

Hengelo Uitloogtechniek

7^{de} actualisering (2012)

Distributie

Site manager Hengelo	1x
Boor- & Pekelwinningsbedrijf	3x
Mining Technology Department	2x
Archief MTD	1x

Versiebeheer

1 st versie	Verslag 'Gestuurde Uitloging'	mei 1997
2 ^{de} versie	Hengelo Uitloogtechniek	november 2000
3 ^{de} versie	Hengelo Uitloogtechniek	februari 2002
4 ^{de} versie	Hengelo Uitloogtechniek, 4 ^{de} , herziene versie	januari 2003
5 ^{de} versie	Hengelo Uitloogtechniek, 5 ^{de} versie (2008)	juli 2008
6 ^{de} versie	Hengelo Uitloogtechniek, 6 ^{de} versie (2011)	juni 2011
7 ^{de} versie	Hengelo Uitloogtechniek, 7 ^{de} versie (2012)	augustus 2012

Contents

Voorwoord	3
1 Basisprincipes	4
1.1 Inleiding	4
1.2 Uitgangspunten	4
1.2.1 Basisprincipes van het uitloggen	4
1.2.2 Uitloogsimulatie	6
1.2.3 Good Salt Mining Practice	7
1.3 Voorbereiding	8
1.3.1 Wet- en regelgeving, rapportages en andere overeenkomsten	8
1.3.2 Planning en Basic Engineering Pakket	9
1.4 Bedrijfsvoering	10
1.4.1 Overleg	10
1.4.2 Rapportages	10
1.4.3 Het inmeten van de conductorflens	11
1.4.4 Het afdiepen van het boorgat	11
1.4.5 Hoogte- en dieptebepalingen	11
1.4.6 Het gebruik van binnenbuizen	11
1.4.7 Het meten van de productie	11
1.4.8 Bottom- en topinjectie	12
1.4.9 De invloed van de laaghelling op de ontwikkeling van de holruimte	12
1.4.10 Berekening zoutreserve van een caveerne	12
1.4.11 Bepaling zoutgehalte ruwe pek	13
2 Het uitloggen van enkelvoudige cavernes	14
2.1 Algemeen	14
2.2 Sumpfase	14
2.2.1 Buizenplan	15
2.2.2 Naverzadiging	15
2.2.3 Opstarten	15
2.2.4 Blanket olie	16
2.3 1 ^{ste} hoofduitloofase	17
2.3.1 Wijziging buizenplan	17
2.3.2 Productie	17
2.3.3 Blanket olie	17
2.4 2 ^{de} hoofduitloofase	17
2.4.1 Wijziging buizenplan	17
2.4.2 Productie	18
2.4.3 Blanket olie	18
2.5 3 ^{de} hoofduitloofase	18
2.5.1 Algemeen	18

2.5.2	Winning van zout A	20
2.5.2.1	Algemeen	20
2.5.2.2	Wijziging buizenplan	20
2.5.2.3	Productie	20
2.5.2.4	Blanket olie	20
2.5.3	Winning van zout C wanneer de steenbanken A/B en B/C vallen	21
2.5.3.1	Wijziging buizenplan	21
2.5.3.2	Productie	21
2.5.3.3	Blanket olie	21
2.5.4	Einde productie	21
	Referenties	22
	Bijlagen	23
	Bijlage 1 – Berekening van inherent veilige hoogte van een caverne	24
	Bijlage 2 – Standaardblad “Rapportage sonarmeting”	28
	Bijlage 3 – Berekening winbare zoutreserve van een caverne	29
	Bijlage 4 – Standaard buizenplan in de sumpfase	32
	Bijlage 5 – Gesimuleerde holruimteontwikkeling van de sumpfase en de 1 ^{ste} , 2 ^{de} en 3 ^{de} hoofduitloofase	33
	Bijlage 6 – Standaard buizenplan in de 1 ^{ste} hoofduitloofase	34
	Bijlage 7 – Relatie ontwikkeling flow en verzadiging in de 1 ^{ste} en 2 ^{de} hoofduitloofase	35
	Bijlage 8 – Standaard buizenplan in de 2 ^{de} hoofduitloofase	36
	Bijlage 9 – Standaard buizenplan in de 3 ^{de} hoofduitloofase bij winning van zout A	37
	Bijlage 10 – Standaard buizenplan in de 3 ^{de} hoofduitloofase wanneer de steenbanken A/B en B/C vallen	38
	Bijlage 11 – Overzicht afmetingen holruimte en afhanging buizen in de sumpfase en de 1 ^{ste} , 2 ^{de} en 3 ^{de} hoofduitloofase	39
	Bijlage 12 – Overzicht flow en tonnage in de sumpfase en de 1 ^{ste} , 2 ^{de} en 3 ^{de} hoofduitloofase	40

Voorwoord

De inhoud van de 7^{de} versie van de Hengelo Uitloog Techniek (hierna HUT) wijkt op onderdelen af van de voorgaande (6^{de}) versie uit 2011.

Het hoofdstuk over het uitloggen van enkelvoudige cavernes is uitgebreid met een beschrijving van de 3^{de} hoofduitloog- of afwerkingfase, die tevens het bereiken van het einde van het productieve leven van de caverne markeert. Hiermee is de gehele ontwikkeling van enkelvoudige cavernes beschreven.

Het hoofdstuk over de invloed van de laaghelling is aangevuld met een beschrijving van hoe bij de planning rekening gehouden wordt met de invloed van de laaghelling op de ontwikkeling van de holruimte.

Het hoofdstuk over cavernes met meerdere boorputten is komen te vervallen omdat het aantal cavernes van dit type sterk afneemt en over 4 – 5 jaar uitgefaseerd zal zijn. In voorkomende gevallen wordt naar de vorige, 6^{de} actualisering van de HUT (2011) verwezen.

In bijlage 2 – Berekening winbare zoutreserve van een caverne – is een beschrijving opgenomen van het proces van de (her)berekening van de steenzoutreserve. Dit is belangrijk omdat deze (her)berekende reserve input is voor de pekelpductieplanning die ieder jaar geactualiseerd wordt.

Een volgende actualisering van de HUT zal gemaakt worden wanneer daar aanleiding toe is.

1 Basisprincipes

1.1 Inleiding

De ontwikkeling van enkelvoudige cavernes met een diameter van 120 m en één toegangspunt door toepassing van de 'Good Salt Mining Practice' richtlijnen (hierna GSMP) heeft tot een vereenvoudiging van de pekelwinning en de ontwikkeling van cavernes geleid. Het belangrijkste is echter dat hierdoor de ontwikkelingstijd van een holruimte verkort en de flow (stroming) per put verhoogd is.

Bovendien is de kans op het veroorzaken van significante bodemdaling nog verder verkleind. Hetzelfde geldt voor het ruimtebeslag aan het maaiveld waardoor de flexibiliteit bij de planning vergroot is.

Na een algemene beschrijving van de uitgangspunten die van belang zijn bij de ontwikkeling van cavernes wordt in hoofdstuk 2 de techniek van de uitloging behandeld¹. De onderwerpen worden in logische volgorde – de opeenvolging van de verschillende ontwikkelstappen in de tijd - behandeld.

De HUT sluit af met de referenties en de bijlagen waar in de tekst naar verwezen wordt.

1.2 Uitgangspunten

1.2.1 Basisprincipes van het uitlogen

In dit hoofdstuk wordt een model beschreven – de HUT – waardoor we kunnen begrijpen wat we zien bij een sonarmeting, namelijk de ontwikkeling van de uitloging van de holruimte tussen twee opeenvolgende sonarmetingen. Verder kunnen we voorspellen hoe de toekomstige ontwikkeling van een caverne zal zijn en aangeven welke maatregelen genomen moeten worden om dit te realiseren en de caverne volgens plan verder uit te logen.

De regels die het uitlogen van cavernes bepalen zijn de volgende:

- Een caverne waarin water wordt gepompt is qua afmetingen en stroming te vergelijken met een zwembad waarin water uit een tuinslang stroomt. De hoeveelheid water die toegevoegd wordt is, in vergelijking tot de totale hoeveelheid water, heel klein; het zwembad 'merkt' niet dat er water toegevoegd wordt. Het water in het zwembad is in rust. Als gevolg daarvan is de hoeveelheid zout opgelost in water - de concentratie - in een willekeurig horizontaal vlak op iedere plaats in dat vlak gelijk (dezelfde soortelijke massa). Dit betekent concreet dat de zoutconcentratie bij de waterinvoer, de pekelafoer en aan de wand in een willekeurig horizontaal vlak gelijk is;
- In verticale richting - van boven naar beneden - varieert de concentratie van de pekel in het zwembad (= holruimte) als volgt:
 - In het gebied tussen de waterinvoer en het dak van de holruimte is de concentratie overal gelijk. Dit heeft tot gevolg dat het groeien van de holruimte (de oplosnelheid) door oplossing van de wanden – bij cavernes met één put - of van het dak - bij cavernes met meerdere putten - in dit deel van de holruimte ongeacht de grootte (de afstand van de put tot de wand van de holruimte) overal gelijk is;
 - Bij topinjectie neemt in het gebied tussen waterinvoer en pekelafoer de concentratie van boven naar beneden toe. Hoe dieper, hoe hoger de concentratie hoe langzamer de toename van de concentratie (parabolisch verloop) en hoe lager

¹ In de tekst worden de begrippen 'holruimte' en 'caverne' door elkaar gebruikt.

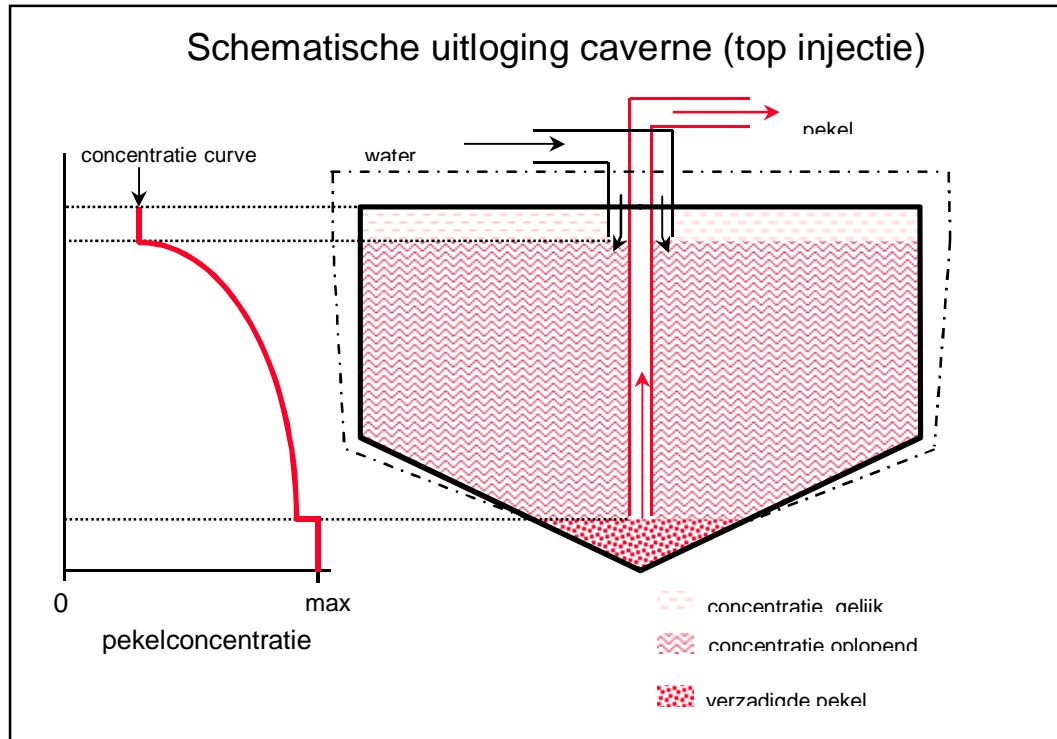
de oplossnelheid.

Bij bottom injectie is geen sprake van een concentratiegradiënt maar blijft de concentratie gelijk;

- Onder het punt waar de pekkel afgevoerd wordt (de schoen van de diepst afgehangen buis) is de concentratie maximaal, de pekkel is verzadigd. Er vindt in dit deel van de caverne geen oplossing van zout (en dus groei van de holruimte door uitloging) plaats;
- Overhellende delen van de caverne worden sneller uitgeloogd doordat de (relatief zware) verzadigde pekkel naar beneden kan 'zakken' waardoor de weg vrijkomt voor minder verzadigde pekkel;
- Liggende delen van de wand worden minder snel uitgeloogd doordat de relatief zware, verzadigde pekkel langzaam langs de wand naar beneden stroomt en er geen onverzadigde pekkel kan toestromen;
- Hetzelfde geldt, in versterkte mate voor de 'vloer' van de holruimte. Bovendien wordt deze afgedekt door onoplosbaar materiaal dat bij het oplossen van het zout uit de gesteentematrix vrijkomt en in de caverne bezinkt. Dat is een extra reden waarom er in de nabijheid van de vloer van de caverne geen zout oplost.

Verder is het belangrijk te bedenken dat de ontwikkeling van een caverne – concentratie en mogelijke verzadigde flow - grotendeels door de (ontwikkeling van de) sump bepaald wordt en dat het dak van een caverne volledig door blanket olie beschermd wordt, waardoor er geen uitloging in verticale richting plaatsvindt.

Een schematisch overzicht van de samenhang tussen vorm van de caverne, de afhangdiepte van de buizen, het verloop van de concentratie en de ontwikkeling van de holruimte is in figuur 1 weergegeven. Tevens is hier het 'topinjectie-effect' (de gradiënt die er voor zorgt dat een caverne verzadigde pekkel produceert) goed zichtbaar.



Figuur 1 – Schematisch overzicht uitloging caveerne (top injectie)

1.2.2 Uitloogsimulatie

Voor de simulatie van de uitloging van cavernes met één put zijn commerciële softwarepakketten beschikbaar. Wij maken gebruik van het pakket WinUbro van het ingenieursbureau Chemkop uit Polen.

De ontwikkeling van een caveerne in de tijd met de verschillende oplosstappen kan met deze software gemodelleerd, grafisch weergegeven en geoptimaliseerd worden. Optimalisatie kan plaatsvinden met betrekking tot productie (flow), concentratie, vorm van de caveerne en hoeveelheid gewonnen steenzout binnen de gesteentemechanische randvoorwaarden (omhullende).

Toch blijkt dat een aantal effecten niet gemodelleerd kan worden. Daar komt bij dat het uitvoeren van een sonarmeting in kleine (lage) holruimtes moeilijk is omdat de sonarstraal niet teruggekaatst en/of wordt verstrooid. Dit heeft vooral gevolgen voor de sumpfase en de daarmee samenhangende (latere) naverzadiging. Omdat de sonar niet alles ziet blijft ervaring met uitloging een belangrijke rol spelen.

Voor het boorterrein in Hengelo is een gestandaardiseerde uitloogmethode ontwikkeld die aan al onze eisen voldoet in termen van productie, concentratie, ontwikkelingstijd, efficiency en gesteentemechanische stabiliteit. Deze methode wordt in de voorliggende HUT beschreven.

In de HUT worden de stappen beschreven die gedaan moeten worden om de pekelpductie te garanderen en de cavernes te ontwikkelen en monitoren als gewenst. Het streven is daarbij voortdurend de kwaliteitscirkel 'plan – do – check - react' te doorlopen om tot een structurele verbetering van de pekelpductie – winning van verzadigde, ruwe pekelpel en uitloging van cavernes – te komen.

1.2.3 Good Salt Mining Practice

Voor de productie van ruwe pekelen en het uitloggen van cavernes worden sinds medio 2005 de GSMP-richtlijnen gehanteerd die onze omgang met cavernes en de invloed op de omgeving op hoofdlijnen beschrijven.

Toepassing van deze richtlijnen zorgt er voor dat de juiste dingen op de juiste manier en op het juiste tijdstip gedaan worden. De focus ligt daarbij op een zo groot mogelijke opbrengst en een zo gering mogelijke invloed op de omgeving (bodemdaling).

Door toepassing van de GSMP-richtlijnen voldoet de winning van pekelen aan de in de Mijnbouwwet 2003 geformuleerde criteria voor doelmatige winning en duurzame ontwikkeling in de winningindustrie. Daardoor wordt een bedrijfsvoering gegarandeerd die, zowel op de korte als de lange termijn, maatschappelijk verantwoord is en waarbij het milieu beschermd wordt (voorzorgsprincipe).

De GSMP houdt het volgende in:

- Er wordt naar gestreefd cavernes in parallelle rijen aan te leggen. De diameter van de cavernes en de dikte van pijlers tussen de rijen en tussen de cavernes onderling in een rij worden bepaald op basis van gesteentemechanische berekeningen. Daarbij wordt uitgegaan van een maximale diameter van de cavernes van 120 m² en wordt rekening gehouden met de situatie aan het maaiveld; in de regel zullen de pijlers daarom breder zijn dan uit stabiliteitsoverwegingen noodzakelijk. De pijlerbreedte – en daarmee de extractiegraad - speelt echter ook een rol bij de beperking van de bodemdaling (zie later);
- Voor de productie van ruwe pekelen – de ontwikkeling van cavernes met een cirkelvormige doorsnede - wordt één put gebruikt. De gehele ontwikkeling (levensduur) van een caveerne wordt vooraf op de computer gemodelleerd. Daarbij worden productie (flow), concentratie, zoutreserve en levensduur berekend. Dit betekent dat de ontwikkeling van een caveerne in een voortdurende herhaling van 'plan – do – check - react' gevolgd en geoptimaliseerd kan worden. Daardoor wordt gegarandeerd dat een caveerne zich op de gewenste wijze ontwikkelt. Verder geldt dat de ruimtelijke inpassing van één boorgat aan het maaiveld eenvoudiger dan van een serie. Daardoor kan een groter deel van de aanwezige zoutreserve ontsloten worden;
- De maximaal toelaatbare hoogte van een holruimte wordt zodanig gekozen dat deze inherent veilig is. Bij de berekening van de inherent veilige hoogte van een caveerne spelen de diepte van de Basis Tertiair (grens geconsolideerde – ongeconsolideerde formaties), de diepte van de zoutformatie (de diepteligging van het dak van een caveerne) en de bulking factor (verhouding los gestort/vast gesteente) een rol. Wanneer het dak van een caveerne ondanks alle voorzorgen instabiel wordt en bezwijkt (migratie van de caveerne) treedt alleen beperkte komvormige bodemdaling aan het maaiveld op, de ontwikkeling van een sinkhole is uitgesloten. De inherent veilige hoogte van een caveerne varieert met de positie van de caveerne in het boorterrein. Voor de effectieve bulking factor wordt een waarde van 1.11 gehanteerd. De berekening van de inherent veilige hoogte is in **bijlage 1** weergegeven;
- Ter controle van de ontwikkeling van de hoogte van de caveerne wordt een 'harde oliespiegel' toegepast. Hierbij wordt de diepteligging van de oliespiegel – en dus van het dak van de holruimte - continue gemeten door middel van een elektronisch Blanket Control System (BCS). De hoogte van een caveerne kan hiermee nauwkeurig gestuurd

² Deze diameter – die ook op de holruimtekaart is aangegeven (groene arcering) - is bindend.

en gecontroleerd worden.

- Het vastleggen van de plaats van de boorgaten en de veldleidingen vindt in overleg met alle belanghebbenden plaats. Belanghebbenden zijn o.m. de provincie Overijssel, de betrokken gemeenten (Enschede en Hengelo), de grondeigenaren (putten en veldleidingen), de beheerders van belangrijke infrastructuur (Gasunie, Rijkswaterstaat), het waterschap Vechtstromen etc.;
- Voor een nieuw boorveld wordt een prognose van de toekomstige bodemdaling opgesteld. Daarbij worden de snelheid van bodemdaling (mm/jaar), de cumulatieve bodemdaling (mm/100 jaar), de rek en trek (mm/m) en de scheefstand (mm/m) berekend.
Voor de toelaatbare bodemdaling bestaan geen wettelijke voorschriften. Uiteindelijk hangt een maximaal toelaatbare bodemdaling af van de effecten van deze bodemdaling op de omgeving. Voor de winning in het gebied Twenthe-Rijn hanteert AkzoNobel een maximale bodemdaling van 50 mm per 100 jaar. Een zakking van deze grootte is praktisch niet meetbaar en levert geen beperkingen en/of belemmeringen voor reguliere stedelijke functies en infrastructuur op. Daarnaast heeft deze bodemdaling ook geen effect op de waterhuishouding van het zelfontwaterende gebied.
De prognoses worden in rapportvorm met kaartjes met isolijnen gepresenteerd. Voor het boorterrein Hengelo is het verband tussen extractiegraad (winningpercentage betrokken op de oppervlakte) en de bodemdalingsnelheid (mm/jaar) vastgelegd. De eis van een bodemdaling maximaal 50 mm per 100 jaar resulteert in een extractiegraad van $\leq 18\%$. Hiermee wordt bij het ontwerp van een uitbreiding van het winningsgebied rekening gehouden (zie hiervoor);
- De potentiële gevolgen van de voorspelde bodemdaling worden door een onafhankelijk, deskundig ingenieursbureau beoordeeld. Daarbij wordt ingegaan op de effecten van de voorspelde bodemdaling op infrastructuur, waterhuishouding en gebouwen.

1.3 Voorbereiding

1.3.1 Wet- en regelgeving, rapportages en andere overeenkomsten

Voor de zoutwinning is de volgende wet- en regelgeving van belang:

- **Mijnbouwwet (2003).**
Het gaat hierbij om zaken als de winningsvergunning, het winningsplan en andere wettelijk voorschreven plannen. De vergunningen worden door de minister van Economische Zaken afgegeven;
- **Wet Algemene Bepalingen Omgeving (WABO).**
Deze wet, waarvoor een "één loket" benadering geldt en waarbij de procedure digitaal (via Internet) wordt afgewikkeld, heeft als doel noodzakelijke vergunningen op het gebied van milieu, ruimtelijke ordening en veiligheid integraal af te wikkelen. De onderliggende procedures zijn in wezen vergelijkbaar met die van de vroegere Wet milieubeheer (inrichtingsvergunning, revisievergunning, melding, wijzigingsprocedure) en de Wet ruimtelijke ordening (bestemmingsplan, aanlegvergunning, ontheffing van de plaatselijke verordening, bouwvergunning). Verder spelen nog de flora- en fauna- en de bodemtoets (archeologisch onderzoek, verdrag van Malta) een rol.

Het bevoegde, coördinerende gezag voor de mijnindustrie is de minister van Economische Zaken;

- **Overeenkomsten met grondeigenaren voor het vestigen van een zakelijk recht voor boorgaten en leidingen.**

In uitzonderingsgevallen kan het noodzakelijk zijn een procedure te starten om een gedoogplicht te laten opleggen in het kader van de Belemmeringenwet privaatrecht. In dat geval maken we gebruik van onze erkenning als bedrijf van openbaar belang (vergelijkbaar met nutsbedrijven);

- **Besluit Algemene Regels Milieu Mijnbouw** van 3 april 2008, Staatsblad 2008 (melding uitvoering werkzaamheden).

Hierin zijn allerlei praktische eisen (bodembescherming, geluidsnormering, transportbewegingen, veiligheidscontouren e.d.) geregeld.

De met genoemde regelgeving verbonden procedures kosten tijd. Om het overzicht te behouden is, vindt regelmatig overleg plaats tussen de verschillende betrokken afdelingen. Er kan niet eerder met de aanleg van leidingen en het afdiepen van het boorgat – het heien van de conductor – begonnen worden dan nadat de noodzakelijke vergunningen verleend zijn.

1.3.2 Planning en Basic Engineering Pakket

Bij de planning van de pekelpductie worden drie planningcycli onderscheiden:

- **XLT-planning.**

Hierbij wordt op hoofdlijnen gekeken naar de periode tussen nu en 2050. Deze planning wordt gebruikt als strategisch sturingsinstrument ('in welk deel van onze winningsvergunning (of daarbuiten) gaan we in de toekomst ons zout winnen en wat zijn daar de kansen en bedreigingen') en wordt met tussenpozen van 5 – 10 jaar geactualiseerd. Deze cyclus is in verband met de HUT niet van belang;

- **LT-planning.**

Hierbij wordt gekeken naar de periode tussen nu en 15 jaar. Deze productieplanning is vraaggestuurd – de fabriek geeft aan hoeveel ruwe pekels zij nodig heeft - en wordt jaarlijks, voorafgaand aan de budgetbespreking geactualiseerd. Daarbij wordt ook met bijzondere omstandigheden – bijv. activiteiten in het kader van ondergrondse opslag – rekening gehouden. Gezien het belang hiervan is deze procedure in IBS vastgelegd. De invoergegevens komen uit de Boorputtenbeheer (BPB) database, tevens worden een aantal aannames gedaan. Per caverne wordt gekeken naar de productie (flow), de resterende zoutreserve en de resterende levensduur. Op niveau van het boorterrein – de som van alle cavernes - wordt gekeken naar het aantal cavernes dat uit bedrijf moet worden genomen omdat ze aan het einde van hun levensduur zijn en naar het aantal nieuwe cavernes (boorgaten) dat nodig is om aan de vraag naar pekels te kunnen voldoen;

- **Budgetbespreking.**

In de budgetbespreking worden de resultaten van de LT-planning vertaald naar uit te voeren werkzaamheden, investeringen e.d.

In dit verband is ook nog het werkplan te noemen dat ieder jaar vóór 1 november voor de daaropvolgende 5 jaar bij de toezichthouder – het Staatstoezicht op de Mijnen - moet worden ingediend en dat een overzicht bevat van de in het komende jaar uit te voeren werkzaamheden (nieuwe boorgaten, afsluiten van putten,

sonarmetingen, reparaties, verkenningsonderzoek (proefboring, seismisch onderzoek) e.d.).

Voor nieuw te maken boorgaten en bijbehorende veldleidingen wordt een z.g. Basic Engineering Package (hierna BEP) gemaakt dat ook in de genoemde 'Nieuwbouw boringen planning' is opgenomen. Dit pakket bevat belangrijke informatie over het boorgat zelf (spud-in coördinaten, diepte, zoutdikte, buizenplan, afhangend e.d.) en over de veldleidingen (traject, aantal, diameter, drukklasse e.d.). Tevens bevat het BEP informatie over de wijze waarop de naverzadiging in de sumpfase geregeld wordt en welke aanpassingen daarvoor gedaan moeten worden.

1.4 Bedrijfsvoering

1.4.1 Overleg

Voor het overzicht over de bedrijfsvoering en de rapportages worden de BPB-database en de elektronische veldboeken gebruikt³.

Voor de sturing van het uitloogproces zijn twee besprekingen – die ook onderdeel van IBS zijn – in het leven geroepen:

- **Pekelproductieoverleg.**
Dit overleg vindt één keer per kwartaal plaats. Op het niveau van de cavernes wordt gesproken over het verschil tussen de voorspelde en de werkelijke productie en wordt getracht de oorzaken daarvan te achterhalen. Het is een belangrijke bespreking waarbij het inzicht in het uitloogproces wordt vergroot en waarmee de cyclus 'plan – do – check - react' wordt doorlopen;
- **Caverneoverleg.**
Dit overleg vindt één maal per week/per twee weken plaats, afhankelijk van de noodzaak. Hier worden, op basis van conceptrapportages van uitgevoerde sonarmetingen, de reparaties aan de putten besproken en bijkomende werkzaamheden gepland. De definitieve rapportage wordt als pdf-file in de BPB-database opgeslagen. Tevens worden deze rapportages ieder kwartaal naar het Staatstoezicht op de Mijnen gestuurd.

Indien noodzakelijk vindt nog incidenteel overleg plaats, bijvoorbeeld om over problemen en vragen bij het uitloggen te spreken.

1.4.2 Rapportages

Interne rapportages vinden met behulp van de elektronische veldboeken plaats. De ingevoerde gegevens worden automatisch in de BPB-database opgenomen.

Er kan niet genoeg nadruk gelegd worden op het belang van goede rapportages. Zonder het schriftelijke vasthouden van de resultaten op een plaats die voor iedereen toegankelijk is, hebben metingen geen zin. Het resultaat van de metingen is na enige tijd letterlijk verdwenen, laat staan dat er naar trends en ontwikkelingen in de tijd of naar de oorzaak van afwijkingen gezocht kan worden. In die zin zijn de metingen en de bijbehorende rapportages onze ogen en oren.

Het standaardblad "Rapportage sonarmeting" is in **bijlage 2** opgenomen.

³ De spreadsheet 'Berholm' (Berekening holruimte) is in de BPB-database geïntegreerd. Hierin worden tijdens de ontwikkeling van de sump op dagbasis alle relevante gegevens bijgehouden.

1.4.3 Het inmeten van de conductorflens

Nadat de conductor geheel is worden, vóór het begin van het boren, de RD-coördinaten van het hart van de conductor en de maaiveldhoogte van de bovenkant van de op de conductor gelaste flens ten opzichte van NAP bepaald.

Deze maat dient als basis voor alle verdere maten van de put, vooral voor het bepalen van de dieptes waarop de productiebuizen worden afgehangen (schoendieptes).

1.4.4 Het afdiepen van het boorgat

Het boorgat wordt afgediept tot ca. 1m boven de basis van zout A. Dit wordt bepaald aan de hand van de aangetroffen diepte van de top van zout A en de voorspelde dikte.

1.4.5 Hoogte- en dieptebepalingen

Het inmeten van een boorgat, de diepteligging van de zoutlagen, het buizenplan en het invoeren van de gegevens in de BPB-database zijn van groot belang omdat deze gegevens gedurende de gehele levensduur van een caveerne gebruikt worden.

Alle waarden worden ten opzichte van maaiveldhoogte ('- m MV') gemeten en weergegeven, intern rekent de BPB-database met dieptes ten opzichte van NAP

Maatgevend voor de in te voeren data is het resultaat van de gamma (NGR) meting die na het afdiepen van het boorgat over het gehele boortraject wordt gemaakt.

Tevens wordt sinds enige tijd⁴ een afwijkingsdiagram van het boorgat gemaakt waardoor de (onderlinge) posities van de cavernes nauwkeurig in kaart kunnen worden gebracht..

1.4.6 Het gebruik van binnenbuizen

Het boorgat wordt uitgerust met een 9 5/8" gecementeerde casing. Als productiebuizen wordt een 7" - 4 1/2" combinatie gebruikt. Om de negatieve effecten van eventuele corrosie en/of vervuiling te ondervangen wordt ook een 7" - 3 1/2" combinatie gebruikt (vooral in de hoofduitloofphase, terwijl in de sumpfase een 7" - 4 1/2" combinatie gebruikt wordt)⁵.

1.4.7 Het meten van de productie

De productie (flow verzadigde pekkel) van een caveerne wordt gemeten met een watermeter die aan de pekkelkant van de boorkop is aangebracht⁶. De pekkelproductie wordt bepaald door deze watermeters op twee opeenvolgende tijdstippen af te lezen en het aantal m³ door de verlopen tijd te delen. De hoeveelheid oploswater wordt door een omrekeningsfactor bepaald⁷.

⁴ Vanaf begin van de winning in de Usseler Es.

⁵ De 7" - 3 1/2" combinatie wordt sinds medio 2012 gebruikt. Ervaringen over een langere periode zijn dus nog niet beschikbaar.

⁶ De watermeter wordt niet aan de waterkant aangebracht; in het verleden is vastgesteld dat deze dan door het gebruik van kanaalwater (dat biologisch actief is) sterk vervuult.

⁷ Hoeveelheid geïnjecteerd oploswater = hoeveelheid geproduceerde pekkel , 0,96.

1.4.8 Bottom- en topinjectie

Er worden twee productiemethoden onderscheiden:

- Productie in bottom injectie (BOT, directe uitloging), dat wil zeggen dat het water onder in de caveerne 'losgelaten' wordt en dat de pekkel boven in de caveerne 'geproduceerd' wordt;
- Productie in top injectie (TOP, indirecte uitloging), waarbij het water boven in de caveerne 'losgelaten' wordt en de pekkel onder in de caveerne 'geproduceerd' wordt.

In alle productiefases wordt alleen TOP toegepast.

1.4.9 De invloed van de laaghelling op de ontwikkeling van de holruimte

De Rötzoutformatie is min of meer horizontaal afgezet. In het zuidelijke deel van het boorterrein kan de laaghelling in de buurt van de Boekelostoring echter variëren en oplopen tot 12°.

Met de invloed van de laaghelling wordt bij de planning van de positie van de cavernes rekening gehouden door toepassing van een geometrisch criterium: wanneer twee dieptelijnen – diepte-interval 25 m – minder dan 120 m (diameter omhullende caveerne) van elkaar liggen wordt er in dat gebied geen caveerne ontwikkeld. Wanneer het interval meer dan 120 m bedraagt, kan er wel een caveerne ontwikkeld worden⁸.

1.4.10 Berekening zoutreserve van een caveerne

Van iedere caveerne wordt de winbare zoutreserve in tonnen zout berekend en in de BPB-database ingevoerd. Dit gebeurt op basis van de gegevens van geologische kaarten en uit de boorgaten. Daarbij worden een aantal definities en aannames gebruikt terwijl er bovendien een onderscheid gemaakt wordt tussen zout A en zout C.

Verder wordt er een onderscheid gemaakt tussen de eerste reserveberekening (op basis van geologie) en de volgende berekeningen (op basis van simulatie en/of sonarmeting).

De eerste berekening wordt gemaakt vóór begin van de productie, iedere volgende berekening ná uitvoering van een sonarmeting in het kader van de rapportage.

De berekening en het bijhouden van de ontsloten en resterende zoutreserve van een caveerne is om twee redenen belangrijk:

- De berekende steenzoutreserve wordt per caveerne in de pekkelproductieplanning ingevoerd. Op basis van deze planning worden de productie (flow) van het boorterrein, het aantal te maken boorgaten (per jaar) en de beschikbare (ontsloten) zoutreserve (in tonnen) bepaald. De pekkelproductieplanning, die jaarlijks geactualiseerd wordt beschrijft dus de huidige situatie en geeft inzicht in de voorziene ontwikkeling van het boorterrein en de daaraan verbonden consequenties in de komende jaren.

Het is belangrijk dat de (her)berekening van de steenzoutreserve consequent en zo nauwkeurig mogelijk uitgevoerd wordt. De herberekening is onderdeel van de rapportage over de sonarmeting en wordt in **bijlage 3** nader beschreven;

⁸ Dit probleem zal voor het eerst in het boorveld Usseler Es Zuid (na beëindiging van de sumpfase vanaf eind 2013) en daarna in het boorveld Ganzebos (vanaf eind 2014) optreden. Er zijn dus nog geen ervaringen beschikbaar.

- De reserveberekening wordt, in een iets andere vorm, toegepast wanneer het dak van de holruimte in zout A de steenbank tussen zout A en zout B/C nadert en de doorbraak aanstaande is. Zij geeft, wanneer er geen recente sonarmeting beschikbaar is, vrij nauwkeurig het tijdstip van de doorbraak aan. Ruim vóór dat tijdstip kunnen dan passende maatregelen genomen worden. De belangrijkste daarvan is de controle op het magnesium (Mg) gehalte van de ruwe pekels. Dit loopt namelijk op wanneer er in zout B of zout C wordt uitgelooft.

1.4.11 Bepaling zoutgehalte ruwe pekels

Het zoutgehalte van de ruwe pekels wordt per caveer regelmatig bepaald door middel van een dichtheidsmeting (Mettler Toledo DE 40).

De omrekening van dichtheid naar zoutgehalte vindt automatisch plaats. De resultaten worden in de BPB-database weergegeven.

De calibratie wordt regelmatig door het QA-laboratorium gecontroleerd.

2 Het uitlogen van enkelvoudige cavernes

2.1 Algemeen

Cavernes met één boorgat hebben een korte ontwikkelingstijd voor de sumpfase, ca. 14 maanden. Bovendien hebben ze in de hoofdfase(n) van de uitlogging een hoge productie. Belangrijk is in dit verband om het verschil tussen gemiddelde productie (m^3/h) en maximale productie (m^3/h) in de gaten te houden.

In de navolgende tabellen is steeds de maximaal (en minimaal) toelaatbare flow aangegeven, de daadwerkelijk bereikte flow beweegt zich - afhankelijk van de gewenste en gemeten concentratie – daar tussen in.

Een hoge en constante gemiddelde flow van alle cavernes over een lange periode is de garantie voor een hoge en stabiele totale flow - met de gewenste concentratie - van het gehele boorterrein. Een incidentele hoge flow van één of meerdere cavernes levert, bij een lage gemiddelde flow van de overige cavernes, geen bijdrage aan het resultaat van het gehele boorterrein.

Een hoge gemiddelde flow van een caverne wordt bereikt door voor optimale condities te zorgen. Dit betekent:

- Cavernes altijd en onder alle omstandigheden ontwikkelen en bedrijven volgens de regels van de HUT;
- Zorgen voor de noodzakelijke randvoorwaarden zoals ontwerp veldleidingen, pompcapaciteit en bestrijding van corrosie en vervuiling;
- Goede planning van de werkzaamheden, rapportage van uitgevoerde werkzaamheden en terugkoppeling van de resultaten.

De hoge gemiddelde flow heeft tot gevolg dat de putten een levensduur hebben van ca. 10 – 15 jaar. Een nadeel is dat de pekels uit cavernes in de sumpfase naverzadigd moet worden in andere cavernes. Verder zijn er aanwijzingen dat vervuiling (corrosie en biologische activiteit) de dynamische weerstand negatief beïnvloedt, waardoor de flow terugloopt.

Bij de ontwikkeling van cavernes met een enkelvoudig boorgat wordt een onderscheid gemaakt tussen de sumpfase (de ontwikkeling van de undercut) en de 1^{ste}, 2^{de} en 3^{de} (of afwerkings-) hoofduitloofase.

2.2 Sumpfase

Nadat het boorgat afgediept is worden er een gamma (NGR) meting en een deviatie meting over het gehele geboorde traject gemaakt. De vastlegging van de formatiegrenzen gebeurt volgens een vastgelegde procedure. Aan de hand hiervan worden top en basis van de zoutformatie en de ligging en dikte van de steenbanken definitief vastgelegd in m -MV en in de BPB-database ingevoerd. Om praktische redenen (vermijden van verstopping van de flowmeter) begint de uitlogging op een diepte van basis zout A + 0,5 m⁹. Dit is een

⁹ Bij een aantal putten is vastgesteld dat deze via de onderliggende Sölling kleisteenformatie onder de basis van zout A en reservoirverbinding met elkaar hebben. Dit leidt tot extra werk tijdens onderhoud aan putten, vanwege drukopbouw vanuit naburige putten die dan nog in productie zijn. Om dit verschijnsel in de toekomst te voorkomen wordt sinds najaar 2015 getracht niet meer in de Solling formatie te boren. Op basis van de voorspelde dikte en diepte van het zout, wordt het boren gestopt op 1 meter boven de voorspelde basis van het Röt zout.

standaardmaat, tenzij in het BEP een andere maat gegeven wordt. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn wanneer de laaghelling of de ligging van de steenbanken, in combinatie met de toegestane inherent veilige hoogte, daartoe aanleiding geven. Het buizenplan wordt dan aangepast.

2.2.1 Buizenplan

Tenzij in het BEP anders aangegeven gelden de volgende regels:

- De schoen van de gecementeerde 9 5/8" casing wordt 1,00 m onder de steenbank zout A/B afgehangen;
- De basis van de caverne wordt op 0,5 m (of volgens opgave in het BEP) boven de basis zout A vastgelegd;
- De 7" productiestreng wordt 2,00 m van de geprojecteerde basis van de caverne of 2,5 m vanaf de basis zout A afgehangen;
- De BCS – lengte 2,00 m - wordt op 0,50 m van de schoen van de 7" casing aangebracht;
- De schoen van de 4½ " productiestreng wordt op 0,5 m van de basis zout A afgehangen.

Alle maten worden in NAP aangegeven. De verwachte diepte van de zoutlaag (en dus van de basis zout) en de basis van de caverne worden in het BEP aangegeven.

Het buizenplan is in **bijlage 4** weergegeven.

2.2.2 Naverzadiging

Voordat het boorgat in gebruik genomen kan worden moet de wijze van naverzadiging tijdens de sumpfase vastgelegd worden. Het doel van de naverzadiging is de ontwikkeling van de sump in zo kort mogelijke tijd te laten plaatsvinden, dat wil zeggen zoveel mogelijk holruimte in zo kort mogelijke tijd uitlogen. Daardoor wordt de ontwikkelingstijd van de sump tot een minimum terug gebracht en kan de caverne in de 1^{ste} hoofd uitloofase snel een hoge productie bereiken¹⁰.

Naverzadiging vindt plaats in cavernes in de directe omgeving. In de regel moeten daarvoor aanpassingen aan de veldleidingen – 3^{de} veldleiding - uitgevoerd worden en moet de bedrijfsvoering aangepast worden. Soms is de installatie van een boorgat-boosterpomp noodzakelijk.

Aanwijzingen over bovenstaande zijn in het BEP opgenomen.

2.2.3 Opstarten

De ontwikkeling van de sump vindt volgens een vast schema plaats dat hieronder tabellarisch is samengevat.

Flow in m ³ /h	Holruimtevolume in m ³	Productie in t zout	Indicatieve ontwikkeltijd in maanden
10 - 20	6.000	11.000	14

Tabel 1 – Ontwikkeling sump

¹⁰ Het product van concentratie in kg/m³ en flow in m³/h moet zo groot mogelijk zijn (m³/h holruimte).

Er wordt altijd topinjectie toegepast.

Het bovenstaande schema resulteert na 14 maanden in een sump met een diameter van naar schatting 80 m en een hoogte van 2,50 m ter plaatse van de put (het diepste punt).

Op dit moment is er een verschil tussen het op basis van productie berekende en het met sonarmeting gemeten volume van een holruimte. Waarschijnlijk ligt de oorzaak in de kleine hoogte van de sump (klein in relatie tot de diameter). Bij latere sonarmetingen bleef het verschil echter bestaan. Het verschil tussen beide volumina kan een factor 1,5 - 5 bedragen (berekend volume op basis van massabalans groter dan gemeten volume), afhankelijk van de uitloofase. Naarmate een holruimte groter is, wordt het verschil tussen berekend en gemeten volume kleiner, het blijft echter bestaan.

De gesimuleerde ontwikkeling van de sump (en de verdere ontwikkeling van de caverne) is in **bijlage 5** te zien. Het is van belang te weten dat bij deze afmetingen van de holruimte een volledige sonarmeting niet mogelijk is. Een controle op de resultaten van de simulatie – vooral van de diameter – is dus niet mogelijk. De vorm van de holruimte kan alleen gereconstrueerd worden op basis van de productie (massabalans) en ervaring met vergelijkbare cavernes.

Het is mogelijk dat door de laaghelling de sump niet volledig (rotatiesymmetrisch) ontwikkeld kan worden. Volgens de huidige inzichten is dit geen belemmering voor de volledige ontwikkeling van de volgende hoofdloofafasen. Immers, de uitloging van de holruimte vindt vertikaal (cilindrisch) aan de wand van de holruimte plaats. Het is belangrijk om dit aspect, wanneer bekend is dat er een aanzienlijke laaghelling aanwezig is (in de geologische kaart aangegeven of door informatie uit omringende boorgaten), in het oog te houden. In dat geval zal het BEP hier op ingaan.

2.2.4 Blanket olie

De hoeveelheid blanket olie – en het bijvullen of aftappen daarvan – speelt een belangrijke rol bij de ontwikkeling van de caverne. Een belangrijk hulpmiddel hierbij is het BCS.

Tot een theoretische diameter 25 m (ca. 500 m³ holruimte berekend op basis van geproduceerde pekkel) wordt op het vastgestelde beginniveau van het BCS systeem gestuurd. Om het aantal keren dat blanket olie bijgevuld wordt te beperken, wordt de toelaatbare verandering in de aflezing van de BCS - de verandering van niveau van de oliespiegel in de caverne - op +/- 0,10 m gesteld. Dit betekent dat er een middelwaarde voor het niveau gehanteerd wordt en dat zowel naar boven als naar beneden een afwijking van 0,10 m toelaatbaar is. De maximale hoeveelheid blanket olie, die bijgevuld kan worden, komt dus overeen met een verandering van niveau van de blanket spiegel van max. 0,20 m (het verschil tussen min. en max.).

Daarna (boven 25 m diameter) wordt er iedere 350 m³ holruimte toename 6.000 l blanket olie ingepompt tot een cumulatieve hoeveelheid van maximaal 150 m³ bereikt is. Deze bovengrens geeft de maximale hoeveelheid blanket olie weer die in een caverne gepompt wordt en is inclusief de hoeveelheid blanket olie die voor de 9 5/8”/7” ringruimte van de put nodig is. De ervaring laat zien dat deze hoeveelheid voldoende is om een gecontroleerde ontwikkeling van de holruimte te garanderen.

2.3 1^{ste} hoofduitloofase

2.3.1 Wijziging buizenplan

Nadat de sump ontwikkeld is wordt de caverne uit bedrijf genomen en wordt alle blanket olie afgetapt.

De schoendieptes van de 4 ½” en 7” productiebuizen en het niveau van de blanket olie worden als volgt gewijzigd:

- De 4 ½” productieschoen wordt op 1,0 m boven het diepste punt van de sump afgehangen;
- De 7” productieschoen wordt op 1,5 m boven het dak van de sump afgehangen;
- Het niveau van de blanket olie wordt op 7,0 m boven het dak van de sump ingesteld.

Het buizenplan is in **bijlage 6** weergegeven. Een overzicht van de gesimuleerde ontwikkeling van de caverne is in bijlage 5 opgenomen. De ontwikkeling van de concentratie is in de vertrouwelijke **bijlage 7** weergegeven¹¹.

2.3.2 Productie

Ervaring heeft laten zien dat het voor de gewenste ontwikkeling van de holruimte gedurende de 1^{ste} hoofduitloofase nodig is dat de flow vanaf het begin van deze uitloofase ³ 15 m³/h bedraagt. Dit betekent dat wanneer de flow < 10 m³/h bedraagt de caverne in ieder geval uit bedrijf genomen moet worden. De maximaal toelaatbare flow is op 30 m³/h vastgelegd. De flow kan variëren tussen beide genoemde waarden zonder de ontwikkeling van de holruimte in gevaar te brengen.

Flow in m ³ /h	Cumulatieve holruimtevolume in m ³	Productie in t zout	Cumulatieve productie in t zout
15 – 30	80.000	139.000	150.000

Tabel 2 – Ontwikkeling 1^{ste} hoofduitloofase

2.3.3 Blanket olie

Hiervoor geldt in principe hetzelfde als in hoofdstuk 2.2.4 is weergegeven.

De totale hoeveelheid blanket olie verandert niet omdat de ontwikkeling van de caverne (het dak) eigenlijk weer opnieuw begint.

2.4 2^{de} hoofduitloofase

2.4.1 Wijziging buizenplan

Nadat de 1^{ste} hoofduitloofase is ontwikkeld wordt de caverne uit bedrijf genomen en wordt alle blanket olie afgetapt.

Om het risico op instorting te beperken kan het nodig zijn om, bij helling van de steenbanken, de uitloofhoogte en/of diameter van de holruimte in deze uitloofase aan te passen.

¹¹ De ervaring tot nu toe laat zien dat de simulatie de werkelijkheid waarschijnlijk onderschat, d.w.z. de bereikbare reële flow en concentratie zijn hoger.

De afhangdieptes van de 4 ½” en 7” productiebuizen en het niveau van de blanket olie worden als volgt gewijzigd:

- De 4 ½” productieschoen blijft op 1,0 m boven het diepste punt van de sump afgehangen;
- De 7” productieschoen wordt op 1,5 m boven het gemeten dak van de 1^{ste} hoofduitloofase afgehangen;
- Het niveau van de blanket olie – en daarmee van de hoogte van de 2^{de} uitloofase - is afhankelijk van de laagdikte van zout A (en van de helling van de steenbanken tussen zout A/B en B/C) en wordt, in de regel, op 2,0 meter onder de schoen van de gecementeerde 9 5/8” casing ingesteld.

Het buizenplan is in **bijlage 8** weergegeven.

2.4.2 Productie

Als in de 1^{ste} hoofduitloofase geldt een ondergrens van 15 m³/h. De bovengrens voor de flow ligt in deze fase bij 40 m³/h.

Flow in m ³ /h	Cumulatieve holruimtevolume in m ³	Productie in t zout	Cumulatieve productie in t zout
15 – 40	Caverne specifiek	Caverne specifiek	Caverne specifiek

Tabel 3 – Ontwikkeling 2^{de} hoofduitloofase

2.4.3 Blanket olie

Hiervoor geldt in principe hetzelfde als in hoofdstuk 2.2.4 is weergegeven.

De totale hoeveelheid blanket olie verandert niet omdat de ontwikkeling van de caverne weer opnieuw begint.

2.5 3^{de} hoofduitloofase

2.5.1 Algemeen

De 3^{de} hoofduitloofase kan ook als de afwerkingfase van de caverne beschouwd worden. Omdat hierbij meerdere gezichtspunten een rol spelen is het niet eenvoudig een algemene richtlijn te geven. Te noemen zijn:

- Winning van de resterende zoutreserve binnen de gesteentemechanische omhullende. Dit geldt zowel in verticale richting (wat is de uiteindelijke HCAV en op welke diepte bevindt zich het uiteindelijke dak van de caverne TCAV) als in horizontale richting (wat is de diameter van de caverne en kan die nog vergroot worden binnen de gesteentemechanische omhullende);
- De positie van het dak van de caverne TCAV en de inherent veilige hoogte HCAV ten opzichte van de steenbanken A/B en B/C. Het gaat daarbij om de hoeveelheid zout C die theoretisch gewonnen kan worden boven de steenbank B/C en om de vraag of dat praktisch mogelijk en qua inspanning en kosten de moeite waard is. In de praktijk¹² vallen de steenbanken A/B en B/C met het tussenliggende zout B als een geheel naar beneden. Daardoor veranderen BCAV, HCAV en TCAV, waardoor – na herberekening – de winning van zout C binnen bereik komt.

¹² Dit geldt voor cavernes met meerdere putten. Voor cavernes met één put zijn nog geen ervaringen beschikbaar, het is voorstelbaar dat de steenbanken niet zullen vallen.

Verder moet de vraag of de LCCS van de 9 5/8" casing wel of niet gesneden/gemilled wordt beantwoord worden waarbij ook de vraag hoeveel blanket olie teruggewonnen kan worden een rol speelt. Tot slot speelt de vraag of er nog een ander gebruik van de caverne voorzien is een rol. Zo niet, dan moet de caverne definitief verlaten worden. Een beslissing hierover zal van de specifieke omstandigheden afhangen en kan dus per caverne verschillen. Op dit moment lijkt de volgende benadering het meest waarschijnlijk:

- Winning van de resterende zoutreserve in zout A onder de steenbank A/B en binnen de gesteentemechanische omhullende. Of dit mogelijk is hangt o.m. van de vraag af of de steenbanken A/B en B/C vanzelf zullen vallen. Wanneer dit niet gebeurt, is - na de winning van de resterende reserve in zout A - de productie van de caverne ten einde;
- Winning van de resterende zoutreserve in zout C binnen de inherent veilige hoogte HCAV, nadat de resterende zoutreserve in zout A gewonnen is en/of de steenbanken A/B en B/C met zout B gevallen zijn.

Een beslissing over de vraag of het de moeite waard is de zoutreserve in zout C te winnen hangt af van de winbare hoeveelheid zout C, die op zijn beurt afhangt van de herberekening van HCAV en TCAV nadat de steenbanken A/B en B/C gevallen zijn. Enigszins willekeurig wordt de grens bij een hoogte van de winbare zoutreserve in zout C van 3,0 m gelegd, deze grenswaarde komt overeen met ca. 50.000 ton winbaar zout:

- Bij een winbare hoogte $\geq 3,0$ m in zout C (berekend op basis van HCAV en TCAV) wordt getracht deze zoutreserve te winnen. In de praktijk zal de theoretisch bepaalde winbare hoeveelheid zout niet gewonnen kunnen worden;
- Bij een winbare hoogte $< 3,0$ m in zout C wordt niet getracht deze zoutreserve te winnen en wordt de productie in de caverne beëindigd.

Het bovenstaande leidt tot het volgende schema:

Winning zout A onder steenbank A/B en binnen gesteentemechanische omhullende Zie 2.5.2		
Steenbanken A/B en B/C vallen		Steenbanken A/B en B/C vallen niet
Productie zout C binnen HCAV		
Hoogte winbare zoutreserve zout C > 3,0 m	Hoogte winbare zoutreserve zout C < 3,0 m	X
Productie zout C Zie 2.5.3	X	
Beëindiging productie caverne Zie 2.5.4	Beëindiging productie caverne Zie 2.5.4	Beëindiging productie caverne Zie 2.5.4

Figuur 2 – Beslisschema afwerking/beëindiging productie caverne

Op dit moment zijn nog geen ervaringen beschikbaar; daarom is bovenstaand schema niet absoluut op te vatten. Het verdient aanbeveling de productie in kleine stappen – bijv. 30.000 ton zout – uit te voeren en regelmatig controles uit te voeren om ervaring te verzamelen.

2.5.2 Winning van zout A

2.5.2.1 Algemeen

Bij de winning van de resterende zoutreserve in zout A ligt het accent op het bereiken van de maximaal toegelaten diameter en het winnen van het zout tot de onderkant van de steenbank A/B in combinatie met de terugwinning van de blanket olie. Hoewel de laaghelling een probleem kan geven ligt het voor de hand te trachten de steenbank A/B als blanket te gebruiken en de blanket olie door voortdurend aftappen terug te winnen. De hierna volgende maatregelen zijn daarop gericht.

2.5.2.2 Wijziging buizenplan

Nadat de 2^{ste} hoofdloof fase is ontwikkeld wordt de caverne uit bedrijf genomen en wordt alle blanket olie afgetapt.

De afhangdieptes van de gecementeerde 9 5/8" casing en de 4 1/2" en 7" productiebuizen en het niveau van de blanket olie worden als volgt gewijzigd:

- De 9 5/8" LCCS wordt op het niveau van de onderkant van de steenbank A/B gesneden en gemilled;
- De 4 1/2" productieschoen blijft op 1,0 m boven het diepste punt van de sump afgehangen;
- De 7" productieschoen wordt op 1,5 m boven het gemeten dak van de 2^{de} hoofdloof fase afgehangen.

Aangezien met het gebruik van de steenbank A/B als blanket spiegel nog geen ervaring verzameld is dient de werking daarvan goed in de gaten gehouden te worden. De BCS heeft eigenlijk geen functie meer maar wordt ter controle toch ingebouwd.

Het bijbehorende buizenplan is in **bijlage 9** weergegeven.

2.5.2.3 Productie

Als in voorgaande hoofdloof fasen gelden een ondergrens van 15 m³/h en een bovengrens van 40 m³/h.

Flow in m ³ /h	Cumulatieve holruimtevolume in m ³	Productie in t zout	Cumulatieve productie in t zout
15 – 40	Caverne specifiek	Caverne specifiek	Caverne specifiek

Tabel 5 – Ontwikkeling 3^{de} hoofdloof fase

2.5.2.4 Blanket olie

De blanket olie beschermt in principe alleen de 9 5/8" / 7" ringruimte, de onderkant van de steenbank A/B dient als blanket spiegel.

Wanneer de steenbank A/B zijn rol als blanket spiegel naar behoren vervuld zal steeds blanketolie afgetapt kunnen worden zonder dat de ontwikkeling van het dak van de caverne ongunstig beïnvloed wordt. De totale hoeveelheid blanket olie die teruggewonnen kan worden is o.m. afhankelijk van de laaghelling.

2.5.3 Winning van zout C wanneer de steenbanken A/B en B/C vallen

2.5.3.1 Wijziging buizenplan

Nadat de winning van de zoutreserve in zout A beëindigd is – volgens plan of omdat de steenbanken A/B en B/C gevallen zijn - wordt de caveerne uit bedrijf genomen en wordt alle blanket olie afgetapt.

De afhangdieptes van de gecementeerde 9 5/8" casing en de 4 1/2" en 7" productiebuizen en het niveau van de blanket olie als volgt gewijzigd:

- De 9 5/8" LCC wordt op het niveau van de berekende TCAV gesneden en gemilled;
- De 4 1/2" productieschoen blijft op 1,0 m boven het diepste punt van de sump afgehangen;
- De 7" productieschoen wordt op 1,5 m boven het dak afgehangen dat gemeten is nadat de steenbanken A/B en B/C gevallen zijn.

Het bijbehorende buizenplan is in **bijlage 10** weergegeven.

2.5.3.2 Productie

Als in voorgaande hoofduitloofasen gelden een ondergrens van 15 m³/h en een bovengrens van 40 m³/h.

Flow in m ³ /h	Cumulatieve holruimtevolume in m ³	Productie in t zout	Cumulatieve productie in t zout
15 – 40	Caverne specifiek	Caverne specifiek	Caverne specifiek

Tabel 4 – Ontwikkeling 3^{de} hoofduitloofase

2.5.3.3 Blanket olie

Omdat er boven de holruimte opnieuw een dak moet worden gevormd geldt in principe hetzelfde als in hoofdstuk 2.2.4 is weergegeven.

De totale hoeveelheid blanket olie wordt op 150 m³ begrensd.

2.5.4 Einde productie

De productie van een caveerne is ten einde wanneer:

- De maximaal toelaatbare diameter in zout A is bereikt;
- HCAV is bereikt;
- De steenbanken A/B en B/C bij winning in zout A en/of zout C zodanig doorbreken dat een gecontroleerde winning niet meer mogelijk is.

Na beëindiging van de winning wordt de resterende hoeveelheid blanket olie afgetapt, worden de productiebuizen getrokken en wordt de boorgatkap geconserveerd. De caveerne mogelijk nog voor retourstromen worden gebruikt. Wanneer dat gebeurt is, of wanneer duidelijk is dat het bij een specifieke caveerne niet zal gebeuren, kan de put buiten gebruik worden gesteld (geabandoneerd).

Referenties

1. New Cavern Field Hengelo HSCC, Timing of Sump Development
DEEP., Project No.: 5209 – 03, September 27, 2005
2. SCC Infillboringen Hengelo, Status per August 7, 2007 (presentation)
3. Leaching Simulation of 'Single Completion Caverns' of the Hengelo Brinefield
DEEP., Project No.: 5302, September 18, 2007
4. Maximization of flow rate, Hengelo SCC caverns
DEEP., Memorandum. Project No.: 5302, November 16, 2010
5. Optimized Leaching Concept of the Hengelo SCC Production Caverns with Special
Focus on High Leaching Rates
DEEP., Memorandum, Project No.: 5302, February 28, 2011
6. Uitloogsimulaties door DEEP. ten behoeve van het vaststellen HUT 2011 & max.
flow SCC, behorende bij DEEP. rapportage PN 5302, MTD (Tobias Pinkse),
10 maart 2011

Bijlagen

Bijlage 1 – Berekening van inherent veilige hoogte van een caveerne

De inherent veilige hoogte van een caveerne wordt bepaald bij het begin van de uitloging en ná iedere sonarmeting. Bij de bepaling spelen de volgende begrippen een rol:

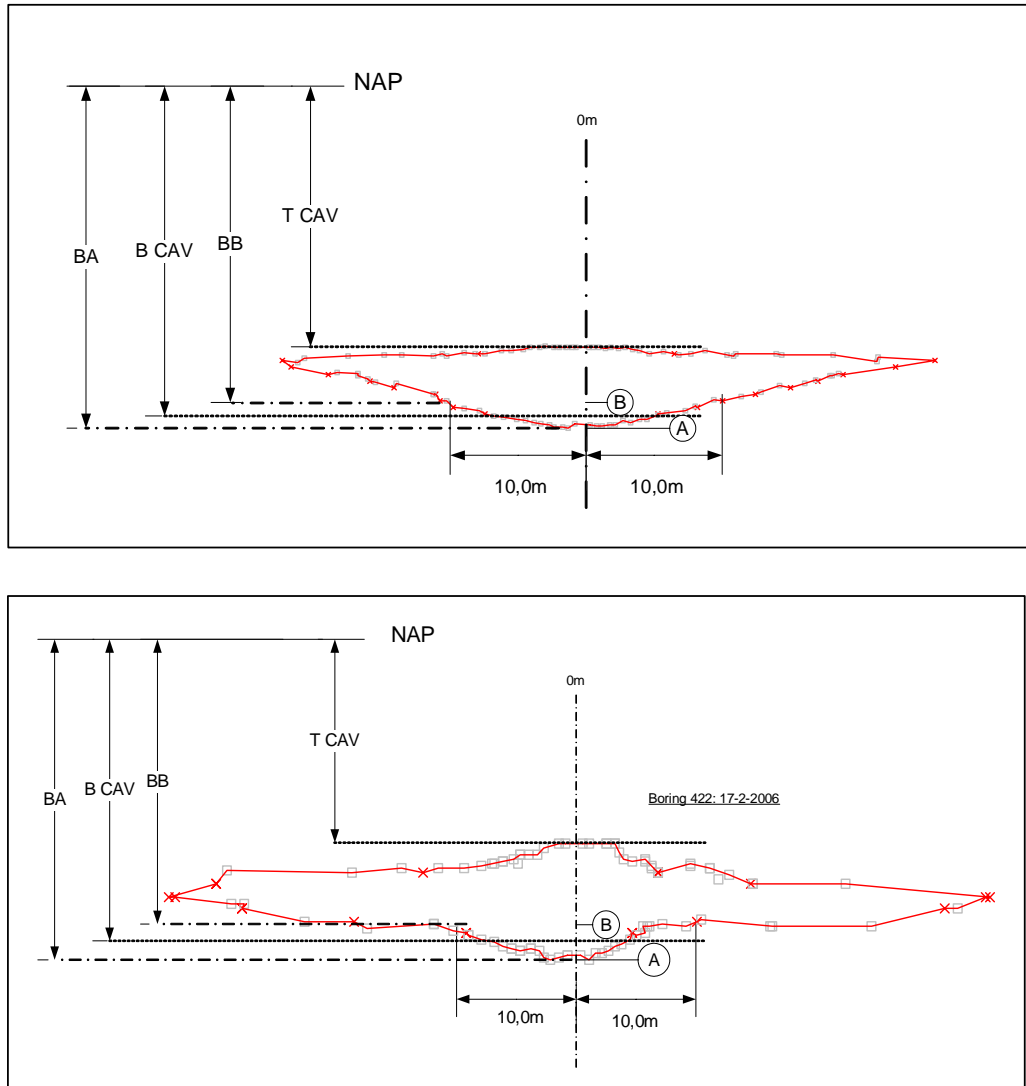
·	MV	Maaiveld	Bodem, het bebouwde oppervlak
·	NAP	Nieuw Amsterdams Peil	Referentiepunt, nulpunt voor hoogtemetingen
·	BT	Basis Tertiair	Overgang tussen geconsolideerd (gesteenten) en niet-geconsolideerd (zand, grind) materiaal. Referentiediepte bepaling inherente veiligheid
·	BT + 40	Basis Tertiair + 40 m	Diepte op 40 m onder BT. Referentiediepte bepaling inherente veiligheid
·	BA	Diepte bodem caveerne	Gemeten op de as (put) van de caveerne
·	BB	Diepte bodem caveerne	Gemeten op 10 m afstand van de as (put) van de caveerne
·	TZC	Top Zout C	Diepte van de bovenkant van zout C in de Rötzoutformatie t.o.v. NAP. Referentiediepte bepaling inherente veiligheid
·	TZC + 5	Top Zout C + 5 m	Dikte van het noodzakelijke veiligheidsdak boven een caveerne
·	BF	Bulk factor	De verhouding tussen het volume van los gestort gesteente en dezelfde hoeveelheid vast, intact gesteente
·	TCAVSON	Gemeten diepte dak caveerne	De met behulp van sonar gemeten diepte van het dak van een caveerne
·	TCAV	Diepte dak caveerne	Inherent veilige diepte van het dak van een caveerne
·	BCAV	Diepte bodem caveerne	Diepte bodem van een caveerne
·	HCAV	Inherent veilige hoogte caveerne	Toelaatbare hoogte van een caveerne

BCAV¹³ wordt bepaald door de diepte van de bodem in de as van de caveerne (BA) en op een afstand van 10 m van de as van de caveerne (BB) te bepalen. Vervolgens wordt BCAF berekend door

$$BCAV = (BA + BB)/2$$

¹³ TCAVSON wordt in voorkomende gevallen op dezelfde wijze berekend als BCAF.

In figuur 2 a en 2 b zijn twee typische voorbeelden van cavernes gegeven.



Figuur 2 a en 2 b – Bepaling van BCAV bij verschillende vorm van de bodem van een caveerne

Alle gegevens worden in de BPB-database ingevoerd. In de regel gebeurt dit ná het afdiepen van het betreffende boorgat, doch uiterlijk in januari van het daaropvolgende jaar¹⁴ vóór de jaarlijkse actualisering van de LT-planning. De reden hiervoor is dat genoemde gegevens ook een rol spelen bij de bepaling van de (geologische) reserve.

De inherent veilige hoogte van een caveerne wordt berekend door (figuur 3)

$$TCAV = \{BCAV + (BF - 1) * (BT + 40)\} / BF$$

of

¹⁴ Dit geldt m.n. voor de bepaling BT die extern uitgevoerd wordt.

$$TCAV = \{BCAV + 0,11 * (BT + 40)\}/1,11^{15}$$

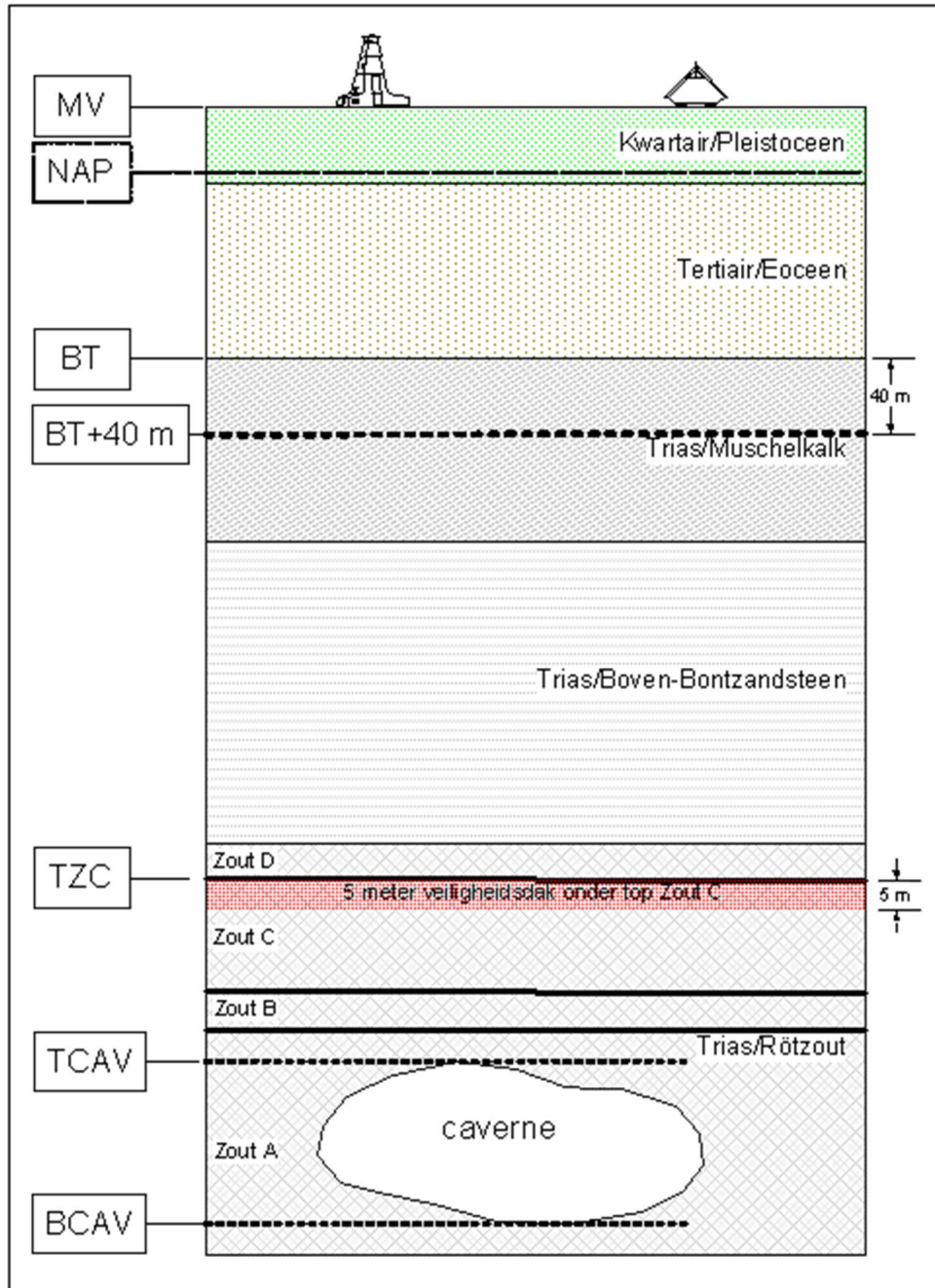
waarbij voldaan moet worden aan

$$TCAV \geq TZC + 5$$

Wanneer hieraan niet voldaan wordt dan is TZC + 5 maatgevend voor de bepaling van de toelaatbare diepte van het dak van een caveerne en dus de hoogte van de caveerne.

Figuur 3 – Schematisch overzicht berekening inherente veiligheid

¹⁵ Zie hiervoor ook het rapport 'Bepaling van de mogelijke toekomstige bodemdaling boven moderne enkelvoudige boringen', GeoControl rapport S 00810, maart 2008



Figuur 3 – Schematisch overzicht berekening inherente veiligheid

Bijlage 2 – Standaardblad “Rapportage sonarmeting”

Bijlage 3 – Berekening winbare zoutreserve van een caveerne

In de BPB-database is de winbare hoeveelheid zout per caveerne opgenomen. Er worden drie waarden gegeven, de berekening op basis van planning, de berekening op basis van geologie en de berekening op basis van laatste sonarmeting. De juistheid en de actualiteit van deze waarden is van groot belang omdat ze als input in de pekelpductieplanning worden gebruikt.

De berekening op basis van planning wordt in de BPB-database ingevoerd wanneer het betreffende project voor de aanleg van de cavernes is goedgekeurd, uiterlijk wanneer het betreffende winningsplan is goedgekeurd.

De berekening zelf vindt plaats met behulp van geologische kaarten waarop de basis zout A, de Basis Tertiair BT en de dikte zout A – C zijn aangegeven. Bij de bepaling van de inherent veilige hoogte HCAV in m wordt er van uit gegaan dat de diepte van de sump identiek is met de basis zout A¹⁶.

Eventueel kan voor de winbare hoeveelheid zout een standaardwaarde aangenomen worden¹⁷.

Verantwoordelijk voor de berekening en de invoer in de BPB-database is MTD.

De berekening op basis van geologie wordt uitgevoerd nadat het boorgat afgediept is en de diktes van zout A, B, C en D aan de hand van een boorgatmeting (NGL, gammameting) bepaald zijn en vastgelegd zijn in de BPB-database. Deze berekening wordt eenmaal uitgevoerd en daarna niet meer gewijzigd.

Verantwoordelijk voor de berekening en de invoer in de BPB-database is MTD.

De berekening op basis van laatste sonarmeting is een berekening die iedere keer, na uitvoering van een sonarmeting wordt uitgevoerd, in de rapportage van de sonarmeting wordt opgenomen en in de BPB-database wordt ingevoerd. Deze berekening wordt eenmaal uitgevoerd en daarna niet meer gewijzigd.

Verantwoordelijk voor de berekening en de invoer in de BPB-database is het groefhoofd pekelpwinning van BPB.

Om de winbare hoeveelheid zout voor elke caveerne in alle fases van de ontwikkeling uniform te kunnen berekenen worden een aantal aannames en definities gehanteerd.

Bij de berekening op basis van planning geldt voor de berekening van het caveernevolume VCAV in m³:

- Berekening van de inherent veilige hoogte HCAV als weergegeven in bijlage 1;
- Voor de dikte van de steenbanken A/B en B/C wordt een bedrag van 5 m in mindering op HCAV gebracht;
- Diameter van de caveerne 120 m;
- De sump (undercut) heeft een hoogte van 2,5 m en een diameter van 80 m.

Het caveernevolume VCAV wordt berekend door

$$\{\pi/4 * (80)^2 * 1/3 * 2,5\} + \{\pi/4 * (120)^2 * HCAV\}$$

¹⁶ Deze vereenvoudiging is toelaatbaar omdat het in deze fase slechts om een virtuele caveerne gaat.

¹⁷ Op dit moment bedraagt deze waarde, die van de diepteligging afhankelijk is, 400.000 ton per caveerne (Usseler Es).

Voor de berekening op basis van geologie geldt dezelfde benadering, met dien verstande dat de laagdiktes zout A en winbaar zout C uit de boorgatmeting worden genomen. Verder wordt aangenomen dat de sump 0,5 m boven de basis zout A ontwikkeld wordt en wordt de berekening van HCAV, en daarmee de bepaling van TCAV, opnieuw uitgevoerd.

Voor zowel de berekening op basis planning als de berekening op basis geologie geldt voor de opbrengst (ton zout) per m³ cavernevolumen:

- Dichtheid zout DZ 2,165 ton /m³
- Dichtheid pekkel DP 0,312 ton /m³
- Aandeel onoplosbaar OZ van de zoutlagen x %¹⁸
- Recovery REC xx% (efficiency winningmethode)

Het aantal tonnen zout per m³ cavernevolumen wordt berekend door

$$(DZ - DP) * REC * (1 - OZ)$$

of

$$(2,165-0,312) * 0,xx * 0,xx$$

Hieruit volgt

1 m³ geometrisch cavernevolumen = 1,xxx ton zout

Voor de berekening op basis van laatste sonarmeting geldt dat VCAV berekend wordt door de oppervlakte van het dak van de gemeten holruimte OPPWINZ met een polygoon te bepalen en te vermenigvuldigen met de opnieuw bepaalde HCAV. Verder geldt:

- Wanneer de caverne doorgebroken is naar zout C dan wordt de oppervlakte van de doorbraak in de steenbank A/B (B/C) genomen als basis voor OPPWINZ, in geval van twijfel vindt overleg plaats;
- De diktes van de steenbanken DSBB en van zout B DZB worden niet meegenomen, deze diktes worden uit de boorgatmeting resp. de laatste sonarmeting bepaald;
- Uit de sonarmeting wordt de BCAV afgeleid; vervolgens worden de nieuwe HCAV en TCAV bepaald. Het verschil tussen de gemeten diepte van het dak van de caverne TCAVSON en TCAV geeft de hoogte van het nog te winnen zout;

Er geldt dan

$$VCAV = OPPWINZ * (TCAVSON - TCAV - DSBB - DZB)$$

Voor de opbrengst (ton zout) per m³ caverne volume geldt als boven:

- Dichtheid zout DZ 2.165 ton /m³
- Dichtheid pekkel DP 0.312 ton /m³
- Aandeel onoplosbaar OZ van de zoutlagen x %

¹⁸ Voor het deel onoplosbaar in het zout is x% aangenomen op grond van 2 laboratorium onderzoeken van boorkernen (Memo's no.69.604 van augustus en oktober 1969 van J.Westendorp). Uit het onderzoek van boorgat 151 (zout A, B en C) blijkt dat het percentage onoplosbaar nog al varieert en dat de x % een redelijke aanname is.

Er wordt geen waarde voor de recovery REC meegenomen omdat er van uitgegaan wordt dat de sonarmeting een nauwkeurig beeld geeft van de nog te winnen hoeveelheid zout.

Daaruit volgt

1 m³ cavernevolumen = 1,xxx ton zout

Bijlage 4 – Standaard buizenplan in de sumpfase

Bijlage 5 – Gesimuleerde holruimteontwikkeling van de sumpfase en de 1^{ste}, 2^{de} en 3^{de} hoofduitloofase

Bijlage 6 – Standaard buizenplan in de 1^{ste} hoofduitloof fase

Bijlage 7 – Relatie ontwikkeling flow en verzadiging in de 1^{ste} en 2^{de} hoofduitloofase

Deze bijlage is vertrouwelijk

Bijlage 8 – Standaard buizenplan in de 2^{de} hoofduitloofase

Bijlage 9 – Standaard buizenplan in de 3^{de} hoofduitloof fase bij winning van zout A

Bijlage 10 – Standaard buizenplan in de 3^{de} hoofduitloofase wanneer de steenbanken A/B en B/C vallen

Bijlage 11 – Overzicht afmetingen holruimte en afhanging buizen in de sumpfase en de 1^{ste}, 2^{de} en 3^{de} hoofduitloofase

Schoendiepte 9 5/8" gecementeerde casing 1 m onder steenbank A/B				
Hoogte uitloofase Cumulatieve hoogte holruimte m	Diameter holruimte m	Afhanging 6 5/8" of 7" buis m	Afhanging 4 1/2" buis m	Afhanging onderkant BCS m
Sumpfase				
2,5	ca. 80	2,0 m	0,5 m	2,5 m
2,5	(berekend)	t.o.v. basis zout A	t.o.v. basis zout A	t.o.v. basis zout A
1^{ste} hoofduitloofase				
7	< 120	4,0	ca. 1,0 m	9,5 m
9,5	sonar	t.o.v. basis zout A	t.o.v. gemeten bodem sump	t.o.v. basis zout A
2^{de} hoofduitloofase				
2 m onder schoen gecementeerde casing Caverne specifiek	< 120 sonar	11,0 m t.o.v. basis zout A	ca. 1,0 m t.o.v. gemeten bodem sump	2 m onder schoen gecementeerde casing
3^{de} hoofduitloofase				
Winning in zout A				
LCCS 9 5/8" onderkant steenbank A/B HCAV	< 120 sonar	1,5 m boven gemeten dak 2 ^{de} hoofduitloofase	ca. 1,0 m t.o.v. gemeten bodem sump	0,3 m onder LCCS 9 5/8"
Winning in zout C				
LCCS 9 5/8" = TCAV HCAV	< 120 sonar	1,5 m boven gemeten dak 3 ^{de} hoofduitloofase (steenbank A/B)	ca. 1,0 m t.o.v. gemeten bodem sump	0,3 m onder LCCS 9 5/8"

Bijlage 12 – Overzicht flow en tonnage in de sumpfase en de 1^{ste}, 2^{de} en 3^{de} hoofduitloofase

Flow ruwe pekkel in m ³ /h	Indicatieve cumulatieve holruimtevolume in m ³	Indicatieve cumulatieve productie in t zout	Indicatieve ontwikkeltijd in maanden
Sumpfase			
15 Onverzadigd, boorgat- boosterpomp	6.000 Uitlooghoogte 2 m	10.000	14
1^{ste} hoofduitloofase			
15 – 30 Minimale flow niet onderschrijden i.v.m. ontwikkeling caverne (grenswaarde 10)	80.000 Uitlooghoogte 7 m	140.000	20 – 40 Afhankelijk van flow
2^{de} hoofduitloofase			
15 – 40 Minimale flow niet onderschrijden i.v.m. ontwikkeling caverne (grenswaarde 10)	145.000 Cavernespecifiek, afhankelijk van dikte zout A	270.000	28 – 75 Afhankelijk van flow
		420.000	62 - 130
3^{de} hoofduitloofase			
Winning in zout A en winning in zout C			
15 – 40 Minimale flow niet onderschrijden i.v.m. ontwikkeling caverne (grenswaarde 10)	Caverne specifiek, afhankelijk van bereikte diameter in zout A en berekende inherent veilige hoogte HCAV in zout C (TCAV)	Caverne specifiek, afhankelijk van bereikte diameter in zout A en berekende inherent veilige hoogte HCAV in zout C (TCAV)	Caverne specifiek, afhankelijk van winbare zoutreserve en flow