

Vulplan caverne 130

Winningsvergunning Twenthe-Rijn – berging kalkslurry

december 2025
Kenmerk NH20251222a



Contents

1. Samenvatting	3
2. Inleiding	3
2.1. Aanleiding vullen caverne met kalkslurry	3
2.2. Wettelijk kader en relatie met winningsplan	4
3. Situatie te vullen caverne	5
3.1. Ligging en vorm caverne	5
3.2. Vulling	6
4. Beschrijving bij de vulling te gebruiken put(ten)	6
4.1. Bestaande putten	6
4.1.1. Gegevens bestaande putten	6
4.1.2. Aanpassingen aan bestaande putten	6
4.2. Afweging aanleg nieuwe put(ten)	6
4.3. Nieuw aan te leggen put(ten)	7
5. Bodemdaling	7
5.1. Effecten van bodemdaling	8
6. Referenties	9
7. Overzicht van bijlagen	9

1. Samenvatting

Kalkslurry is één van de reststoffen die ontstaat tijdens het zoutproductieproces op de fabriekslocatie van Nobian in Hengelo. De kalkslurry wordt ingebracht in cavernes die potentieel instabiel en niet inherent veilig zijn, om de hoeveelheid bodemdaling die deze cavernes kunnen veroorzaken te beperken. Caverne 130 is één van deze cavernes. De in te voeren kalkslurry komt in de plaats van de aanwezige pekels in de caverne. Voor het produceren van pekels uit caverne 130 is het winningsplan Twenthe-Rijn fase 2 en 3 voor 2026-2050 [2] opgesteld. In het winningsplan zijn de aspecten opgenomen die algemeen gelden voor het caverneveld. Dit caverne specifiek vulplan bevat de details die betrekking hebben op het bergen van kalkslurry in caverne 130.

Voor de berging van kalkslurry worden 2 putten gebruikt, namelijk TWR-130 en TWR-131. De invoer van kalkslurry en het produceren van pekels gaat met behulp van binnenbuizen zodat de in- en uitgaande stromen niet via de laatst gecementeerde casing van de put gaan. De beoogde hoeveelheid in te brengen vaste stof bergen is ca. 250.000 m³ om de vulgraad van 80% te behalen. Hierbij is rekening gehouden met 15% consolidatie van de vaste stof onder het eigen gewicht. Omdat zo'n 20% van het ingebrachte volume kalkslurry als kalkslurryberg in de caverne achterblijft, is er een volumestroom van ca. 1.250.000 m³ kalkslurry nodig. De berging van kalkslurry is gestart in het derde kwartaal van 2024. Na ongeveer een jaar vulling is een sonarmeting uitgevoerd om het vulproces te volgen. Op basis van de ingebrachte hoeveelheid slurry in deze periode en de achtergebleven kalkslurryberg is de resterende vulperiode berekend. Deze bedraagt naar verwachting zo'n 5 jaar voor caverne 130.

2. Inleiding

2.1. Aanleiding vullen caverne met kalkslurry

Kalkslurry is één van de reststoffen die ontstaat in het pekelszuiveringsproces op de fabriekslocatie van Nobian in Hengelo. De ruwe pekels die vanuit het caverneveld bij de fabriek binnenkomt, bevat een aantal componenten zoals magnesium, calcium en sulfaat die uit de pekels gezuiverd worden voordat de pekels het indampproces in gaat. Deze componenten vormen samen een reststof die kalkslurry wordt genoemd. Al vele decennia wordt deze reststof als retourstroom in cavernes geborgen. Het bergen van kalkslurry in een caverne heeft een belangrijke functie binnen het beheersen van het risico op ernstige bodemdaling dat van toepassing is op een aantal cavernes in fase 2 en 3 van het caverneveld, zie ook Beleid Monitoren en Vullen Cavernes Twente (BMVCT) [1]. Voor deze cavernes geldt dat ze potentieel instabiel en/of niet inherent veilig zijn. Bij een caverne die potentieel instabiel is, is het veiligheidsdak van de caverne niet meer intact. Hierdoor bestaat het risico dat het cavernedak instort. Dit is het begin van het zogenoemde migratieproces van de caverne, waarbij het cavernedak laag voor laag instort en de caverne geleidelijk naar boven migreert. Hierbij neemt het gebroken gesteente dat in de caverne valt meer ruimte in dan het oorspronkelijke intacte gesteente. Door dit bulking effect neemt het cavernevolumen af tijdens het migratieproces. Wanneer de migrerende caverne in de ondergrond de overgang van vast gesteente naar grondlagen bereikt ontstaat er een onacceptabele hoeveelheid bodemdaling in de vorm van een bodemdalingstrog of een sinkhole. Wanneer de caverne klein genoeg is, stopt het migratieproces op voldoende diepte in de gesteentelagen zodat er geen bodemdalingstrog of sinkhole kan ontstaan. Door het inbrengen van kalkslurry wordt de caverne gedeeltelijk gevuld met vaste stof, waardoor het cavernevolumen kleiner wordt. Dit zorgt ervoor dat er aanzienlijk minder bodemdaling kan ontstaan dan wanneer deze cavernes niet deels gevuld zouden worden.

Voor caverne 130, die onderdeel uitmaakt van het Winningsplan TWR Fase 2 & 3 [2], bestaat het risico dat er in de toekomst aanzienlijke bodemdaling ontstaat, daarom wordt deze caverne gevuld met kalkslurry. Het vullen van deze caverne is gestart in september 2024, op basis van de vulprioritering in de toen geldende versie van het BMVCT.

Daarnaast blijkt uit een Life Cycle Analysis [3] dat het bergen van kalkslurry in een caverne gunstig is ten opzichte van het verwerken van deze stroom als afval. Hierbij is gekeken naar de impact op het milieu en het kostenaspect.

2.2. Wettelijk kader en relatie met winningsplan

Tijdens het vulproces met kalkslurry zal de al aanwezige pekkel in de caveerne verdrongen worden door de ingebrachte kalkslurry en daarom uit de caveerne stromen. Om pekkel uit een caveerne te mogen produceren is een winningsplan nodig. Caveerne 130 is onderdeel van het winningsplan Twenthe-Rijn fase 2 en 3 voor 2026-2050 [2]. Naast cavernes voor de berging van kalkslurry betreft dit cavernes waar de berging van boorgruis of bromidepekkel is voorzien. In het winningsplan zijn de algemene zaken die voor het caveerneveld gelden, zoals de geologie, gesteentemechanica en omgevingseffecten beschreven. Veel van de details die conform de Mijnbouwwet (artikel 35) en het Mijnbouwbesluit (artikel 24 en 25) in een winningsplan moeten staan, kunnen beter worden bepaald en omschreven in een cavernespecifiek plan zoals dit document. Doordat dit plan korter voor de daadwerkelijke berging van de retourstroom kan worden opgesteld, kunnen de meest actuele gegevens worden ingebracht. Dit vulplan bevat daarom de zaken die specifiek bepaald zijn en gelden voor caveerne 130 en is aanvullend aan de informatie die beschreven staat in het winningsplan.

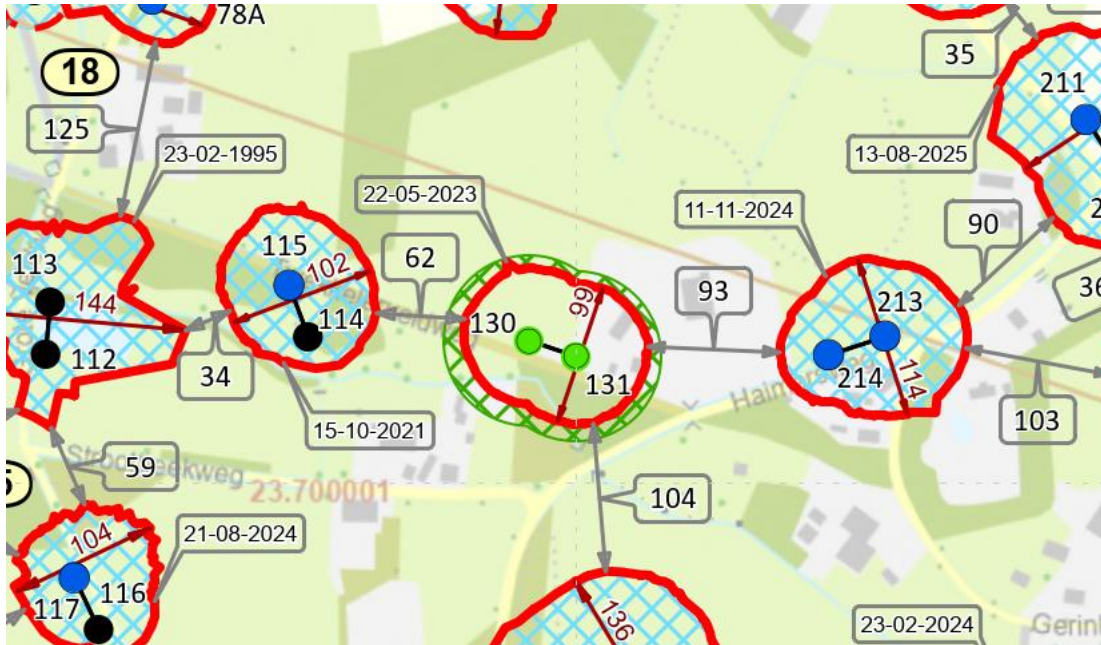
Wetsartikel	Tekst	Behandeld in...
Mijnbouwwet Artikel 35	1 Het winningsplan bevat voor elk voorkomen binnen het vergunningsgebied ten minste een beschrijving van:	
	a. de verwachte hoeveelheid aanwezige delfstoffen en de ligging ervan;	Op veldniveau: Zie winningsplan [2] paragraaf 2.3 (cavernes) en 3.2 en 6.3 (hoeveelheden). Caveerne 130: Dit cavernespecifiek vulplan, hoofdstuk 3
	b. de duur van de winning;	Op veldniveau: Zie winningsplan [2] paragraaf 6.1 Caveerne 130: Dit cavernespecifiek vulplan, hoofdstuk 3
	d. een schatting van de verwachte hoeveelheid per jaar te winnen delfstoffen	Op veldniveau: Zie winningsplan [2] paragraaf 6.3 Caveerne 130: Dit cavernespecifiek vulplan, paragraaf 3.2
	f. de bodembeweging ten gevolge van de winning alsmede de daarmee verband houdende activiteiten en de maatregelen ter voorkoming van schade door bodembeweging, voorzover het winnen van delfstoffen niet geschiedt in het continentaal plat, tenzij Onze Minister anders heeft bepaald;	Op veldniveau: Zie hoofdstuk 7 van het winningsplan [2]. Caveerne 130: Dit cavernespecifiek vulplan, hoofdstuk 5
Mijnbouwbesluit Artikel 25 lid 1	b. een opgaaf van de verwachte hoeveelheid te winnen pekkel en zout en de samenstelling van het te winnen zout;	Op veldniveau: Zie winningsplan [2] paragraaf 3.2 Caveerne 130: Dit cavernespecifiek vulplan, paragraaf 3.2
	c. een beschrijving van de ligging en de vorm van de holruimte tijdens en na de winning;	Dit cavernespecifiek vulplan, paragraaf 3.1
	e. een opgaaf van de hoeveelheden stoffen die jaarlijks bij de winning worden geïnjecteerd, en	Op veldniveau: De jaarlijkse hoeveelheid is opgenomen in het winningsplan [2] hoofdstuk 6.4. Caveerne 130: Dit cavernespecifiek vulplan, paragraaf 3.2
	e. een opgaaf van het aantal boorgaten dat bij de winning wordt gebruikt;	Dit cavernespecifiek vulplan, hoofdstuk 4.
	f. een opgaaf van de volgorde en het tijdsbestek van het maken van de boorgaten;	Dit cavernespecifiek vulplan, hoofdstuk 4.
	g. een opgaaf van de ligging, lengte en diameter van de verbuizing van de boorgaten;	Dit cavernespecifiek vulplan, hoofdstuk 4.

Tabel 1: Overzicht wetsartikelen die in dit cavernespecifiek vulplan worden behandeld

3. Situatie te vullen caverne

3.1. Ligging en vorm caverne

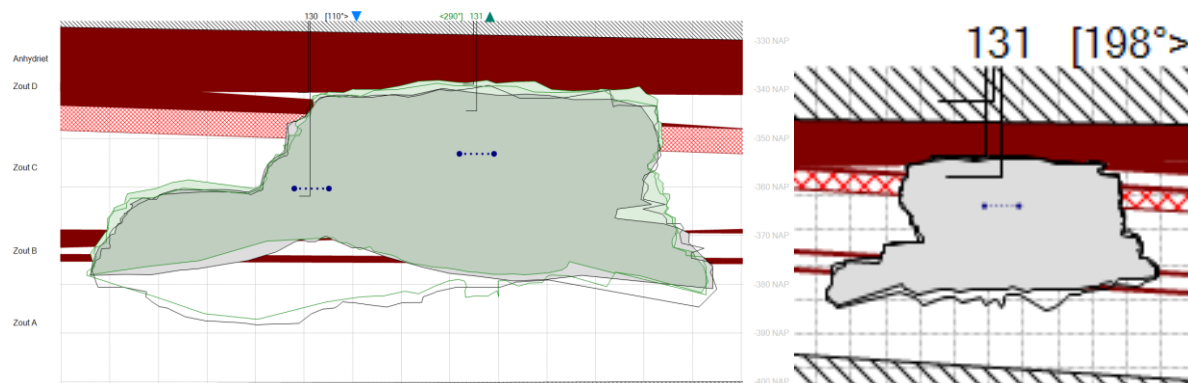
De ligging van caverne 130 is aangegeven in Figuur 1. De caverne bevindt zich midden in Tweekelo, bij de Tweekelerveldweg.



Figuur 1: Ligging caverne 130 weergegeven op uitsnede holruimtekaart versie 19-12-2025

In Figuur 2 zijn een aantal doorsneden opgenomen om de vorm van de caverne weer te geven. Het volume van de caverne voor de start van het vullen was ca. 267.000 m³ op basis van gecombineerde sonarmetingen, productiecijfers en aandelen onoplosbaar en gevallen steenbanken. De laatste sonarmeting is uitgevoerd op 21 oktober 2025, hierop is te zien dat de caverne onder put 130 al deels gevuld is.

Boven de caverne is het vereiste veiligheidsdak van 5 m niet aanwezig en de caverne is niet inherent veilig. De caverne dient deels gevuld te worden met kalkslurry om te voorkomen dat er aanzienlijke bodemdaling aan het maaiveld kan ontstaan.



Figuur 2: Doorsneden caverne 130 met links een profiel over de lijn die de putten verbindt en rechts een doorsnede in de breedterichting door put 131, waar de maxplot het grootst is. De ingekleurde contouren geven de meest recente sonarmeting weer, de niet ingekleurde contouren geven de laatste sonarmeting voor de start van de berging van kalkslurry weer.

3.2. Vulling

De caveerne wordt gedeeltelijk gevuld met kalkslurry, de beoogde vulgraad is 80%. De jaarlijkse hoeveelheid kalkslurry is afhankelijk van de kwaliteit van de ruwe pek en de hoeveelheid geproduceerd zout en is dus niet constant. Wanneer de zoutfabriek 2,5 miljoen ton zout per jaar produceert, is een volumestroom van ca. 625.000 m³/jaar te verwachten. Bij de maximaal vergunde capaciteit van de zoutfabriek (3,5 miljoen ton zout), loopt de hoeveelheid slurry op naar maximaal 900.000 m³/jaar. De hoeveelheid jaarlijks te produceren pek uit de caveerne is gelijk aan het jaarlijks in te voeren volume kalkslurry. De vaste stof blijft achter in de caveerne en de pek gaat als retourpek terug naar de fabriek. Wanneer er van de ingebrachte kalkslurry zo'n 20% van het volume als kalkslurryberg in de caveerne achterblijft, is er een volumestroom van ca. 1.250.000 m³ kalkslurry nodig. Elk jaar is de caveerne enkele weken niet beschikbaar in verband met controlemetingen op de vulling en indien nodig een workover om de afhangende van de buizen aan te passen. Na het bereiken van de beoogde vulgraad zal het caveernevolume teruggebracht zijn van het volume voorafgaand aan vulling van 267.000 m³ naar circa 53.000 m³. Gerekend met de hoeveelheid ingebrachte slurry en het de achtergebleven vaste stof gedurende het eerste jaar van de vulling is de verwachte resterende vulperiode ca. 5 jaar.

De omgang met operationele risico's, zoals problemen met putten, wordt omschreven in de zorgsystemen die op het Mijnbouwwerk van toepassing zijn. Dit betreft het Well Integrity Management System (WIMS, Cavern Stability and Integrity Management System (CSIMS) en Pipeline Integrity Management System (PIMS).

4. Beschrijving bij de vulling te gebruiken put(ten)

4.1. Bestaande putten

4.1.1. Gegevens bestaande putten

Caverne 130 is toegankelijk via de putten TWR-130 en -131. De integriteit van deze putten wordt geborgd door toepassing van het Well Integrity Management System (WIMS). De coördinaten van deze putten zijn opgenomen in Tabel 2. De gegevens van de laatst gecementeerde casing (LCC) en de aanwezige verbuizing ten tijde van het vulproces zijn hierin opgenomen. De locatie van de putten aan maaiveld is te zien in Figuur 1.

Put	X [RD new]	Y [RD new]	Diepte LCC [m NAP / mMV]	Diameter LCC [inch]	Diepte verbuizing bij start vulling [m NAP / mMV]	Diameter verbuizing ten tijde van vulling [inch]
TWR-130	251966	472300	-340,61 / -364,10	7	-361,84 / -385,34	5½
TWR-131	252000	472289	-338,87 / 362,45	7	-322,41 / -346,11 -344,37 / 368,07	5½ 4½

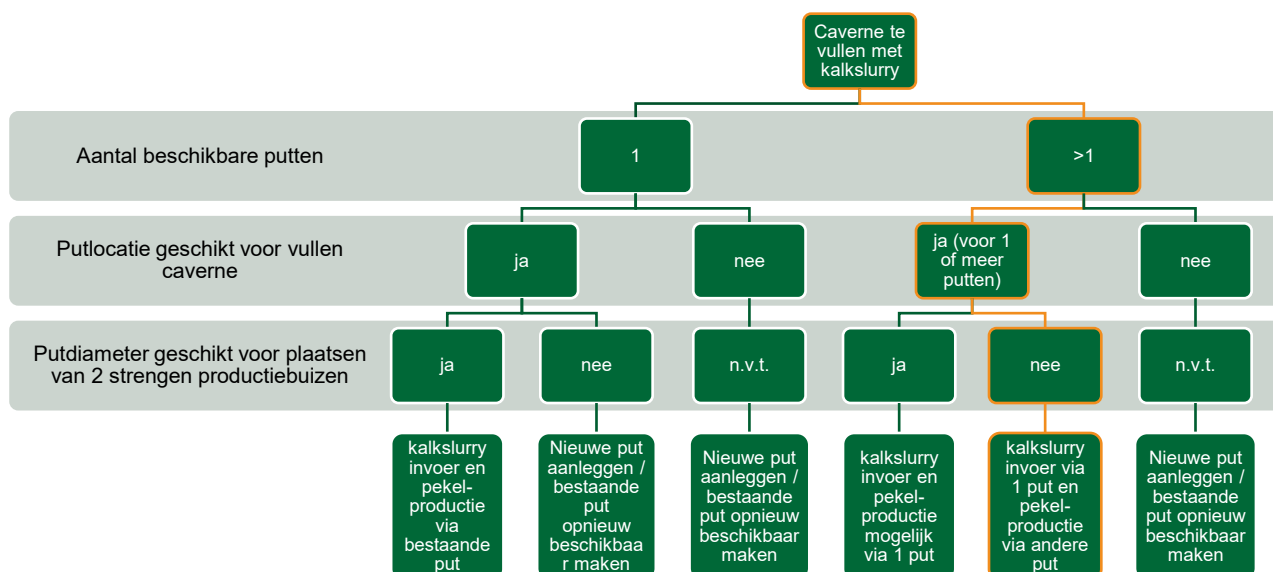
Tabel 2 Coördinaten bestaande putten bij caveerne 130

4.1.2. Aanpassingen aan bestaande putten

Met de verbuizing zoals aangegeven in Tabel 2 is de caveerne in gebruik voor het vullen met kalkslurry. In de loop van het vulproces zal de vulling met kalkslurry in kaart gebracht worden met sonarmetingen. Naar aanleiding daarvan kunnen afhangdieptes gewijzigd worden en ook de kalkslurryinvoer en pekafvoer kunnen gewisseld worden.

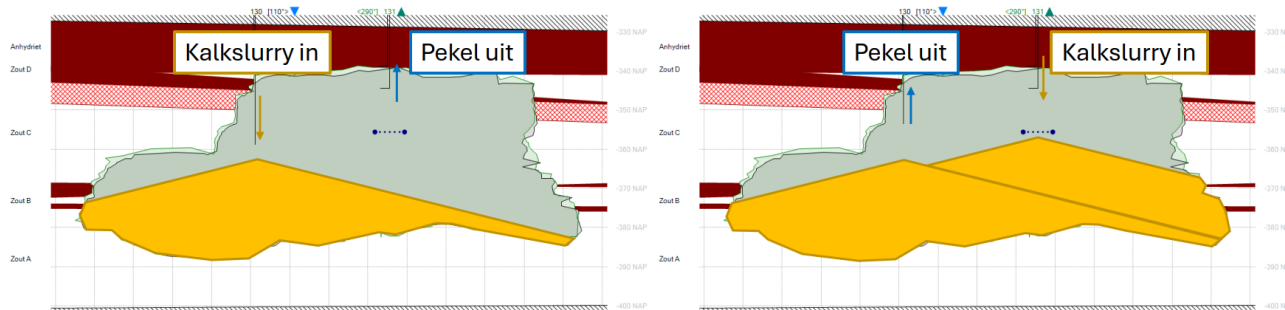
4.2. Afweging aanleg nieuwe put(ten)

In Figuur 2 is te zien hoe de positie van de bestaande put(ten) zich verhoudt tot de caveerne. De kenmerken van de bestaande putten zijn opgenomen in Tabel 2. Op basis van de beslisboom in Figuur 3 wordt afgewogen of het aanleggen van een nieuwe put nodig is. In het geval van caveerne 130 is het pad van de oranje lijn door de beslisboom gevolgd.



Figuur 3: Beslisboom afweging aanleg nieuwe put

Bij de berging van kalkslurry is het van belang dat de vaste stof in de kalkslurry op de plek terecht komt waar het volume van de caverne gereduceerd moet worden. Om dit voor caverne 130 te bereiken is gekozen om te starten met het vullen via put TWR-130 om het dieper gelegen westelijke deel van de caverne op te vullen. Daarna wordt via put TWR-131 slurry ingebracht om het hogere deel van de caverne te vullen. In elke put is een streng productieverbod afgehangen. Op deze manier wordt geborgd dat de in- en uitgaande stromen niet via de laatst gecementeerde casing gaan. Het aanleggen van een nieuwe put is daarom niet nodig. Het bergen van kalkslurry in caverne 130 op de beschreven wijze is geschetst in Figuur 4.



Figuur 4: Schets bergen kalkslurry in caverne 130 via de putten TWR-130 en TWR-131

4.3. Nieuw aan te leggen put(ten)

Zoals in de vorige paragraaf is toegelicht, is het niet nodig om een nieuwe put aan te leggen voor de berging van kalkslurry in caverne 130.

5. Bodemdaling

Caverne 130 wordt met kalkslurry gevuld om te voorkomen dat migratie van deze caverne leidt tot een onacceptabele hoeveelheid bodemdaling (sinkhole) aan het maaiveld. Na afloop van het vulproces is nog slechts een beperkte migratie mogelijk, die op diepte zal uitdoven en een beperkte bodemdaling aan het maaiveld zal geven. Voor de eindsituatie dat caverne 130 voor 80% gevuld zal zijn met kalkslurry, is berekend dat de cavernemigratie uitdooft op ca. 180 m onder maaiveld. Dit is ongeveer 65 m dieper dan de overgang van gesteente- naar grondlagen. Hiermee blijft er een voldoende dikke en sterke laag gesteente boven de

gemigreerde caverne aanwezig die ervoor zorgt dat er geen sinkhole ontstaat. Daarnaast is berekend hoeveel bodemdaling er bij 80% vulling na migratie kan ontstaan [4]. In Tabel 3 wordt de bodemdaling bij 80 % vulling vergeleken met de situatie waarbij de caverne niet of minimaal gevuld zou worden. Het gaat om de maximale bodemdaling die kan optreden bij maximale migratie in de situatie zonder vulling, met minimale vulling en met 80% vulling met kalkslurry. Tevens is voor de situatie van 80% vulling naast de standaard Conservative Case een Optimistic Case berekend om de onzekerheidsbandbreedte in de bodemdalingsprognoses weer te geven, zie Tabel 3. Het memorandum [4] met de toelichting op de berekeningen is toegevoegd als bijlage 1. De ruimtelijke verdeling van de bodemdaling, scheefstelling, horizontale vervorming en relatieve rotatie voor de Conservative Case bij 80% vulling is geprojecteerd op de kaart en toegevoegd in bijlage 2.

	Caverne 130 zonder vulling	Caverne 130 Conservative Case minimale vulling (54%)	Caverne 130 Conservative Case 80% gevuld met kalkslurry	Caverne 130 Optimistic Case 80% gevuld met kalkslurry
Bodemdaling [m]	> 30	0,31	0,21	0,13
Scheefstelling [mm/m]	442	3,5	2,0	1,2
Horizontale vervorming [mm/m]	136 (rek) 262 (compressie)	1,0 (rek) 2,8 (compressie)	0,7 (rek) 1,6 (compressie)	0,4 (rek) 0,9 (compressie)
Relatieve rotatie [‰]	300 (convex) 597 (concaaf)	1,0 (convex) 3,1 (concaaf)	0,6 (convex) 1,3 (concaaf)	0,3 (convex) 0,7 (concaaf)

Tabel 3: Prognose bodemdaling caverne 130 zonder, met 54% en met 80% vulling met kalkslurry

5.1. Effecten van bodemdaling

Bodemdaling kan effect hebben op objecten aan maaiveld zoals gebouwen en infrastructuur en op de waterhuishouding. Zonder vulling met kalkslurry zal er bij migratie van caverne 130 een onacceptabele hoeveelheid bodemdaling ontstaan (zie Tabel 3). Voor de impact van bodemdaling op diverse soorten landgebruik (landbouw, stedelijk, recreatie etc.), diverse typen gebouwen (woning, industrie, kantoor etc.) infrastructuur (wegen, kabels en leidingen etc.) en speciale objecten zoals hoogspanningsmasten, zonneparken en de folie onder de vuilstort van Twence wordt gekeken naar de hoeveelheid bodemdaling en daarvan afgeleide parameters zoals scheefstelling, horizontale vervorming en relatieve rotatie. In het kader van het BMVCT [1] is een methodiek ontwikkeld om de schade die kan ontstaan aan objecten in de verschillende categorieën een score te geven. De totaalscore per caverne is een maat voor de schade die aan het maaiveld te verwachten is wanneer volledige migratie optreedt en er geen opvulling wordt toegepast. Voor caverne 130 is de totaalscore zonder opvulling 66,3. De caverne valt daardoor in de risicomatrix in klasse S4.

In Tabel 3 is te zien dat de hoeveelheid bodemdaling en de daarvan afgeleide parameters door het vullen met kalkslurry afnemen. De schadescore die hoort bij een 80% gevulde caverne neemt af naar 2,8. De caverne komt daarmee in de risicomatrix in S2 terecht. Met de opvulling is de schadescore dus niet volledig terug te brengen naar 0. Indien de caverne gaat migreren en er schade of hinder ontstaat door de restbodemdaling zal Nobian de nodige maatregelen treffen in overleg met de eigenaren/gebruikers van grond en objecten. Dit valt binnen de wettelijke verantwoordelijkheid die Nobian als mijnbouwonderneming heeft om schade als gevolg van haar activiteiten te herstellen. De bodemdalingsskom die nog kan optreden is beperkt in diepte en ontstaat geleidelijk in de loop van jaren tot decennia. De maximale diepte van de bodemdalingsskom is 0,21 m en dergelijke hoogteverschillen komen in deze omgeving al van nature in percelen voor. Wanneer er toch merkbare effecten optreden zijn er eenvoudige lokale mitigerende maatregelen in te zetten als het egaliseren van het maaiveld of het incidenteel wegpompen van overtollig water. Wanneer een dergelijke situatie zich voordoet zal Nobian de nodige maatregelen treffen in overleg met de landeigenaren.

6. Referenties

- [1] Beleid monitoren en vullen cavernes Twente, Nobian, kenmerk NH20253031, 31 maart 2025
- [2] Winningsplan winningsvergunning Twenthe-Rijn fase 2 en 3 – gebruik cavernes voor berging retourstromen 2026-2050, Nobian, kenmerk NH20240731a, d.d. juli 2024 – Update Januari 2025
- [3] Life Cycle Assessment (LCA) & Total Cost of Ownership (TCO) analysis of residual streams from brine in Hengelo, Ecomatters B.V., version 1.8, 07-11-2023
- [4] Subsidence prognosis and mitigative measures TWR Cavern 130, ReInvent, kenmerk M25020, 09-09-2025

7. Overzicht van bijlagen

- 1. Memorandum 'Subsidence prognosis and mitigative measures TWR Cavern 130' door ReInvent,
- 2. Prognose bodemdaling bij 80% vulling van caverne 130

Vulplan caverne 130

Winningsvergunning Twenthe-Rijn –
berging kalkslurry

december 2025

Kenmerk NH20251222a

Chemistry
you can count on



Bijlage 1: Memorandum 'Subsidence Prognosis and mitigative measures TWR cavern 130' door Relnvent



MEMO

Nobian Industrial Chemicals BV
 Els Wijermars / Marinus den Hartogh
 Boortorenweg 27
 7554 RS Hengelo (O)
 The Netherlands

Date: 9 September 2025
 Memo number: M25020
 Client name: Nobian
 Subject: Subsidence prognosis
 and mitigative measures C130

Subsidence prognosis and mitigative measures cavern TWR-C130

1. Selection of input parameters

Cavern TWR-C130 (C130) is located along the Twekkelerveldweg in Gemeente Enschede. The cavern has been developed using the boreholes listed in Table 1 which also lists the stratigraphy.

TWR-C130	Position (m)			Stratigraphy (mNAP)													
Wells	X (WGS84)	Y (WGS84)	Z (mNAP)	Tertiair_top	Tertiair_basis	Muschelkalk_top	Muschelkalk_basis	Zout D_top	Zout D_basis	Anhydriet_top	Anhydriet_basis	Zout C_top	Zout C_basis	Zout B_top	Zout B_basis	Zout A_top	Zout A_basis
130	251966,3	472300,4	23,5	-26,5	-93	-93	-126,5	-341	-343,5	0	0	-345,1	-369	-371	-374,1	-375,5	-400,3
131	251999,5	472289,2	23,7	-26,3	-92	-92	-128,3	-340,3	-344,3	0	0	-346,3	-369,2	-370,1	-374,3	-375,6	-400,2

Table 1: C130: wells, position and stratigraphy

The first well to develop this cavern was drilled in 1967. The cavern was taken into production in 1967 and production was suspended in 2004. A detailed interpretation of the top of the Main Röt Evaporative Member, in particular the position and thickness of the Anhydrite-E sub-member is shown in Figure 1.

MEMO

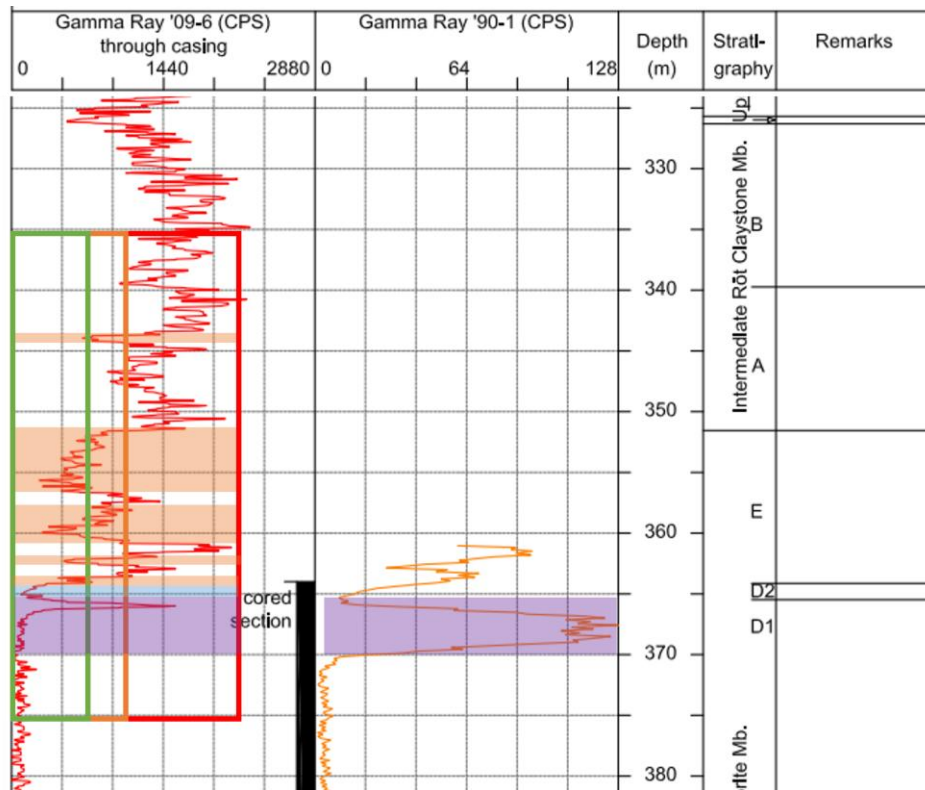


Figure 1: Detailed interpretation of the top of the Main Röt Evaporative Member based on Gamma Ray Logs (Geowulf interpretation). Anhydrite benches are indicated by orange highlights.

The relative position of the actual cavern in the Salt stratigraphy is shown in a side-view of the cavern in Figure 2.

As can be seen in this figure, the actual cavern roof is positioned at the bottom of the Anhydrite-E member. The Claystone D1 has collapsed and the Salt D2 member was partly dissolved. The Hydraulic Radius (HR) for a potential migration contour has been determined as the intersection of the actual cavern with the Top of Salt C – 5 m contour.

MEMO

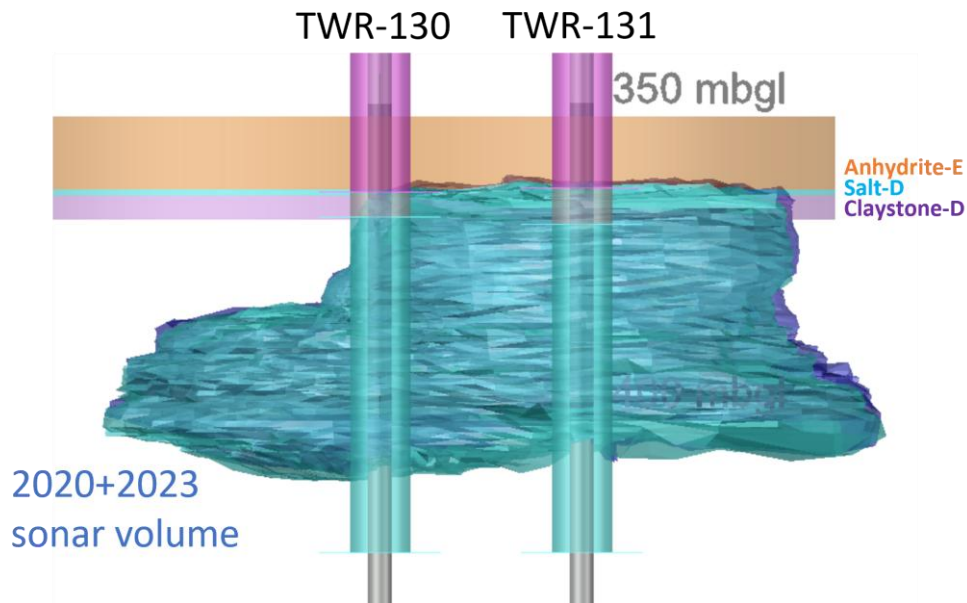


Figure 2: Position of C130 in the stratigraphy.

The cavern roof intersection with Top Salt C – 5 m intersection contour and the corresponding circular contour are shown in Figure 3. This contour has an area of 3500 m², with a circular radius of 33 m and a HR of 16,5 m.

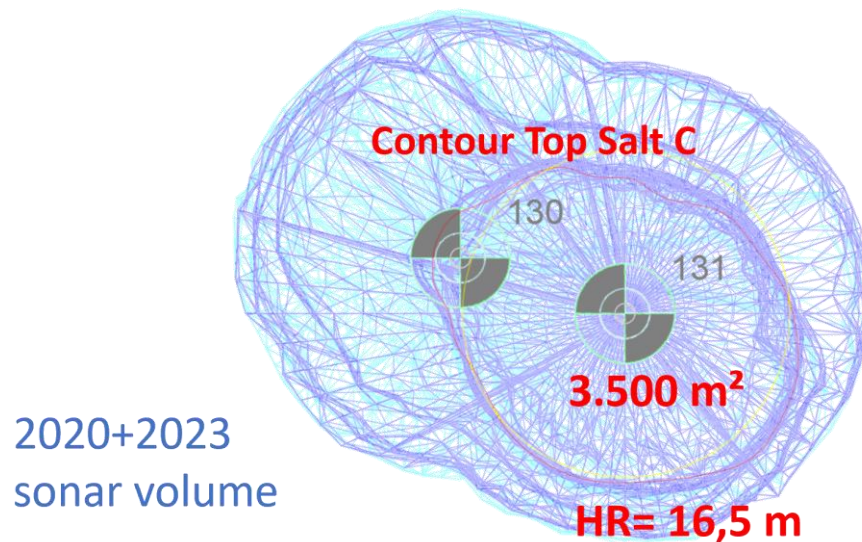


Figure 3: Top view of C130. Intersection of cavern with Top Salt C shown in red, corresponding circular contour in yellow.



MEMO

The latest available sonar images of C130 from 2020 & 2023 were logically (Boolean) combined to estimate the volume of the actual cavern. This volume is subsequently compared to the theoretical cavern volume based on salt production figures. The actual cavern volume is 80% of the volume based on production. This value is within the expected range.

To allow for the selection of conservative input parameters for the prognosis model, the construction of a representative cavern volume is based on 90% of the theoretical production volume, this is a conservative approach considering the actual sonar volume. The resulting representative cavern volume is shown in Figure 4 below.

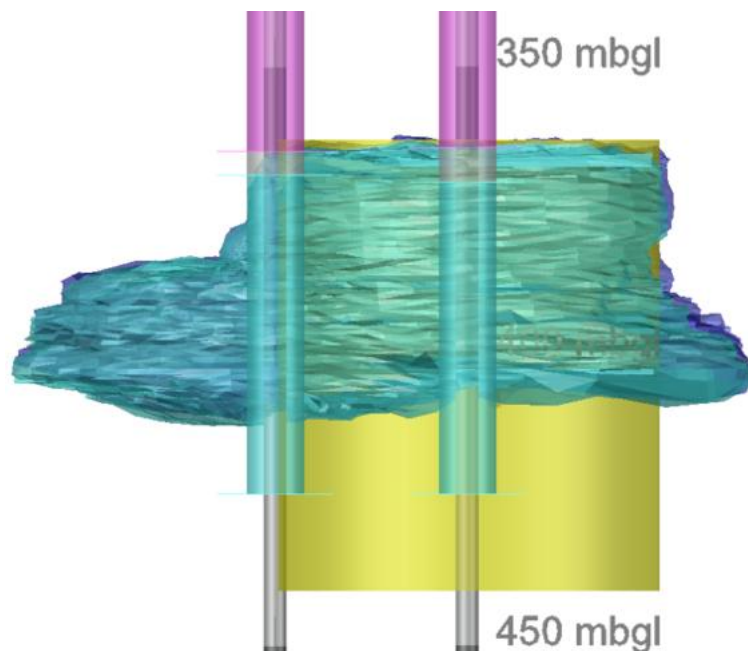


Figure 4: Representative cavern volume (yellow) and actual cavern volume as per sonar images from 2020 & 2023.

MEMO

The remaining input parameters such as the depth of the cavern and the position of the Top Rock (equal to Base Tertiary) as well as the X- and Y-coordinates of the representative volume, are presented in Table 2.

The representative volume is thus a cylinder with 33 m radius and 78 m height with the roof positioned at 363 m below ground level (mbgl). The centre of the representative volume is positioned at well TWR-131.

No backfill has been applied in this cavern to date.

Table 2: C130 – Selected input parameters for the subsidence prognosis model (BJP method).

Cavern	130
Relevant borehole	131
X coordinate	251999,5
Y coordinate	472289,2
Z coordinate GL (mNAP)	23,7
Depth of top rock [mbGL]	115,7
Depth of top salt [mbGL]	370,0
Base of actual cavern [mNAP]	-417,0
Base of actual cavern [mbGL]	440,7
Base of initial cavern [mbGL]	423,9
Top of actual cavern [mbGL]	362,7
Height of cavern (m)	78,0
X coordinate migration centre	251999,5
Y coordinate migration centre	472289,2
Volume fitting	
Maximum BPB Prod.(t)	525153
Cavern vol based on BPB (m³)	295072
Actual volume (recon./sonar)(m³)	237523
Part of BPB prod. Vol. not acc. (m³)	57549
Part of BPB prod. Vol. not acc. (%)	20%
Cavern geometry conversion	
Migration column Surface area (m²)	3500,0
Constructed cavern radius [m]	33,0
Hydraulic Radius constructed cav. [m]	16,5
Const. cavern height (cylindrical) [m]	78,0
Const. cavern height (conical) [m]	0,0
Constructed volume (cylindrical) [m³]	266853
Constructed volume (conical) [m³]	0
Constructed volume total [m³]	266853
Part of BPB prod. Vol. not acc. (m³)	28219
Part of BPB prod. Vol. not acc. (%)	10%
Height correction backfill insitu [m]	
Backfill insitu unconsolidated (m³)	
Backfill consolidation (%)	

2. Results subsidence prognosis

The selected input parameters have been processed by the Bekendam-Jakob-Pinkse (BJP) algorithm developed in 2023/2024 as part of the "Update TWR Subsidence Prognosis" study.

The results of the subsidence prognosis for C130 are summarised in Table 3.

Table 3: Summary of subsidence prognosis results (l) and dimensions of the potential migration (r)

	130		130
max. subsidence stage 2 [m]	0,448	dTcavfinal [mbGL]	-27,3
max. subsidence stage 3 [m]	0	dTcav1m [mbGL]	-22,3
max. subsidence stage 2+3 [m]	0,448	dTcavcyl [mbGL]	-27,3
max. subsidence stage 4 [m]	28,6	dTR [mbGL]	115,7
max. subsidence stage 5 [m]	2,861	dcrit [mbGL]	124,2
max. subsidence stage 4+5 [m]	31,461	dTcavact [mbGL]	362,7
max. subsidence stage 2-5 [m]	31,909	dBcavact [mbGL]	440,7
stage type	stage 4 sin	dBcavini [mbGL]	423,8
radius of influence stage 2 (cyl) [m]	318	HcavTR [m]	28,6
radius of influence stage 2 (cone) [m]	124	HcavTR (Bekendam) [m]	50,8
radius of influence stage 3 [m]	124	Hcavcrit [m]	30,3
radius of influence stage 4+5 [m]	116	Hcav40 (Bekendam) [m]	55,2
radius of influence stage 4 trough [m]	-	Rcavfinal [m]	33
max. tilt stage 2-5 [mm/m]	441,724	RcavTR [m]	33
max. convex curvature stage 2-5 [$10^{-3}/m$]	11,805	Rcavcrit [m]	33
max. concave curvature stage 2-5 [$10^{-3}/m$]	-22,5	Rcavact [m]	33
max. extensional strain stage 2-5 [mm/m]	136,045	VcavTR [m^3]	97846
max. compressive strain stage 2-5 [mm/m]	-262,42	Vcavcrit [m^3]	103638
max. convex relative rotation stage 2-5 (50 m build. len.) [10^{-3}]	299,593	Vcavcyl [m^3]	266853
max. concave relative rotation stage 2-5 (50 m build. len.) [10^{-3}]	-597,407	Vcavcone [m^3]	0
max. convex relative rotation stage 2-5 (10 m build. len.) [10^{-3}]	59,061	Vcav [m^3]	266853
max. concave relative rotation stage 2-5 (10 m build. len.) [10^{-3}]	-112,739	alpha [deg]	0
fill (no stage 4+5) [%]	39	beta [deg]	0
fill (no stage 4+5) [m^3]	103639	Hmigcyl [m]	390
fill (no stage 3, with safety factor) [m^3]	109431	Hmigcone [m]	0

Table 3 shows that for C130, in case of migration, stage 4 sinkhole subsidence can occur based on the selected input parameters. A graphical representation of the potential migration column as predicted by the BJP algorithm is shown in Figure 5 indicating the actual roof depth, the final roof depth and the critical roof depth to prevent stage 4 sinkhole subsidence.

MEMO

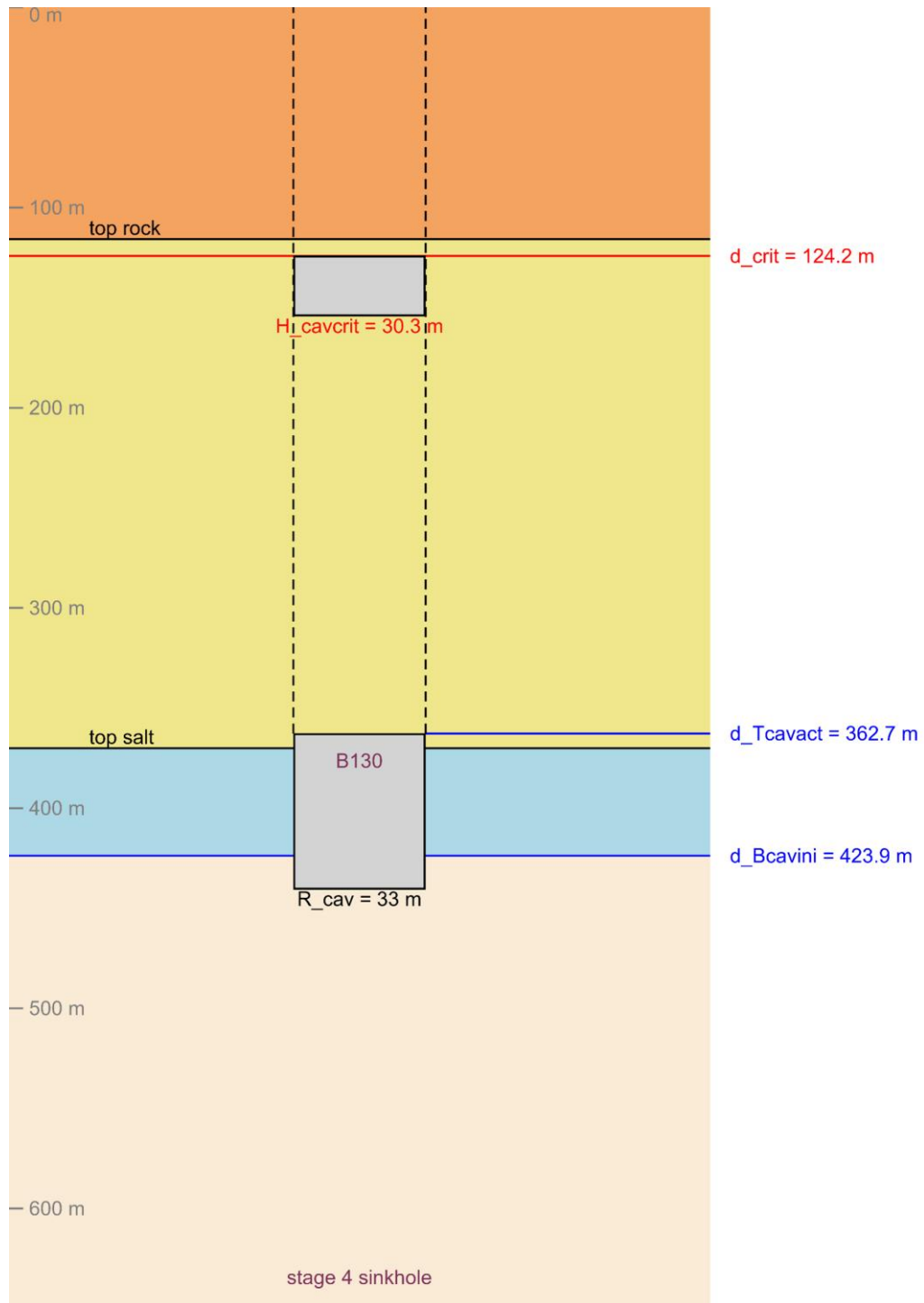


Figure 5: C130: Potential migration column based on selected input parameters

The subsidence resulting from the potential migration shown in Figure 5 is presented in Figure 6. Maximum subsidence values for each subsidence stage are included in the table above the contour plot.

max. subsidence stage 2+3 [m]	0,448
max. subsidence stage 4 [m]	28,6
max. subsidence stage 5 [m]	2,861
max. subsidence stage 4+5 [m]	31,461
max. subsidence stage 2-5 [m]	31,909
stage type	stage 4 sinkhole

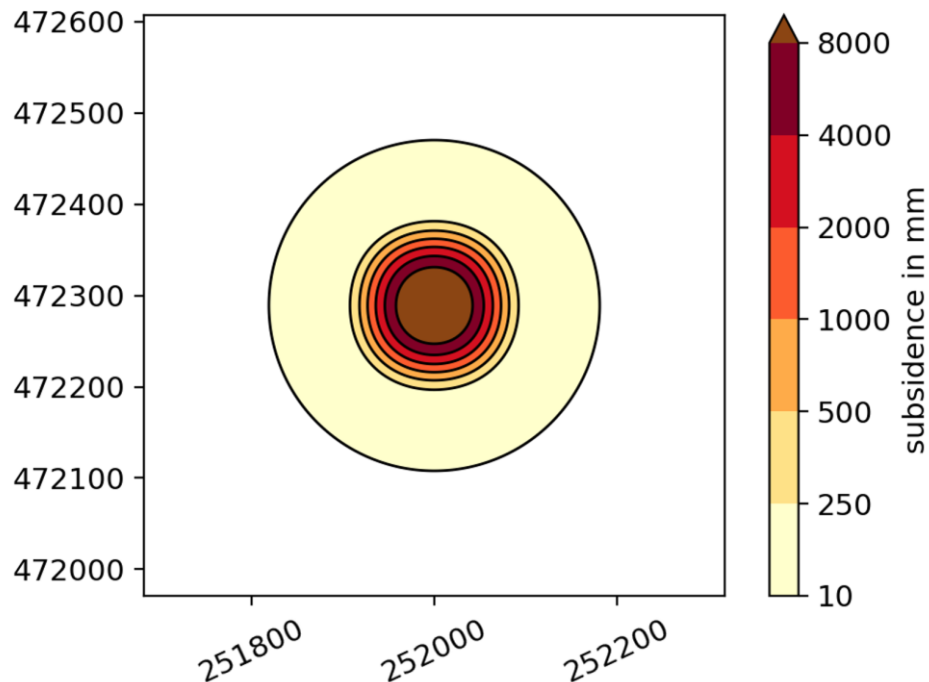


Figure 6: C130: Maximum subsidence contours when potential migration occurs.

Several derivatives of the maximum subsidence shown in Figure 6 have also been produced by the script, namely tilt, curvature, strain and relative rotation. The contours of these derivatives of the maximum subsidence in case of migration of C130 are presented in Figure 7.

MEMO

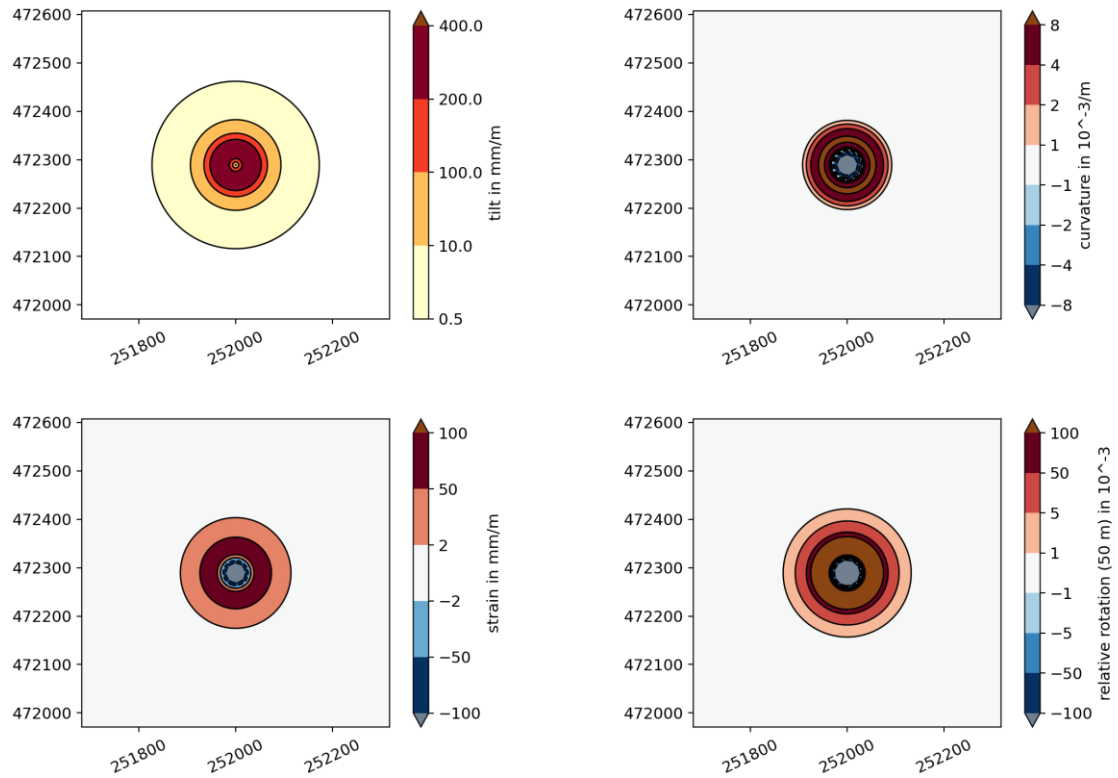


Figure 7: C130: Maximum tilt, curvature, strain and relative rotation when cavern migration occurs.

3. Likelihood of migration

The likelihood of migration has been assessed based on four criteria: hydraulic radius, Anhydrite-E exposure, water exposure of the Anhydrite-E and the presence of faults nearby. The summary of this assessment for C130 is presented in Table 4.

Table 4: C130: Likelihood of migration assessment – Score = 6/8

Cavern	July '24 Risk Matrix	BIP-Output (unmitigated)	Migrated?	Backfilled?	Salt C 5m Safety Roof intact?	Hydraulic Radius (m)	Score	Anh.-E exposed?	Score	Water exposure Anh.-E?	Score	Blanket used?	Faults nearby?	Score	Likelihood Score
130	S4F4	Stage 4 - sinkhole	No	No	No	16,5	3	Yes	2	Blanket	1	Yes	No	0	6

As can be seen from Table 4, the likelihood of migration score equals six (6) of a maximum score of eight (8) meaning that the likelihood of migration for this cavern is probable based on the studied cases of cavern migration in the TWR brinefield.

4. Mitigative measures: backfilling

As the subsidence prognosis based on the BJP method shows that stage 4 sinkhole subsidence can potentially develop when the cavern would migrate, mitigative action, i.e. backfilling, is recommended. The BJP method calculates the minimal volume of backfill required to avoid the formation of Stage 3, Stage 4 and Stage 5 subsidence. The results table that is produced by the script provides two volumes:

- Required "effective" backfill volume to avoid Stage 4 and 5 subsidence
- Required "effective" backfill volume to avoid Stage 3, 4 and 5 subsidence with the application of a Safety Factor of 2 with regards to the minimal beam thickness to avoid deflection of the roof beam resulting in Stage 3 subsidence. This volume is used for the preparation of a backfill recommendation as a conservative approach.

The stated "effective" backfill volume needs to be compensated for the expected 30% consolidation under the load of a migration column as well as for the deduction of a 2 m thick layer of backfill to which no bearing capacity can be attributed. Both of these values can be considered conservative as the following applies:

1. The 30% consolidation value due to the loading of backfill with bulked overburden is the maximum value found during the validation of the BJP-Algorithm using the well-documented cavern migration cases. This maximum value is applied regardless of the height of migration. In reality, the consolidation of the backfill by loading with bulked overburden is a gradual process whereby the consolidation increases with migration height. When migration is limited by backfill, the full migration column does not develop thereby also limiting the consolidation of the backfill by loading with bulked overburden.
2. The 2 m value for the layer thickness of backfill to which no bearing capacity can be attributed has been determined by applying a "point"-load onto the actual backfill in the cavern, i.e. by pushing a drilling rod into the top of the backfill mount (maximum penetration 1,5 m during field testing). This point-load is not representative of the typical load applied by the bulked overburden as this comprises a more spread-out loading of the backfill top surface. The actual layer thickness of backfill to which no bearing capacity can be attributed is therefore very likely (much) thinner.

The volume of backfill required to avoid Stage 3 and higher subsidence, can be practically validated by before-and-after sonar measurements, taking a suitable period for 15% self-weight consolidation (SWC) into account.

Please note that as the cavern roof is considered as a plate spanning the cavern, some deflection of the roof beam will always be present in the calculation. Therefore "no Stage 3 subsidence" means Stage 3 subsidence at the deepest point of the subsidence bowl is negligible compared to the Stage 2 subsidence in decimetre range.

MEMO

The minimal required volume of insitu, self-weight-consolidated, backfill, and the resulting maximum subsidence when applying this volume of backfill in C130 are:

Minimal fill (no stage 3, w. SF + 30% + 2m compens. + 15% SWC.) [m³]	195.417
Max. subsidence stage 2-5 for minimal backfill scenario [m]	0,314

The potential migration column and subsidence contours for the minimal backfill scenario are shown in Figure 8.

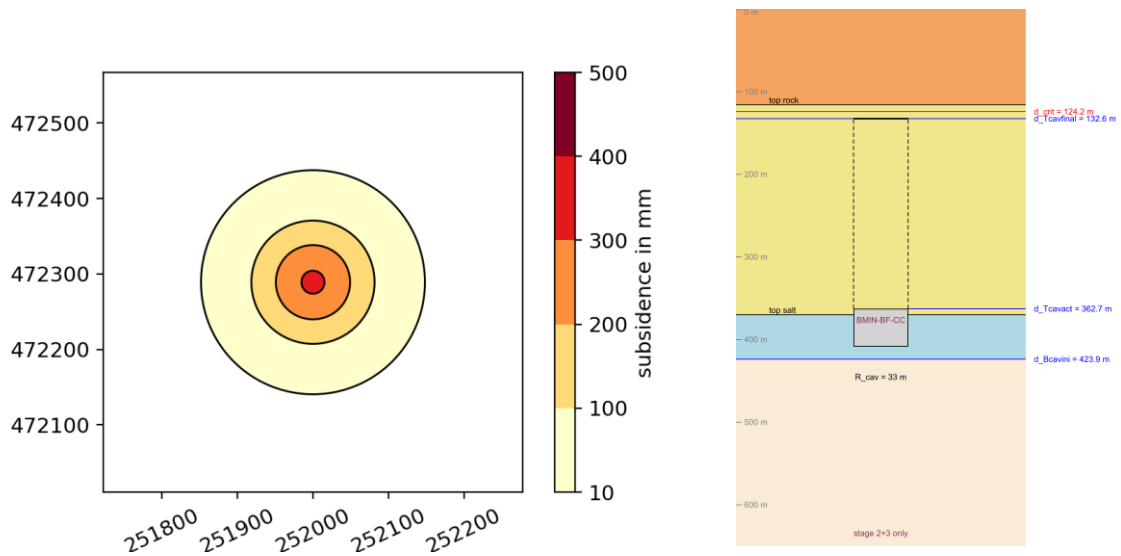


Figure 8: Migration column and Subsidence contours after application of minimal backfill volume.

The practically maximum attainable backfilling grade of a cavern is approximately 80% after self-weight consolidation has taken place, i.e. 80% of the actual cavern volume is visibly (sonar) backfilled.

The “80% filling grade” volume of insitu, self-weight consolidated, backfill and the resulting maximum subsidence when applying this volume of backfill in C130 is:

Maximum fill (80% of Vact + 15%SWC.) [m³]	251.156
Max. subsidence stage 2-5 for maximum backfill scenario [m]	0,209

The potential migration column and subsidence contours for the 80% backfill scenario are shown in Figure 9.

MEMO

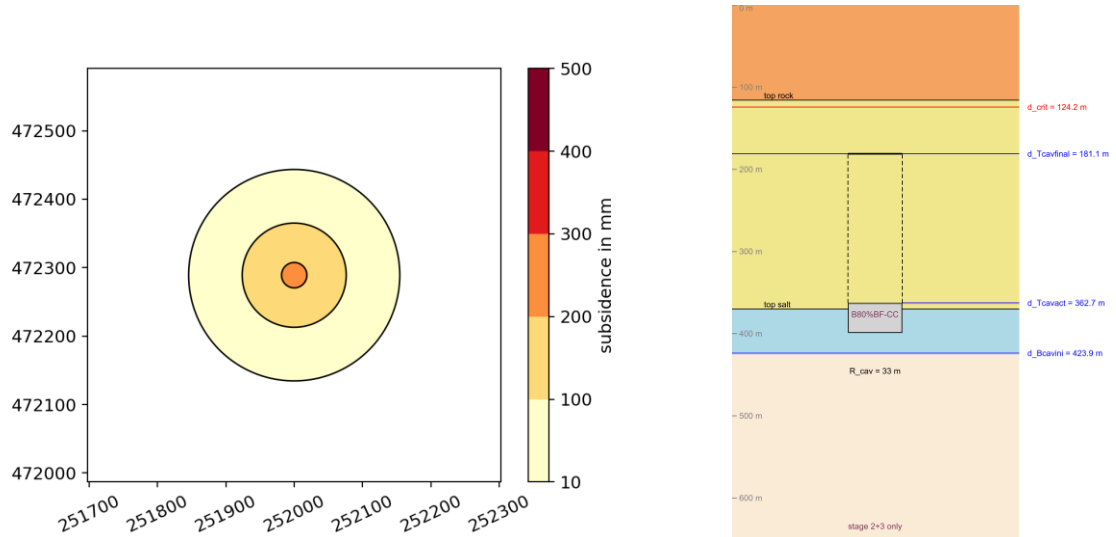


Figure 9: Migration column and Subsidence contours after application of maximum practically attainable backfill volume (80%).

Table 5 presents a summarizing overview of all discussed backfill and slurry volumes for the minimal and 80% backfilling scenarios.

Table 5: Backfill and slurry volumes for minimal and 80% scenarios

Cavern	130
Relevant well - BJP-run	130
Migration likelihood	6
Minimal Backfill Scenario (no Stage 3 subsidence w. SF=2)	
Effective backfill volume required [m ³]	109.431
2m thickness non-load bearing backfill [m ³]	6.842
Effective unconsolidated backfill volume required (30% cons. + 2m comps.)	166.105
Total backfill volume incl. 15% SWC - Minimal backfill scenario [m ³]	195.417
Total slurry volume for Minimal backfill scenario @ S/B = 5:1 [m ³]	977.087
Medium backfill scenario (50% filling grade)	
Effective backfill volume required [m ³]	
Total backfill volume incl. 15% SWC - Medium backfill scenario [m ³]	-
Total slurry volume for Medium backfill scenario @ S/B = 5:1 [m ³]	-
Maximum backfill scenario (80% filling grade)	
Effective backfill volume required [m ³]	213.482
Total backfill volume incl. 15% SWC - Maximum backfill scenario [m ³]	251.156
Total slurry volume for Maximum backfill scenario @ S/B = 5:1 [m ³]	1.255.779
Δ Slurry volume (Maximum - Minimal/Medium) [m³]	
	278.692



MEMO

5. Sensitivity of results

To illustrate the sensitivity of the results of the subsidence predictions discussed prior, the just presented 80% backfilling scenario, considered the "Conservative Case" (CC), is compared to a Realistic Conservative Case (RCC), a Realistic Optimistic Case (ROC) and an Optimistic Case (OC), all with 80% backfilling applied.

The parameters for these scenarios have been selected as follows:

80% Backfilling CC:	All input parameters as described prior.
80% Backfilling RCC:	A 1 m non-load-bearing layer thickness instead of 2 m as based on a spread-out loading of the backfill with bulked overburden rather than point-loading.
80% Backfilling ROC:	A 1 m non-load-bearing layer thickness and 25% of consolidation under load of bulked overburden instead of 30% as the migration height is limited by the backfill.
80% Backfilling OC:	A 1 m non-load-bearing layer thickness and 25% of consolidation and the actual sonar volume used as the representative volume instead of 10% extra volume as in the CC.

Figure 10 presents a comparison of the subsidence prognosis results for these scenarios and the Minimal backfill scenario shown in Figure 8. For each of the depicted scenarios, the subsidence contours and maximum subsidence in metres, as well as the relative rotation contours and maximum concave and convex rotation in ‰ are shown.

As can be seen from Figure 10, the gradual reduction of conservatism decreases the subsidence bowl and maximum relative rotation with each step.

The first step from the Conservative Case to the Realistic Conservative Case, reducing the layer thickness of the non-load bearing backfill, results in the smallest percentual reduction in maximum subsidence. The following step, reducing the consolidation of backfill from 30% to 25%, has a larger impact on the results. The final step in which the 10% additional volume over the sonar volume is not applied results in the largest reduction of subsidence, in line with the relatively large volume reduction of the cavern by adapting this parameter.

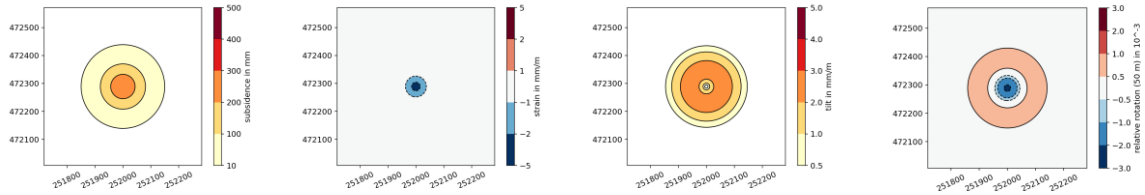
**Subsidence
Stage 2-5
[m]**

**Strain
Stage 2-5
[m]**

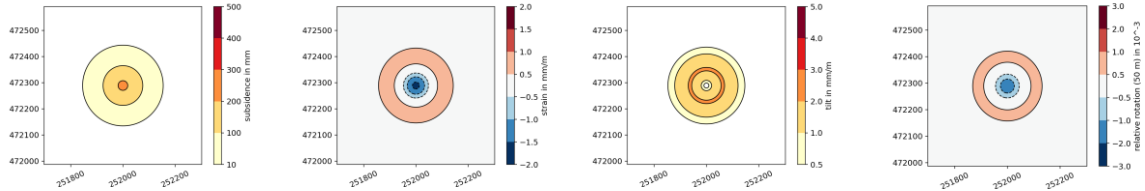
**Tilt
Stage 2-5
[m]**

**Relative rotation
Stage 2-5
(50 m BL) [%]**

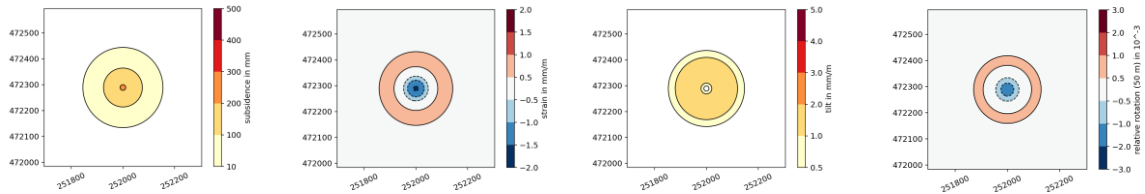
Minimal backfill scenario – Conservative Case (CC)



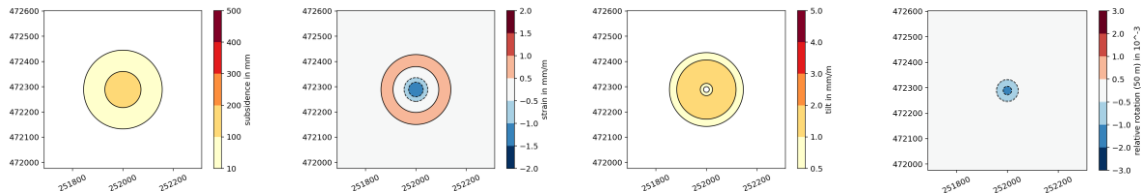
80 % backfill scenario – Conservative Case (CC)



80% backfill scenario – Realistic Conservative Case (RCC)



80% backfill scenario – Realistic Optimistic Case (ROC)



80% backfill scenario – Optimistic Case (OC)

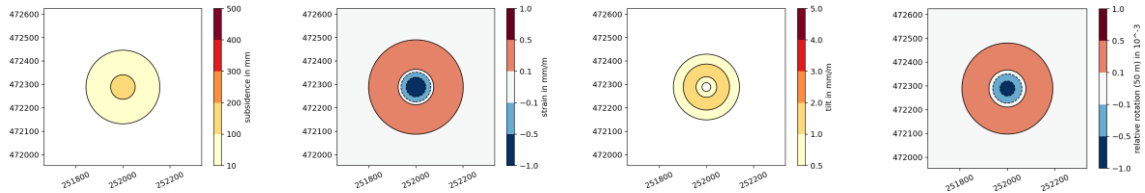


Figure 10: Sensitivity scenarios Minimal backfill CC, 80% backfill CC, RCC, ROC and OC. (Relative rotation is shown for 50 m Building Length (BL))

MEMO

A comparison of the maximum subsidence values and their derivatives for all presented scenarios is shown in Table 6 below.

Table 6: Comparison of No backfill, Minimal backfill CC, 80% backfill CC, RCC, ROC and OC

	NBF	MIN-BF-CC	80%BF-CC	80%BF-RCC	80%BF-ROC	80%BF-OC
max. subsidence stage 2 [m]	0,448	0,264	0,208	0,203	0,185	0,133
max. subsidence stage 3 [m]	0	0,05	0,001	0	0	0
max. subsidence stage 2+3 [m]	0,448	0,314	0,209	0,203	0,185	0,133
max. subsidence stage 4 [m]	28,6	0	0	0	0	0
max. subsidence stage 5 [m]	2,861	0	0	0	0	0
max. subsidence stage 4+5 [m]	31,461	0	0	0	0	0
max. subsidence stage 2-5 [m]	31,909	0,314	0,209	0,203	0,185	0,133
stage type	stage 4 sinkhole	stage 2+3 only	stage 2+3 only	stage 2+3 only	stage 2+3 only	stage 2+3 only
max. tilt stage 2-5 [mm/m]	441,724	3,459	2,023	1,951	1,735	1,171
max. convex curvature stage 2-5 [10 ⁻³ /m]	11,805	0,04	0,024	0,023	0,02	0,012
max. concave curvature stage 2-5 [10 ⁻³ /m]	-22,5	-0,125	-0,053	-0,051	-0,044	-0,028
max. extensional strain stage 2-5 [mm/m]	136,045	1,017	0,717	0,693	0,618	0,419
max. compressive strain stage 2-5 [mm/m]	-262,42	-2,794	-1,607	-1,549	-1,38	-0,936
max. convex relative rotation stage 2-5 (50 m build. len.) [10 ⁻³]	299,593	0,988	0,593	0,568	0,494	0,312
max. concave relative rotation stage 2-5 (50 m build. len.) [10 ⁻³]	-597,407	-3,124	-1,331	-1,272	-1,104	-0,698
max. convex relative rotation stage 2-5 (10 m build. len.) [10 ⁻³]	59,061	0,198	0,119	0,114	0,099	0,062
max. concave relative rotation stage 2-5 (10 m build. len.) [10 ⁻³]	-112,739	-0,625	-0,266	-0,254	-0,221	-0,14

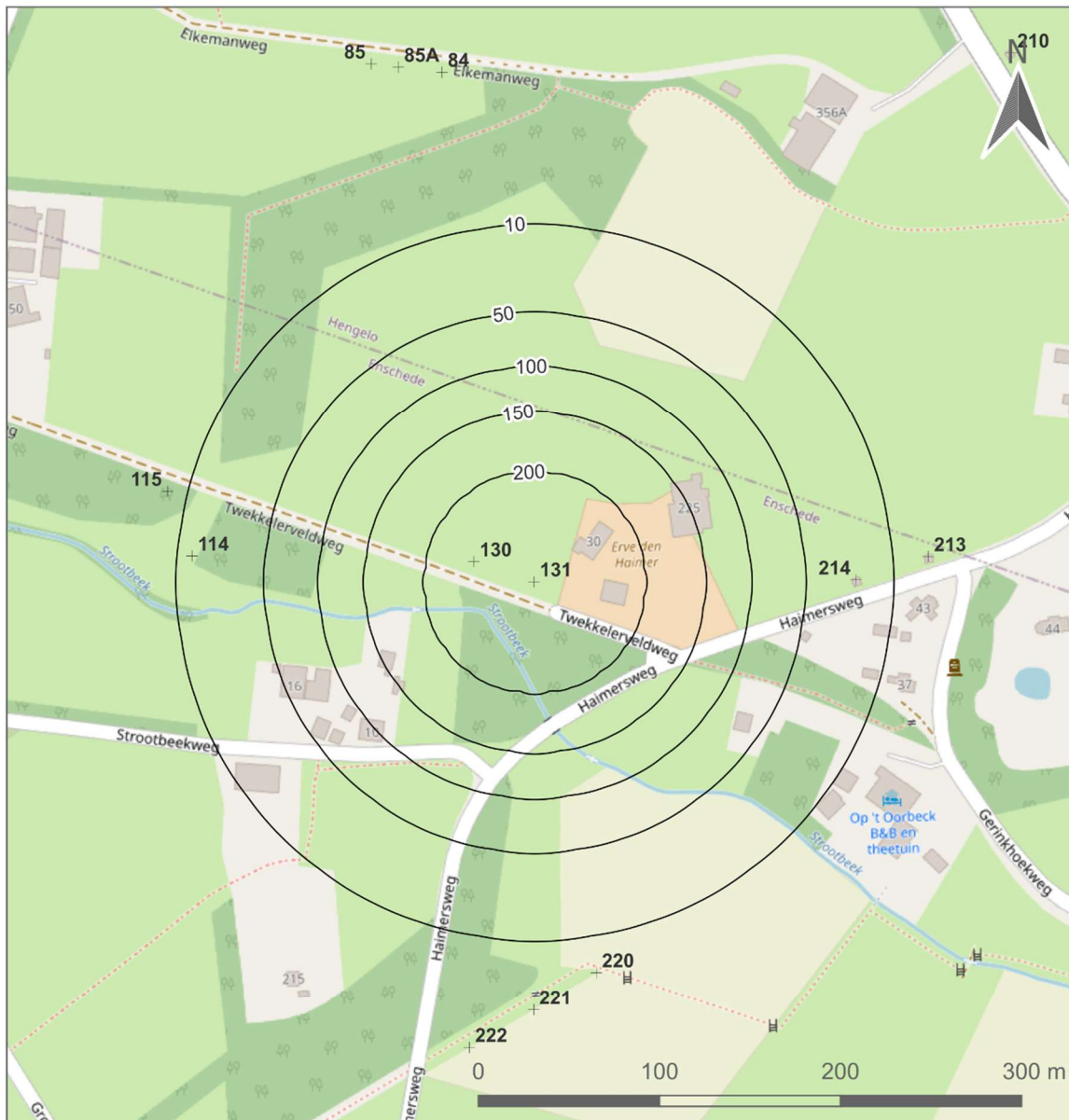
It can be concluded that the parameters used by the BJP-Algorithm provide a sufficiently conservative result that the outcome can be considered the Conservative Case. Application of further safety factors on the required backfill volume is therefore not necessary from a purely numerical perspective.

The choice of which backfill scenario to execute, i.e. the minimal scenario or the 80% scenario, will need to be made based on an impact analysis considering the current use of the ground surface within the predicted subsidence contours. As such this choice is left to Nobian.

Tobias Pinkse M.Sc.

REinvent Solutions BV, The Hague, 9 September 2025

Bijlage 2: Prognose bodemdaling bij 80% vulling van caverne 130



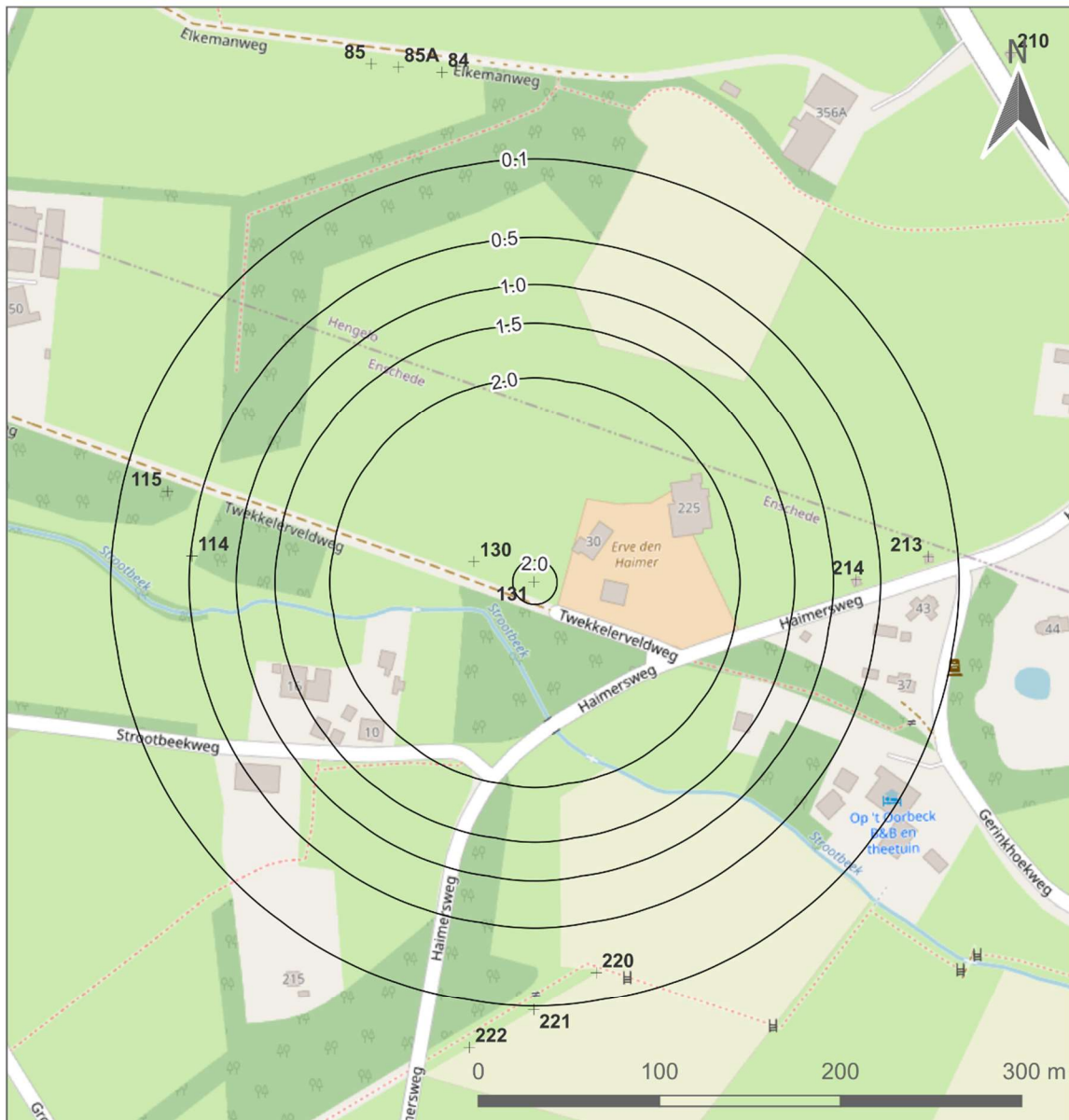
Bodemdaling (mm)

Auteur: Brinefield Technology

Datum: 01/12/2025

Achtergrond: Map tiles by CartoDB, under CC BY 3.0. Data by OpenStreetMap, under ODbL.

Bij maximale migratie na 80% vulling (maximale praktisch haalbare vulgraad) van de caverne, waarbij de onzekerheid met betrekking tot schuine migratie is inbegrepen.



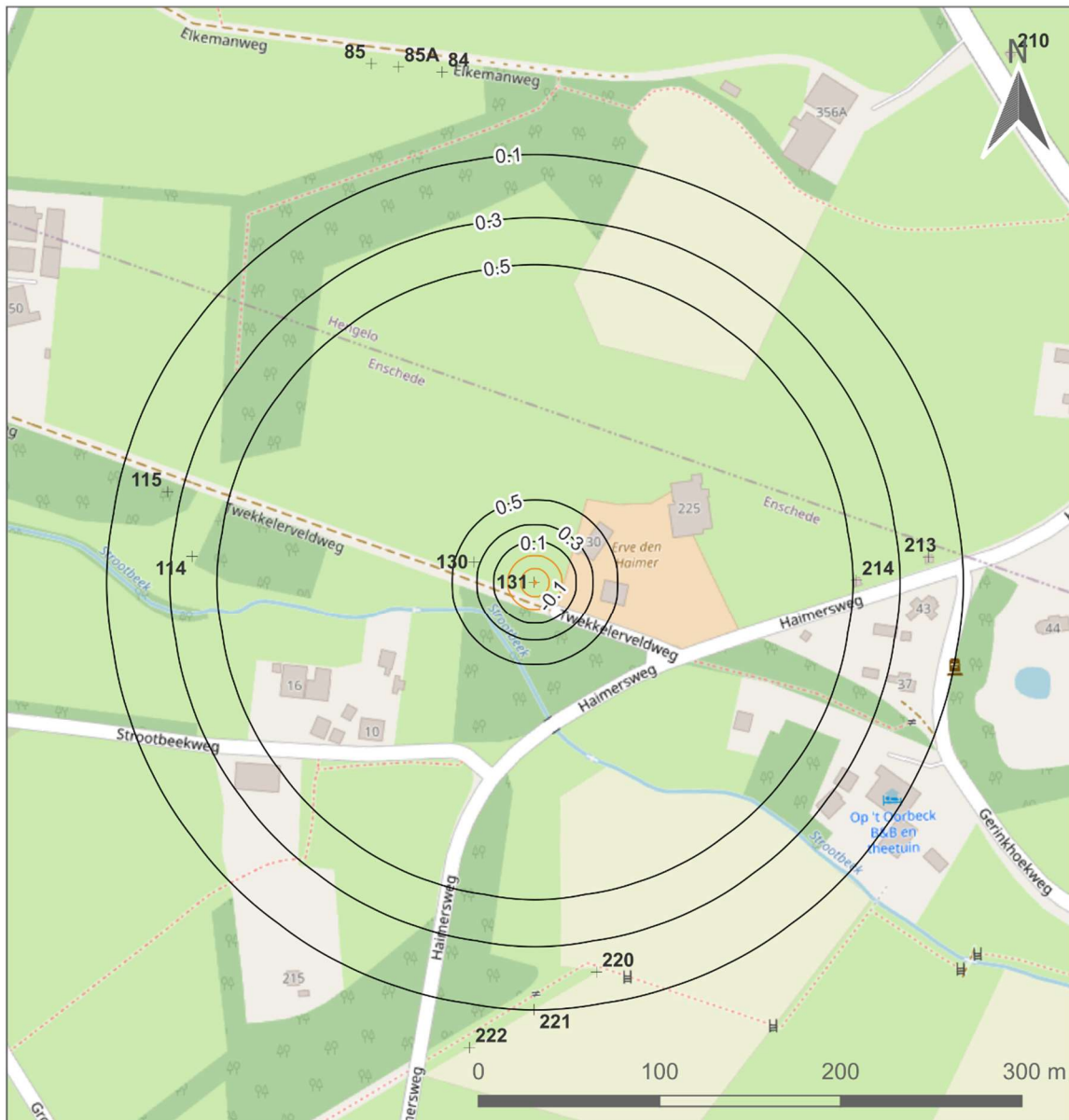
Scheefstelling (mm/m)

Auteur: Brinefield Technology

Datum: 01/12/2025

Achtergrond: Map tiles by CartoDB, under CC BY 3.0. Data by OpenStreetMap, under ODbL.

Bij maximale migratie na 80% vulling (maximale praktisch haalbare vulgraad) van de cave, waarbij de onzekerheid met betrekking tot schuine migratie is inbegrepen.



Relatieve rotatie (gebouwlengte 50 m)
(10^{-3})

Auteur: Brinefield Technology

Datum: 01/12/2025

Achtergrond: Map tiles by CartoDB, under CC BY 3.0. Data by OpenStreetMap, under ODbL.

Bij maximale migratie na 80% vulling (maximale praktisch haalbare vulgraad) van de caverne, waarbij de onzekerheid met betrekking tot schuine migratie is inbegrepen.