025			3,118		136,668			109,1		27,63	0
30-1-2025			5,893		142,565			109,1		21,77	0
31-1-2025			4,479		147,055			109,1		17,29	0
3-2-2025			2,871		149,926			109,1		14,42	0
6-2-2025			7,292		157,168			109,1		7,13	0
11-2-2025			3,052		160,22			109,1		4,07	0
15-2-2025			1,665		161,885			109,1		2,41	0
13-6-2025				9,578	152,57			109,1		11,94	0
13-6-2025				5,959	146,43			109,1		17,88	0
1-7-2025				2,983	143,45			109,1		20,86	0
4-7-2025				3,05	140,365			109,1		23,91	0
11-7-2025				5,387	134,598			109,1		29,50	0
15-8-2025				4,051	130,747			109,1		33,55	0

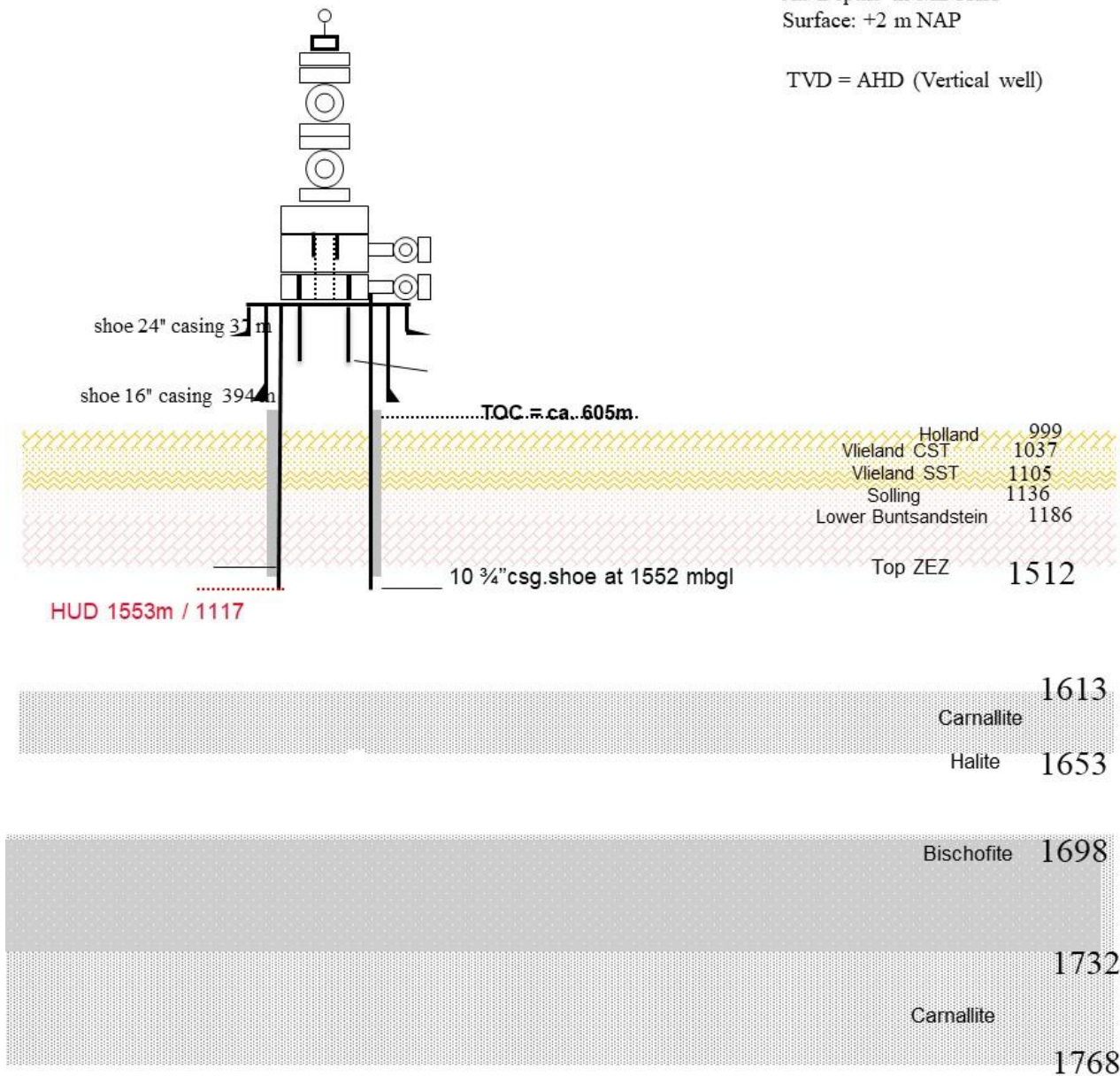
Appendix C. Putdiagrammen van drukbeheersingsputten (TR-2/6/9, VE5/7)

TR-2 M&R

09-04-2024

All Depths in MBCHH
Surface: +2 m NAP

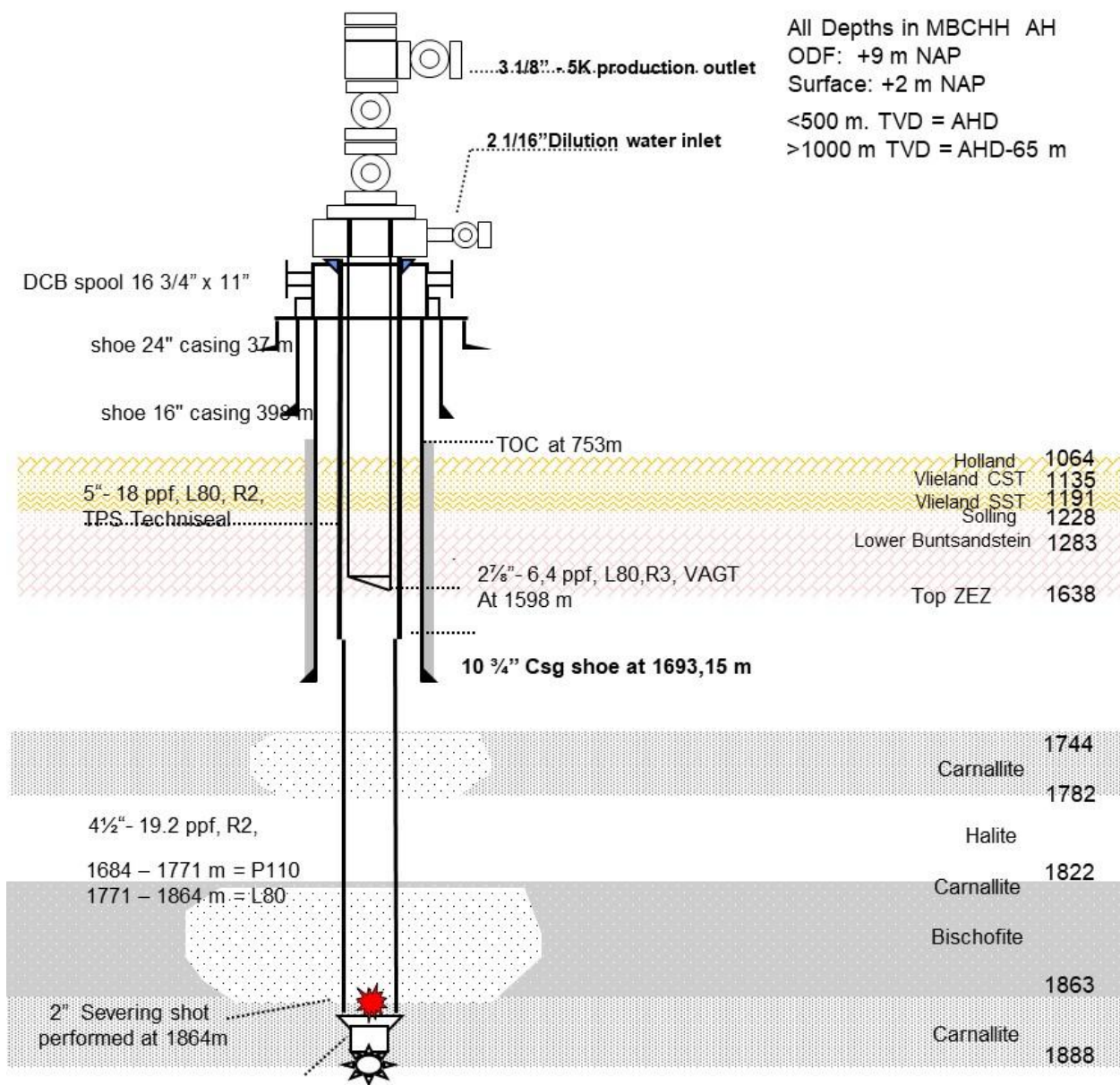
TVD = AHD (Vertical well)

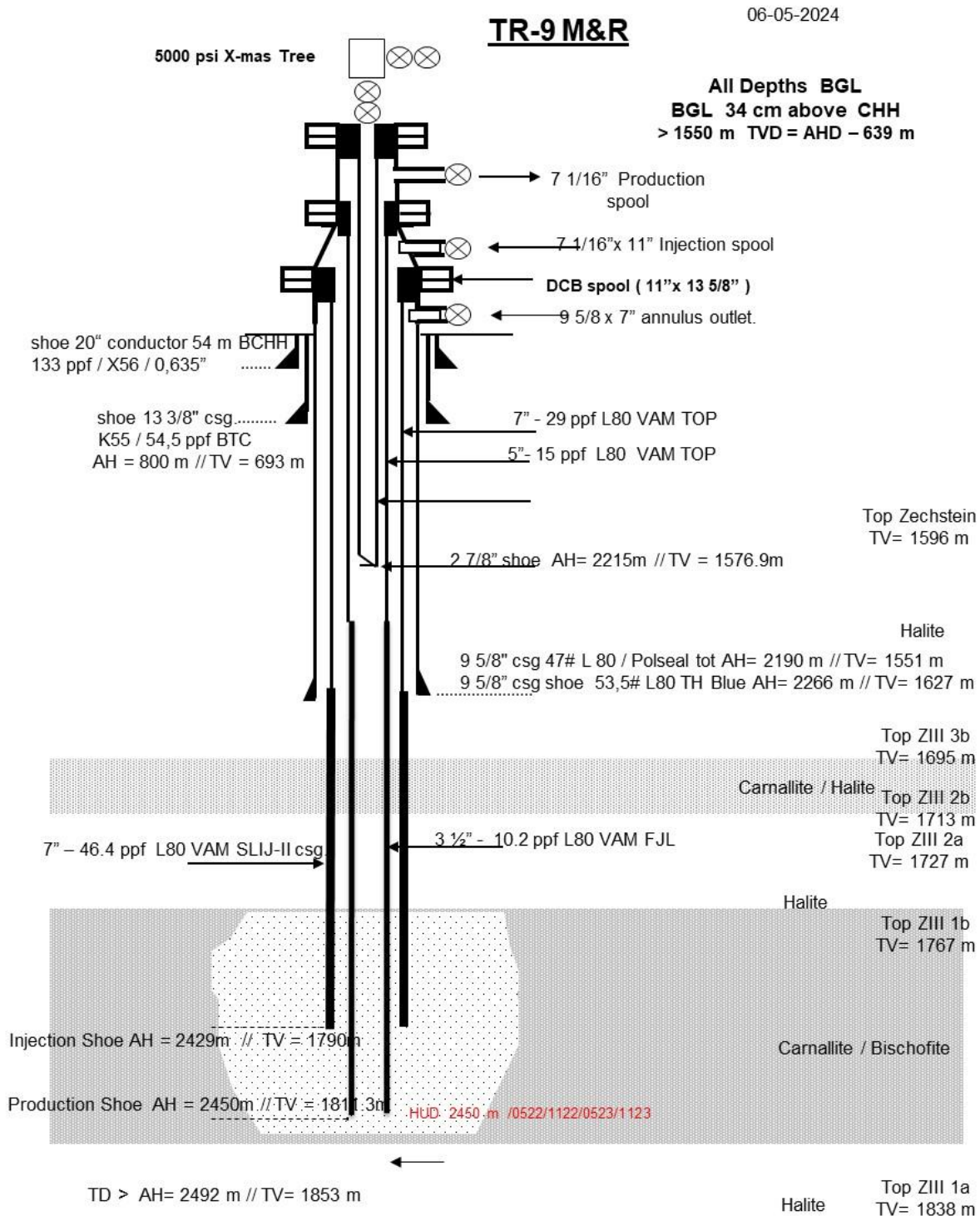


TR-6 M&R

06-04-2024

All Depths in MBCHH AH
 ODF: +9 m NAP
 Surface: +2 m NAP
 <500 m. TVD = AHD
 >1000 m TVD = AHD-65 m





06-12-2024

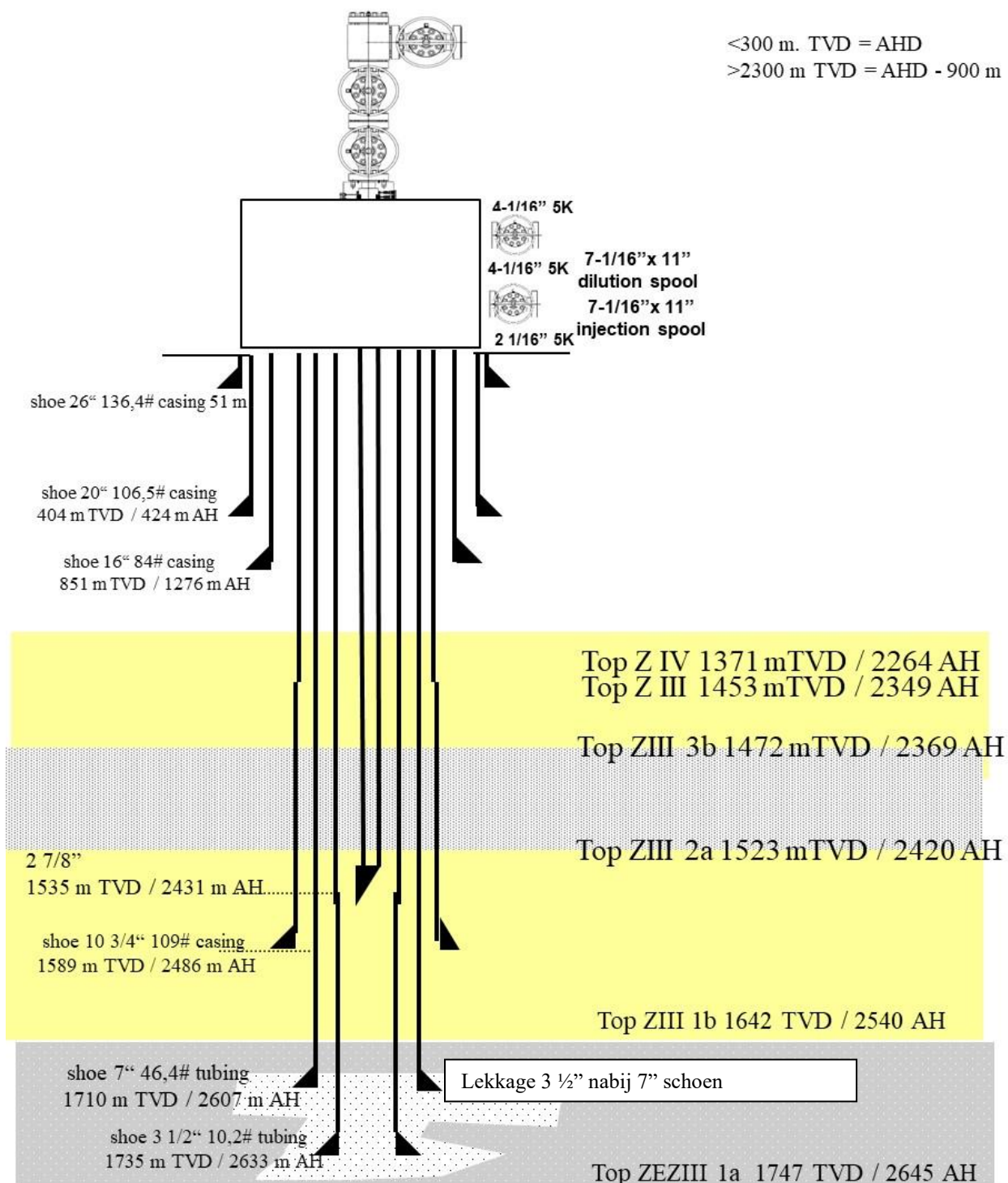
VE-5 M&R

All Depths BCHH AH

Surface: +2 m NAP

<300 m. TVD = AHD

>2300 m TVD = AHD - 900 m



06-12-2024

VE-7 M&R

All Depths BCHH AH

Surface: +2 m NAP

<300 m. TVD = AHD

>2000 m TVD = AHD - 580 m

