WIM PAAR
Mining Technology Department, Akzo Nobel Industrial Chemicals B.V.
wim.paar@gmail.com

ZOUTWINNING IN NEDERLAND, EEN OVERZICHT

Nederland kent, zoals veel andere landen, een lange geschiedenis van zoutwinning en -handel. In de Middeleeuwen is het zout op arbeidsintensieve manieren uit eigen bodem gewonnen. Vervolgens vond eeuwenlang import plaats en werd het zout hier bewerkt in zoutziederijen. Dankzij de vondst van steenzout in Oost-Nederland werd, vanaf het begin van de twintigste eeuw, de winning weer in eigen land gedaan.

Inleiding

Vanaf de achtste eeuw tot aan het begin van de zestiende eeuw is in ons land zout gewonnen door met zeewater doortrokken veen (turf) te verbranden. Het zout, dat in de as achterbleef, werd daar vervolgens uit gehaald door het te mengen met zeewater. Het zout loste op, de as zakte naar de bodem en de pekel kon vervolgens worden ingedampt. Dit proces werd darinkdelven genoemd. Het afgraven van veen werd na de Sint-Elisabethsvloed van 1421 beperkt en vanaf 1515 verboden.

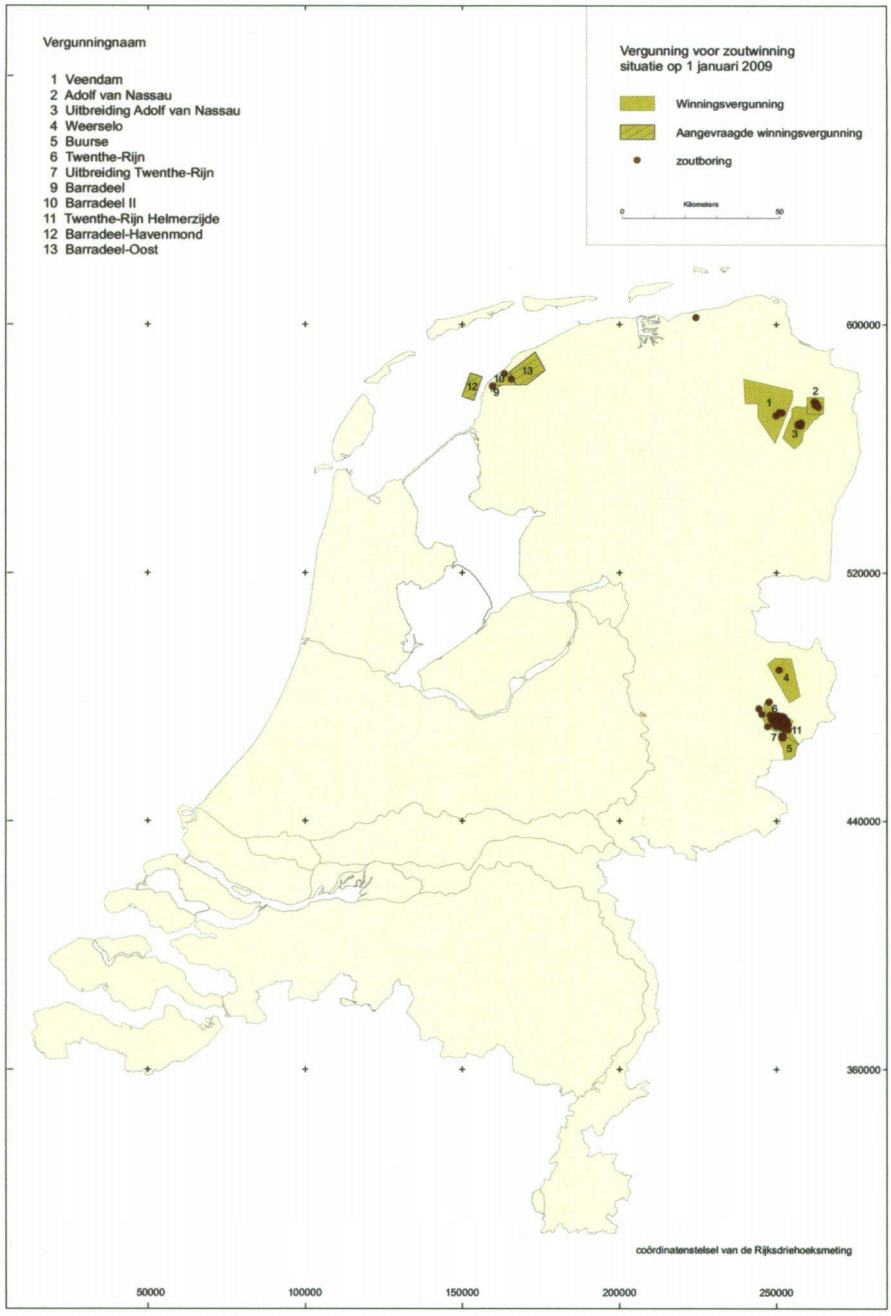
Nederland werd zodoende afhankelijk van de import van zout, die vermoedelijk in de dertiende eeuw op gang was gekomen. De import van uit zeewater gewonnen zout uit, onder andere, Frankrijk, Portugal, Spanje en de Kaapverdische eilanden verplaatste zich in de zestiende eeuw, onder invloed van de tachtigjarige oorlog, naar het Caraïbisch gebied, vooral naar Bonaire. Naast import was doorvoer van zout naar het Oostzeegebied in de daarop volgende eeuwen van groot belang.

Geïmporteerd ruw zout werd in zoutziederijen, die zich in zoutketen bevonden, geraffineerd, deels voor binnenlands gebruik, deels voor export. Daarnaast werd in de achttiende eeuw een procédé ontwikkeld om lokaal zout uit zeewater te winnen. Dit procédé kende twee fases. In de eerste fase werd in een gradeerwerk zeewater over takkenbossen gespoeld, waardoor een klein deel van het water verdampte en verontreinigingen op de takken achterbleven. In de tweede fase werd de geconcentreerde pekel in grote open pannen verdampt. Een dergelijk gradeerwerk stond in Katwijk. Tegenwoordig kan men op verschillende plaatsen in Duitsland, in het bijzonder in kuuroorden, nog gradeerwerken zien. In de negentiende eeuw verbood de overheid het graderen van zeewater, omdat de hoogte van de accijns niet was te bepalen. Daardoor was Nederland vanaf 1871 voor het zoutzieden volledig aangewezen op de invoer van ruw zout, voornamelijk afkomstig uit het Verenigd Koninkrijk en Duitsland. In de negentiende eeuw liep de export terug omdat landen meer in hun eigen zoutbehoefte voorzagen; omstreeks negentienhonderd produceerden de Nederlandse zoutzieders alleen nog voor de binnenlandse markt. Gebouwen van deze zoutziederijen zijn ondermeer te vinden in Alkmaar en Harlingen. Vanaf het begin van de 20e eeuw werd het zout uit de Nederlandse ondergrond gewonnen.

Zoutafzettingen en winningsvergunningen in Nederland

Onder zoutafzettingen worden in dit artikel zowel natrium- als magnesium- en kaliumzoutafzettingen verstaan. De aanwezigheid van steenzout – natriumchloride (NaCl), ook keukenzout genoemd - in de ondergrond van Nederland werd voor het eerst in 1886 aangetoond toen, bij een drinkwaterboring op het landgoed Twickel in Delden (Twente), onverwacht steenzout aangetroffen werd. Later, gedurende de exploratie van de Achterhoek en Twente door de Dienst der Rijksopsporing van Delfstoffen, werden er meer

Afbeelding 1. Overzicht winningsvergunningen voor steenzout in Nederland (bron: www.nlog.nl).



steenzoutafzettingen en ook kalium-magnesiumzouten ontdekt in dit gebied. Om de afhankelijkheid van de import van steenzout uit Duitsland te beperken (de Duitse zoutexport werd tijdens de Eerste Wereldoorlog sterk belast) werd de Buurse concessie (Afb. 1)[1] verleend aan de N.V. Koninklijke Nederlandse Zoutindustrie (KNZ, thans Akzo Nobel Salt B.V.) om met oplosmijnbouw steenzout te winnen. Het zout was afkomstig uit de Röt Formatie uit de Midden-Trias. Door de aanleg van het Twentekanaal als transportweg, werd de aandacht van de KNZ verlegd naar het gebied ten zuiden van Hengelo. Op grond van een succesvolle verkenning met boringen werd in 1933 de concessie Twenthe-Rijn verleend aan de KNZ, die in 1936 met de productie in dit gebied begon. De winning van steenzout uit de Buurse concessie werd pas in 1953 gestopt.
In 1930 werd de concessie Gelria in de omgeving van Winterswijk (Afb. 1) verleend aan de N.V. Nederlandse Maatschappij tot het Verrichten van Mijnbouwkundige Werken voor de gezamenlijke winning van steenkolen en steenzout. Om de onderliggende steenkoolafzettingen te beschermen was vastgelegd dat de winning van het steenzout op conventionele wijze, dat wil zeggen met behulp van mijnschachten, moest plaatsvinden. Dit bleek economisch niet haalbaar en tot op heden heeft er geen winning plaatsgevonden.

Gedurende en na de Tweede Wereldoorlog zijn in de noordelijke provincies verschillende zoutkoepels ontdekt door boringen en zwaartekrachtmetingen. Seismisch onderzoek, uitgevoerd voor de opsporing van aardolie en aardgas, leidde tot de ontdekking van nog meer zoutaccumulaties met als gevolg de toekenning van concessies voor de winning van steenzout bij Winschoten (Adolf van Nassau, 1954), Zuidwending (Uitbreiding Adolf van Nassau, 1967; Afb. 2) en ten noorden van Hengelo (Weerselo, 1967) aan de KNZ en voor de winning van magnesiumzouten ten westen van Veendam (Veendam, 1980) aan Billiton Delfstoffen (thans NedMag Industries). In 1994 en 2002 werden aan Frima B.V. en haar opvolger Frisia Zout B.V. de concessies Barradeel en Barradeel II toegekend voor de winning van steenzout in de buurt

[1] Concessies worden tegenwoordig, na het in werking treden van de nieuwe Mijnbouwwet in 2003, winningsvergunningen genoemd.

van Harlingen. Recent (2008) is aan AkzoNobel Salt B.V. de winningsvergunning Twenthe-Rijn Helmerzijde, aansluitend aan de bestaande winningsvergunning Twenthe-Rijn, toegekend. Op dit moment zijn aanvragen van Frisia Zout B.V. voor de winningsvergunningen Barradeel-Oost en Barradeel-Havenmond en van Akzo Nobel Salt B.V. voor de opsporingsvergunning Zuid-Oost Twente in behandeling. Kaliumzouten worden in Nederland niet gewonnen. Een overzicht van alle vergunningen is in afbeelding 1 opgenomen.

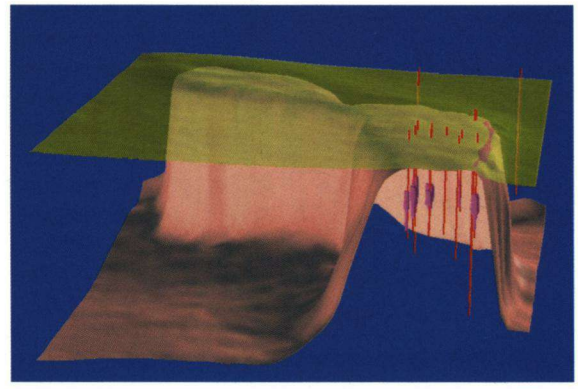
Oplosmijnbouw

De winning van (steen)zout vindt in Nederland uitsluitend door middel van oplosmijnbouw plaats. Een belangrijk criterium is de diepteligging van de formatie waaruit de winning plaatsvindt. Verder spelen de aard van de afzetting en dan in het bijzonder de dikte en de interne structuur, een belangrijke rol. Zo wordt op geringe diepte (350 - 500 m) in de winningsvergunning Twenthe-Rijn steenzout uit de 30 - 70 m dikke Hoofd-Röt evaporietgewonnen (Afb. 3). Verder wordt op een diepte van 700 - 1.600 m in de winningsvergunningen Adolf van Nassau en Uitbreiding Adolf van Nassau in diapieren steenzout uit de Zechstein Z2-formatie gewonnen (Afb. 2). De diepste oplosmijn ter wereld (2.250 - 3.000 m) bevindt zich in de winningsvergunningen Barradeel en Barradeel II waar de winning eveneens in het Zechstein Z2-laagpakket plaatsvindt.

Er worden verschillende methoden toegepast om er voor te zorgen dat de gewonnen pekel verzadigd is (zo weinig mogelijk water bevat). Bij de winning van steenzout lossen ook nog andere evaporietmineralen op. Hier is vooral anhydriet - $CaSO_4$ - te noemen maar ook andere (kalium- en magnesium-) mineralen kunnen verstorend werken. De bijmengingen worden tijdens het oplossen of naderhand in het productieproces (de pekelzuivering) verwijderd. In dat verband wordt gesproken van ruwe en gezuiverde of voedingspekel. In een volgende stap wordt het water door verdamping uit de pekel verdreven. Gezien de aard van dit proces wordt het eindproduct vacuümzout – in onderscheid tot steenzout en zeezout – genoemd.

De winning van kalium- en magnesiumzout verschilt erg van die van steenzout. Zij geschiedt uitsluitend uit gelaagde zoutlagen of -kussens. In de Veendam-winningsvergunning (Afb. 5) is de winning van magnesiumzouten het belangrijkste doel. Het magnesiumzout komt voor in de Zechstein Z3-Formatie waarbinnen drie indampcycli worden onderscheiden, die van elkaar gescheiden zijn door steenzoutlagen. De eerste, onderste, cyclus bevat het merendeel van het magnesiumzout en ook alle bischofiet; de tweede en derde cyclus bevatten uitsluitend carnalliet. De winning vindt plaats op een diepte van 1.300 - 1.800 m. In de verdere verwerking wordt uit de magnesiumchloridepekel ($MgCl_2$) magnesiumoxide (MgO) gemaakt.

De oorsprong van oplosmijnbouw ligt in het gebruik van natuurlijke, zout(brak)waterhoudende bronnen. Deze bronnen waren door overlevering bekend; voorbeelden, waarbij wilde dieren de mens de weg naar deze bronnen zouden hebben gewezen, worden ook genoemd. Het zouthoudende water werd boven open vuren ingedampt. Een volgende stap was het oppompen van zouthoudend grondwater, al dan niet in combinatie met de toevoer van zoet water. Aangezien niet bekend was waar het water in de ondergrond in contact kwam met de zoutformatie

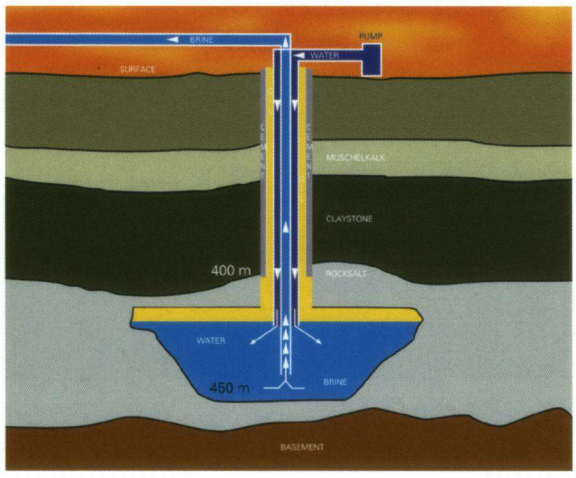


Afbeelding 2. Opengewerkt 3D model van de Zuidwending-zoutdiapier. De hoogte van de diapier bedraagt ca. 3.000 m. De afmetingen van het model bedragen ca. 6 x 6 km. Duidelijk is het subrosievlak te zien dat op een diepte van ca. 150 m onder het maaiveld ligt (bron: Akzo Nobel Industrial Chemicals B.V.).

en waar het steenzout oploste, wordt hier gesproken van ongecontroleerde winning. Omdat het steenzout vooral aan de top van de zoutlaag oploste werden de bovenliggende formaties op grote schaal ondermijnd. Dit leidde tot bodemdaling aan het maaiveld; voorbeelden hiervan zijn in het buitenland (Frankrijk, Duitsland en het Verenigd Koninkrijk) te vinden. Ongecontroleerde winning heeft in Nederland nooit plaatsgevonden, hier werd en wordt uitsluitend gecontroleerde winning toegepast. Doel van de winning is, zoals hierboven gezegd, de productie van verzadigde ruwe pekel met een zoutgehalte van ca. 310 gr/l, wat ongeveer overeenkomt met het tienvoudige van de concentratie in zeewater. Daarbij ontstaat een met pekel gevulde holruimte in de zoutformatie die ook wel caverne genoemd wordt.

De ontsluiting van het zoutvoorkomen – en daarmee de toegang tot de caverne - kan door één of door meerdere boringen vanaf het maaiveld plaatsvinden; in de regel wordt één toegangsboring gebruikt. In de boring worden één of meer concentrische buizen aangebracht, waardoor één of meer ringruimten en een annulaire ruimte ontstaan. Door deze ruimten kunnen het water en de z.g. blanket vloeistof (zie later) gecontroleerd in de caverne gebracht worden en kan de ruwe pekel uit de caverne onttrokken worden. Door de oplossing van het steenzout wordt, mede afhankelijk van de eigenschappen van het zout, een min of meer cilindrische holle ruimte rondom de toegangsboring ontwikkeld.
Er kunnen twee typen bedrijfsvoering onderscheiden worden, de 'indirecte circulatie' (of topinjectie) en de 'directe circulatie' (of bottominjectie). Bij de indirecte circulatie wordt het oploswater in het bovenste deel van de caverne ingebracht (gepompt). Het water stroomt in verticale richting naar beneden waarbij de zoutconcentratie toeneemt door het contact met de wand van de caverne (het steenzout). De soortelijk zwaardere pekel wordt onderin de caverne onttrokken (verdrongen). Het voordeel van deze methode is dat de pekel in een vroegtijdig stadium van de ontwikkeling van de caverne verzadigd is. Een nadeel is dat de caverne zich, zonder tegenmaatregelen, vooral bovenin de zoutlaag ontwikkelt en dat de ruwe pekel, tengevolge van de afname van de temperatuur in de toegangsboring, kan uitkristalliseren waarbij zout en ook gips gevormd kunnen worden en waardoor de toegangsboring verstopt kan worden. Bij de directe circulatie wordt het oploswater onderin de caverne gepompt en wordt de pekel bovenin de caverne verdrongen. Bij deze methode is de ruwe pekel niet verzadigd doordat zij verdund wordt door het soortelijk lichtere water dat in de caverne omhoog stijgt. Daardoor kan geen kristallisatie en verstopping van de toegangsboring optreden. In de regel wordt bij de ontwikkeling van een caverne met directe circulatie

Afbeelding 3. Doorsnede van een caverne in de gelaagde Hoofd-Röt evaporiet (Twenthe-Rijn). Het vlakke dak van de caverne is een gevolg van het gebruik van een olie-blanket (bron: Akzo Nobel Industrial Chemicals B.V.).



begonnen waarna, na enige tijd, op indirecte circulatie wordt overgeschakeld.

De vorm van een caverne hangt af van de schoendiepten - de diepten waarop de buizen zijn ingebracht – van de injectie- (oploswater) en productiebuizen (ruwe pekel), de circulatie, de productiesnelheid uitgedrukt in m^3/h ruwe pekel, de specifieke oplossnelheid van het zout en de diepte waarop de blanket vloeistof is ingebracht. Omdat de soortelijke massa van water (1.000 gr/l) kleiner is dan die van verzadigde ruwe pekel (1.200 gr/l) ontwikkelt een caverne zich bij voorkeur in verticale richting. Om een gecontroleerde ontwikkeling van de holruimte in verticale en horizontale (laterale) richting mogelijk te maken wordt in de caverne een vloeistof (of een gas) geïnjecteerd die een soortelijke massa heeft die kleiner is dan die van water (pekel). Dit wordt de blanket- of kussenvloeistof (-gas) genoemd. Het blanket mag geen steenzout oplossen, bovendien mag de vloeistof niet mengen met water of pekel en moet ze een soortelijke massa hebben die kleiner is dan die van water waardoor ze op het water 'drijft' en het zoutdak van de caverne 'beschermt'. Gewoonlijk wordt hiervoor diesel- of huisbrandolie met een soortelijke massa van 800 gr/l gebruikt maar er kan ook gecomprimeerde lucht of stikstof gebruikt worden. Cavernes hebben een levensduur van enkele tientallen jaren. De opeenvolgende uitloogstappen - de ontwikkeling van de holruimte - wordt vooraf gesimuleerd met behulp van speciale software. Het uitlogen van de caverne komt uiteindelijk neer op het voortdurend doorlopen van de kwaliteitscirkel van Deming met de stappen 'plannen', 'uitvoeren', 'controleren' en 'corrigeren'. Controle op de ontwikkeling van de caverne vindt plaats door het regelmatig uitvoeren van sonarmetingen in de caverne. Het sonarapparaat wordt aan een kabel in de toegangsboring naar beneden gelaten. Vergelijking van opeenvolgende sonarmetingen met elkaar en met de resultaten van de simulatie maakt een vergelijking tussen de geplande en werkelijke ontwikkeling mogelijk.

De integriteit en stabiliteit van een caverne - beter gezegd: van het zout rond een caverne - op lange termijn zijn belangrijk met het oog op de ontwikkeling van bodemdaling aan het maaiveld. De maximaal toelaatbare afmetingen van cavernes en van de minimale afmetingen van pijlers tussen cavernes worden gemodelleerd met behulp van eindige-elementensoftware (FEM). Daarbij worden spanningen en vervormingen, die door de ontwikkeling van een caverne ontstaan, met behulp van een vereenvoudigd en geïdealiseerd model van de ondergrond, berekend en geïntegreerd. Bij de uitgangsituatie - voordat de caverne zich heeft ontwikkeld - wordt van een alzijdige, isotrope (hydrostatische) spanningstoestand uitgegaan. Het gedrag van zout wordt beschreven door een wiskundige formule waarin het verband tussen spanning en vervorming wordt weergegeven. Bovendien bevat de formule een term die het visco-plastische, tijdsafhankelijke, niet-lineaire gedrag van het steenzout beschrijft. Steenzout gedraagt zich onder bepaalde omstandigheden als een viscose, stroperige vloeistof. De 'kruip' van het zout is - naast het soort mineraal en de bijmengingen van andere mineralen - afhankelijk van de gesteentetemperatuur en daarmee van de diepte van de zoutafzetting. Over een lange periode gezien zorgt kruip er voor, dat spanningen rondom een caverne worden verminderd en dat zich een min of meer homogeen spanningsveld rond een caverne ontwikkelt. Dit laatste is een voorwaarde voor de hierboven genoemde integriteit en stabiliteit van cavernes.

De pekelproductie zelf wordt bewaakt door het opstellen van een massabalans en het uitvoeren van chemische analyses. Bovendien worden gegevens als productie, druk, temperatuur en verzadiging voortdurend bijgehouden, waarbij afwijkingen van vooraf ingestelde waarden meteen geregistreerd worden.

Ondiepe winning van steenzout (350 - 500 m)

Een voorbeeld van de ondiepe winning van steenzout is het boorterrein Hengelo in de winningsvergunning Twenthe-Rijn. Sinds het begin van de productie in 1936 zijn in het gebied meer dan 450 boringen gemaakt en is er meer dan 75 miljoen ton zout geproduceerd. De winningmethode is in de loop der tijd geëvolueerd. Op dit moment wordt pekel gewonnen uit twee typen cavernes. Bij het oude type wordt de caverne vanuit drie boringen, die op 40 m afstand van elkaar staan, ontwikkeld. Bij het nieuwe type wordt de caverne vanuit één, centrale boring uitgeloogd. De ontwikkeling van de holruimte begint onder in de zoutformatie. Zodra een initiële holruimte - de sump - is ontwikkeld wordt de productie verhoogd en wordt de caverne in verticale en horizontale richting uitgeloogd. De toelaatbare hoogte van een caverne hangt onder meer af van de diepteligging van de zoutformatie. Tussen cavernes blijven pijlers van voldoende dikte staan, deze pijlers dragen het dekterrein. De gelaagde Rötzout Formatie wordt door dunne, dolomitische kleisteenbanken onderverdeeld in (van onder naar boven) zout A, zout B, zout C en zout D, waarbij zout D niet overal in het boorterrein ontwikkeld is. De productie van pekel vindt voornamelijk in zout A en zout B plaats en voor een deel in zout C. Uiteindelijk ontstaan er cavernes in de vorm van een pannenkoek met een diameter van 100 - 120 m en een hoogte van 25 - 30 m (Afb. 3). Boven iedere caverne blijft een veiligheidspijler, bestaande uit steenzout, staan. Deze pijler wordt ook wel veiligheidsdak genoemd. Zonder dit veiligheidsdak kan het dak van de caverne onder zijn eigen gewicht bezwijken waardoor lokale bodemdaling aan het maaiveld kan ontstaan.

Winning van steenzout op gemiddelde diepte (600 - 1.600 m)

Voorbeelden van dit type winning zijn de boorterreinen bij Winschoten (Afb. 4) en Zuidwending in de winningsvergunningen Adolf van Nassau en Uitbreiding Adolf van Nassau. Bij Winschoten zijn twaalf cavernes in het Zechstein Z2 zout van de zoutdiapier ontwikkeld,

bij Zuidwending negen cavernes. In alle gevallen worden de cavernes door één boring ontsloten (Afb. 4). Het dak van de cavernes bevindt zich op een diepte tussen 700 en 750 m (Winschoten) en 450 en 500 m (Zuidwending). De hoogtes van de cavernes variëren tussen 550 en 630 (Winschoten) en 800 en 850 m (Zuidwending). De cavernes hebben een diameter van maximaal 125 m en liggen 250 m uit elkaar in een hexagonaal grid. De totale productie bedraagt sinds het begin van de productie in 1954 (Winschoten) en 1967 (Zuidwending) meer van 90 miljoen ton. De bodemdaling aan het maaiveld door volumeconvergentie - de resulterende afname van het volume van een caverne door de hierboven genoemde kruip van het zout - bedraagt 1 tot 2 mm per jaar. De totale, cumulatieve bodemdaling sinds het begin van de winning bedraagt, bijvoorbeeld in Zuidwending, ca. 4 cm in het centrum van de bodemdalingkom (2005).

Winning van steenzout op grote diepte (2.250 - 3.000 m)

De diepste oplosmijn ter wereld in de winningsvergunningen Barradeel en Barradeel II levert ruwe pekel aan de zoutfabriek in Harlingen. In het vergunningsgebied Barradeel zijn twee cavernes ontwikkeld, twee andere cavernes bevinden zich in de winningsvergunning Barradeel II. De winning in de winningsvergunning Barradeel is zo goed als beëindigd. Het steenzout wordt gewonnen in de 300 m dikke gelaagde Zechstein Z2 formatie op een diepte van 2.500 - 3.000 m; de basis en de top van de zoutformatie kunnen variëren door kleine breuken. De bovenste 30 m van de Z2 formatie wordt gevormd door een carnallitische afzetting. Door gebruik van een olieblanket wordt er voor gezorgd dat het dak van de caverne ruim beneden deze laag blijft. Contact van de pekel in de caverne met de carnallitische laag zou tot een zo sterke verontreiniging van de pekel leiden dat de caverne niet meer voor de productie van vacuümzout gebruikt zouden kunnen worden.
De gesteentetemperatuur in de omgeving van de cavernes bedraagt 105°C. Als gevolg daarvan is de kruip van het zout zeer groot. Dit heeft een grote volumeconvergentie van de caverne tot gevolg. Dit effect wordt nog versterkt door het drukverschil van 28 MPa tussen de pekeldruk in de caverne (hydrostatische druk 34 MPa) en de ter plaatse heersende lithostatische druk (gesteentedruk 62 MPa). De hoge temperatuur beinvloedt de oplosbaarheid van het steenzout niet maar heeft een groot effect op de oplossnelheid.

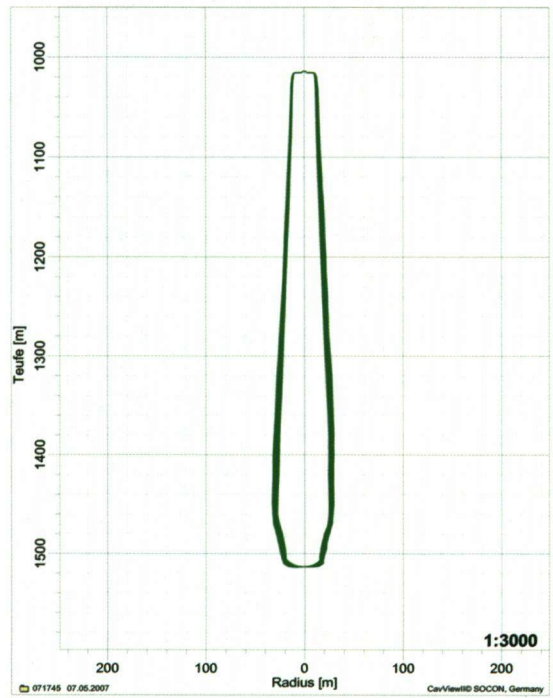
Onder normale omstandigheden duurt het gewoonlijk één tot twee jaar voordat zich een voldoende grote holruimte heeft ontwikkeld om verzadigde pekel te kunnen produceren; uit de diep gelegen cavernes kan echter binnen enkele maanden verzadigde pekel worden gewonnen. Hoewel de winning op grote diepte vergelijkbaar is met die op gemiddelde diepte wijkt het gedrag van de cavernes sterk af. Waar de volumeconvergentie van cavernes op gemiddelde diepte met 0,05 - 0,1% per jaar beperkt is, bedraagt deze op grote diepte enkele tientallen procenten per jaar. Dit leidt er toe dat er op termijn een evenwichtsituatie ontstaat waarbij de volumetoename van de caverne door het oplossen van het zout gecompenseerd wordt door de volumeafname door volumeconvergentie van de caverne: het volume van de caverne neemt niet meer toe (ca. 400.000 m³). Er bestaat daarmee een directe relatie tussen de hoogte van de productie en de optredende bodemdaling aan het maaiveld.

Een volumetoename van 230.000 m³ per jaar - en een even grote volumeconvergentie - leidt aan het maaiveld tot een bodemdaling van ca. 4 - 5 cm per jaar. Aangezien de toelaatbare cumulatieve bodemdaling op 35 cm begrensd is, is er ook een grens aan de hoeveelheid zout die uit een caverne gewonnen kan worden. Dit is de reden voor het beëindigen van de productie van de cavernes in de winningsvergunning Barradeel.

Winning van kalium- en magnesiumzouten

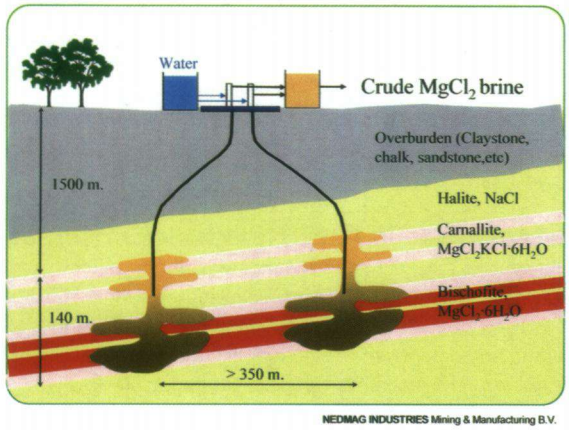
De winning van kalium en magnesiumzouten wijkt sterk af van die van steenzout. Deze zouten – bischofiet ($MgCl_2 \bullet 6H_2O$) en carnalliet ($KCl \bullet MgCl_2 \bullet 6H_2O$) - worden uitsluitend gewonnen in gelaagde en kussenvormige afzettingen (in diapieren zijn deze zoutlagen sterk vervormd en zouden alleen met conventionele mijnbouw gewonnen kunnen worden). In de winningsvergunning Veendam (Afb. 5) ligt het oogmerk op de winning van magnesiumzout; kaliumzout wordt op dit moment niet geproduceerd. Tijdens de winning worden de magnesiumzouten preferentieel opgelost terwijl de aanwezige steenzoutbanken en -lagen blijven staan. Op termijn storten deze echter in. Sonarmetingen, die in het begin van de winning gemaakt werden, laten een erg onregelmatige vorm van de holruimte zien. Door de vele reflecties van de steenzoutbanken bleek het niet mogelijk de vorm en het volume van de cavernes eenduidig te bepalen.

Op dit moment wordt er van uit gegaan dat de cavernes een labyrintachtige structuur hebben, vergelijkbaar met die van onderaardse grotten die door karstvorming zijn ontstaan (Afb. 5). Oploswater stroomt door die delen van de holruimte die het makkelijkst toegankelijk en het eenvoudigst oplosbaar zijn. Het totale gebied van de labyrintachtige holruimte heeft een diameter van meer dan 1 km. Het boorterrein omvat twaalf boringen waarvan er negen in bedrijf zijn voor de productie van pekel en de injectie van water. De meeste boringen maken deel uit van genoemd labyrint dat meerdere cavernes omvat. Productie en injectie vinden afwisselend door dezelfde boring of door verschillende boringen plaats. De laterale ontwikkeling van de holruimte is voor de bischofietlagen veel groter dan voor de steenzoutlagen. Dit komt doordat de pekel veel rijker



Afbeelding 4. Verticale doorsnede (sonarmeting) van een caverne in een zoutdiapier (Winschoten) (bron: Akzo Nobel Industrial Chemicals B.V.).

Afbeelding 5. Stratigrafie en ontwikkeling van cavernes in de Veendam winnings-vergunning. De vorm van de caverne wordt beïnvloed door de laaghelling en het verschil in oplosbaarheid van de zoutlagen (bron: NedMag Mining & Manufacturing B.V.).



is aan magnesiumchloride dan aan natriumchloride (500 kg/m³ $MgCl_2$ versus 300 kg/m³ NaCl) en doordat bischofiet meer kristalwater dan vaste stof bevat (850 kg H_2O/m³ en 750 kg $MgCl_2$/m³) terwijl steenzout 2,168 kg NaCl/m³ bevat. Bovendien is de totale dikte van de magnesiumzoutlagen ca. 40 – 50 m terwijl die voor steenzout enkele honderden meters bedraagt. Oploswater wordt 30 – 60 m onder een steenzoutbank in de met verzadigde pekel gevulde holruimte (1.350 kg/m³ bij verzadiging voor bischofiet) gebracht.

Door het verschil in soortelijke massa stijgt het water turbulent naar boven waarbij intensieve menging met de aanwezige pekel ontstaat. Het pekelwater mengsel is bijna verzadigd voor $MgCl_2$ wanneer het de steenzoutbank bereikt en kan daardoor slechts een geringe hoeveelheid NaCl oplossen. Praktisch betekent dit dat de steenzoutbank als blanket functioneert. De licht onderverzadigde pekel stroomt naar de hoogste plaats in de caverne - in de regel tegen de laaghelling in - waar bischofiet of carnalliet oplossen. Vervolgens stroomt de zware, verzadigde pekel met de laaghelling mee naar het diepste punt van de caverne waar het productiepunt zich bevindt. Wanneer de kalium- en magnesiumzouten geen (sterke) kruip zouden vertonen of wanneer de holruimte onder lithostatische druk zou worden gehouden, zou de holruimte door de uitloging steeds groter worden. Magnesiumzouten vertonen echter een sterke kruip waardoor ze, door het gewicht van het dekterrein, naar de holruimte vloeien, vergelijkbaar met tandpasta in een tube of vers cement tussen twee bakstenen. Dit proces wordt 'squeezen' genoemd. De kruipsnelheid is zodanig dat het volume van de holruimte min of meer constant blijft: de toename van het volume van de caverne door productie wordt, net zoals in Barradeel, gecompenseerd door de volumeconvergentie. De daardoor aan het maaiveld optredende bodemdaling bedraagt ca. 2 cm per jaar.

Ander gebruik van zoutholten

Door de winning van steenzout ontstaan met verzadigde pekel gevulde holruimten in de diepe ondergrond. Het ligt voor de hand er over na te denken of deze holruimten - of speciaal voor dit doel uitgeloogde holruimten - nog voor andere toepassingen gebruikt kunnen worden. Mede door de liberalisering van de gasmarkt in de afgelopen jaren is er ook in Nederland interesse ontstaan in de opslag van aardgas in zoutcavernes. Op dit moment worden in de winningvergunning Uitbreiding Adolf van Nassau een tiental cavernes uitgeloogd voor de opslag van aardgas. Andere toepassingen van cavernes, bijvoorbeeld voor de opslag van ruwe aardolie of -producten of voor CAES (Compressed Air Energy Storage) - de opslag van (wind) energie in de vorm van gecomprimeerde lucht - zijn denkbaar.

Economische aspecten

In Nederland wordt jaarlijks ca. 5,5 miljoen ton NaCl (vacuumzout) geproduceerd. Daarvan wordt ca. 70% in de chemische industrie toegepast, voornamelijk bij de productie van chloor. Chloor is een grondstof voor de productie van PVC, kunstvezels, aluminium, zeep en wasmiddelen. Andere toepassingen van zout zijn o.m. te vinden in de voedselindustrie, de waterzuivering, de productie van likstenen voor vee, de leerindustrie en de gladheidbestrijding in de winter. Behalve constante hoge kwaliteit en chemische zuiverheid spelen transportkosten een belangrijke rol. Dit is een van de redenen waarom zoutfabrieken in de regel aan het water (kanaal, zee) liggen.
Jaarlijks wordt ca. 250.000 ton $MgCl_2$ geproduceerd. De belangrijkste toepassing - 75% - is de productie van magnesiumoxide (MgO) dat gebruikt wordt bij de fabricage van vuurvaste stenen voor de metallurgische en cementindustrie. De rest wordt verkocht als pekel of zout en wordt toegepast in de cementindustrie maar ook als stofbestrijdingsmiddel en bij de gladheidbestrijding.

Naschrift

Zoals uit het artikel blijkt heeft de winning en het gebruik van steenzout in Nederland een lange geschiedenis. Er zijn, ook in het Nederlandse taalgebied, veel geschreven bronnen beschikbaar. Het schrijven van dit artikel kwam daardoor neer op het samenvatten van bestaande teksten. De gebruikte bronnen zijn in het onderstaande literatuuroverzicht opgenomen.
De uitgevers en auteurs wordt dank gezegd voor hun toestemming de teksten te gebruiken.
Indien uw interesse gewekt is, kunt u het zoutmuseum in Delden bezoeken (www.zoutmuseum.nl). Dit museum laat de geschiedenis van zoutwinning zien en toont vanuit diverse invalshoeken de vele facetten van deze belangrijke delfstof. Ander informatie over steenzout is te vinden onder www.solutionmining.org en www.saltinstitute.org .

LITERATUUR

Geluk, M.C., Paar, W.A., & Fokker, P.A. Salt. In: Geology of the Netherlands, edited by Theo E. Wong, Dick A. J. Batjes & Jan de Jager. Royal Netherlands Academy of Arts And Sciences, 2007.

Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond – vasteland. Hoofdstuk 3.3 Steenzout.

Netherlands Institute of Applied Geoscience TNO – National Geological Survey, Utrecht 2004.

Van der Most, F.V., Schot, J. W. & Gales, B. P. A. 2000. Zout. In: Techniek in Nederland in de twintigste eeuw, deel II (delfstoffen, energie, chemie). Stichting Historie der Techniek, Walburg Pers, 2000.

Visser, W.A., Zonneveld, J. I. S. & Loon, A. J. van 1987. The mining of rock salt. In: Seventy-five years of geology and mining in the Netherlands (1912 – 1987), edited by W. A. Visser, J. I. S. Zonneveld & A. J. van Loon. Royal Geological and Mining Society of the Netherlands (K.N.G.M.G.), Den Haag.