

Zoutmagma gestold in interactie met modder

Stef J. Heerema en Gert-Jan H.A. van Heugten

Ondergrondse zoutformaties zijn gevormd in interactie met kilometersdikke sedimentgesteenten erboven. De algemeen geaccepteerde theorie betreffende zoutpijlervorming is gebaseerd op een verondersteld vloeistofachtig gedrag van vast zoutgesteente. Maar kruipexperimenten met NaCl zijn niet verklarend voor de horizontale verplaatsingen over tientallen kilometers. Bovendien zijn ook de sedimentaire gesteenten erbovenop synchroon verplaatst alsof ze ook in vloeibare fase waren. Vast gesteente vloeit echter niet, maar zal breken. Een synchroon vloeiende verplaatsing van vast steenzout en vast gesteente is dus onmogelijk.

De observaties uit veld- en seismische studies suggereren dat het zout in vloeibare fase omhoog is gekomen midden in een vloeibare bovenliggende laag. Het lijkt er dus op dat de huidige zout/sediment afzettingen, zoals ze wereldwijd gevonden worden, synsedimentair zijn gevormd als zoutmagma in interactie met modder tijdens de zondvloed.

Heetwatermodellen betreffende het ontstaan van zoutlagen negeren zouttektoniek, maar op het eerste gezicht lijkt dit in vloeibare fase opwaarts vloeiende zout deze modellen te bevestigen. Toch is het zeer waarschijnlijk dat een heetwaterverplaatsing zou mixen met de modder erboven, waardoor formatie van pure zoute pijlers onmogelijk wordt. Heetwatermodellen kunnen zouttektoniek dus niet verklaren.

Vanuit ondergrondse zoutlagen kunnen kilometershoge pijlers zijn gevormd (bv. in het East Texas Basin, figuur 1). De formaties zijn meestal geheel overdekt met lagen sedimentair gesteente. De druk van het bovenliggende gesteente heeft het zout opwaarts geperst in pijlers. Bijvoorbeeld het Europese Permische Zechsteinzout ('gedateerd' 272–253 Ma) is, naar men denkt, opwaarts gaan vloeien sinds genoeg Triassediment was gedeponneerd (~200 Ma).

Incidenteel doorbreekt het zout zelfs de bovenliggende gesteenten. Een voorbeeld is de Sigsbee Escarpment in de Golf van Mexico (figuur 2). Deze plastische verplaatsing van steenzout wordt 'diapirisme', 'halokinese', en 'zouttektoniek' genoemd. Verscheidene zouten zijn hierbij betrokken, ondermeer NaCl (haliet), CaSO₄ (anhydriet), CaCO₃ (kalk), KCl (sylviet) en MgCl₂. (Om misverstanden te voorkomen: waar wij schrijven over 'zout' bedoelen we niet enkel NaCl, maar alle ionische kristallijne samenstellingen die voorkomen in de zoutformaties.¹⁾

Nog tot eind jaren tachtig beschreven geologen diapirisme als een dichtheidsgedreven proces,

zoals in een lavalamp.² Een lavalamp wordt getypeerd door een opwaarts drijvende niet-mengende vloeistof, terwijl de andere ruimte geeft. Deze beweging is synchroon en weerstandsloos en wordt aangedreven door dichtheidsverschillen. Een dergelijke verplaatsing van vast zout en vast sedimentair gesteente druist echter tegen alles in, vaste gesteenten vertonen immers geen vloeistof gedrag. Daarom is toentertijd dit model verworpen. Tegenwoordig is het breed geaccepteerd dat diapirisme primair het resultaat is van de drukverschillen die bovenliggende sedimenten uitoefenen op het zout, waarbij dichtheidsverschillen slechts secundaire invloed uitoefenen.

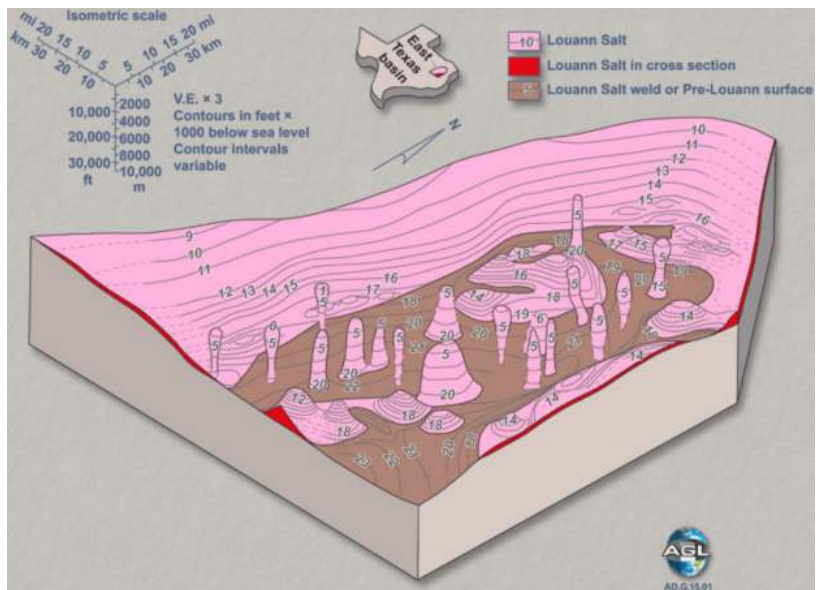
Hudec *et al.* schreven in 2007: "Salt is mechanically weak and flows like a fluid".³ Figuur 3 vat hun uitleg samen. Wij zijn het ermee eens dat de meeste zoutlagen werden geformeerd onder condities die vloeien als een vloeistof toestonden. Het is echter maar de vraag of onderbouwd kan worden dat vast zout kan vloeien als een vloeistof.

Vast zout vloeit bij significante drukgradiënten

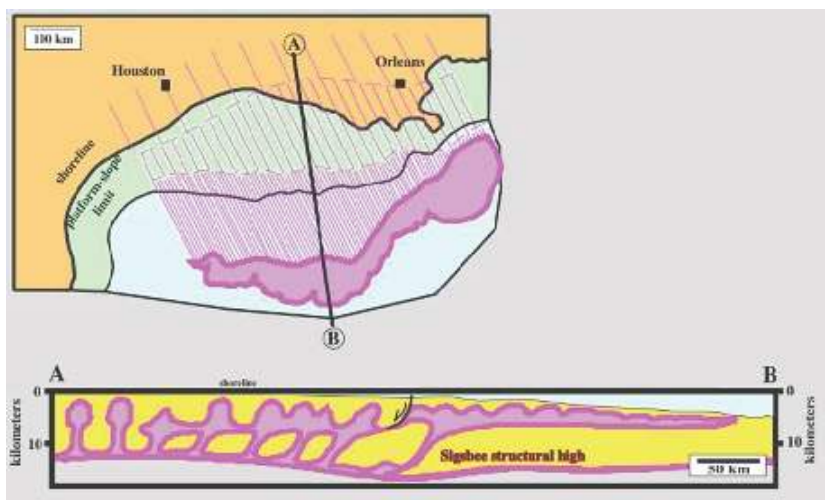
Vloei van vast steenzout is welbekend van zoutmijnen. Daar verplaatst de lithostatische druk het zout naar de atmosferische druk in de mijngangen en ruimtes. De lithostatische druk neemt toe met de diepte met ongeveer 20 MPa per kilometer. Vast zout, of tenminste haliet, wordt gevoelig voor kruip onder dergelijke grote drukverschillen. Dit resulteert in een verplaatsing van een paar centimeters per jaar. Toch is deze verplaatsing slechts lokaal, veroorzaakt door het gewicht van de bovenliggende gesteenten, gepaard gaande met een lokale bodemdaling.⁴ Aangezien de drukgradiënt is begrensd tot de mijnstreek kan de veroorzaakte kruip geen effect hebben op de zich tot duizenden vierkante kilometers wijder uitstreckende zoutformatie.

Het kruipgedrag van haliet is bestudeerd en getest, omdat het als de sleutel tot zouttektoniek wordt gezien. Urai *et al.*⁵ bijvoorbeeld, verzamelden gegevens van druktesten op halietcilinders met een hoogte van 300 mm en een diameter van 150 mm. De testen, uitgevoerd bij diverse temperaturen en vochtigheidsgehaltenes, lieten zien dat vooral de vochtigheid de gevoeligheid voor kruip verhoogt. De data liet kruip zien voor nat haliet bij een verticale spanning van tenminste 0,2 MPa. Maar aangezien zoutformaties droog zijn (bijvoorbeeld anhydriet) is dit niet representatief. Kruip in haliet met een vochtinhoud die meer representatief is voor zoutformaties werd waargenomen bij een spanningsverschil van 10 MPa of meer bij een verhoogde temperatuur van 323 K (de testen lieten zien dat bij lagere temperaturen een hogere drukgradiënt vereist is, om kruip te realiseren). De duurtesten veroorzaakten een verkorting van

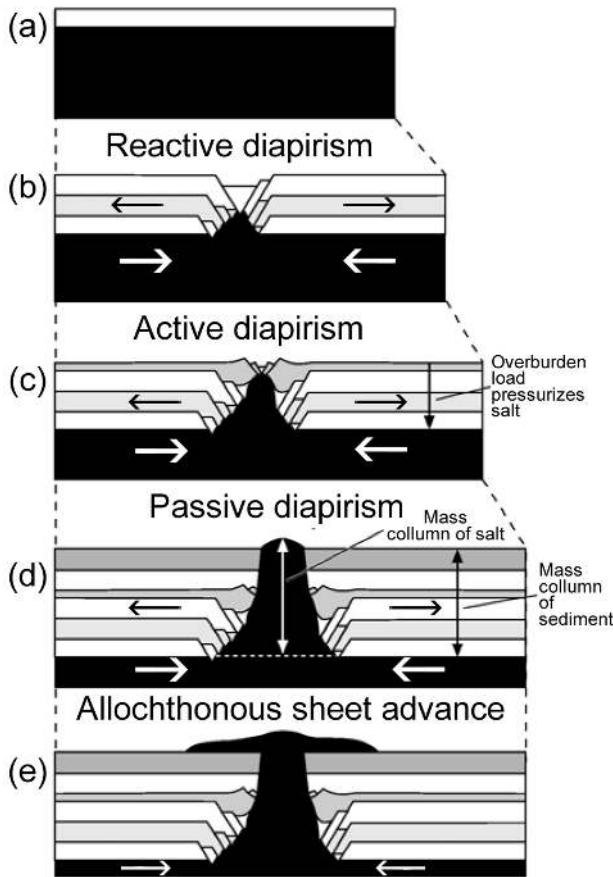
de cilinder en een toename van de diameter.⁶ Met andere woorden, de verticale drukspanning veroorzaakte een horizontaal georiënteerd drukverschil variërend van de isotropische spanning in de kern (10 MPa) tot nul op de buitenrand van de cilinder. Dit drukverschil in *horizontale* richting werd toegepast over een radius van 75 mm, wat resulteerde in een gemiddelde drukgradiënt van 133 MPa/m (10/0,075). Kan dit fenomeen echter de oorzaak zijn van de enorme verplaatsingen die worden waargenomen in ondergrondse zoutafzettingen? Gevantman, *et al.* schreven betreffende steenzout



Figuur 1. Zout formaties in het East Texas Basin. De Midden Jura zoutlaag is gevormd in interactie met het sedimentaire gesteente erboven. (Zie Jackson *et al.*^{38,39}).



Figuur 2. De Sigsbee Escarpment is de zuidrand van een allochtone laag van Midden Jura Louann zout in de Golf van Mexico. Het is meer dan 200 km zuidwaarts verplaatst ten opzichte van waar het de bovenliggende gesteenten doorbrak. Zelfs als het vaste steenzout verplaatste met de relatief hoge snelheid van enkele meters/jaar zou het niet passen in een Bijbelse tijdschaal. (Naar Universidade Fernando Pessoa.⁴⁰).



Figuur 3. De algemeen geaccepteerde visie hoe een pijler van vast steenzout doorbreekt tijdens het uiteen trekken van een regio. Inderdaad, als zout zo synchroon met de sedimentafzetting is gedeformeerd dan moet het zout hebben gevloeid als een vloeistof. Maar het model impliceert onnatuurlijk gedrag voor het vaste steenzout. (van Hudec en Jackson.³).

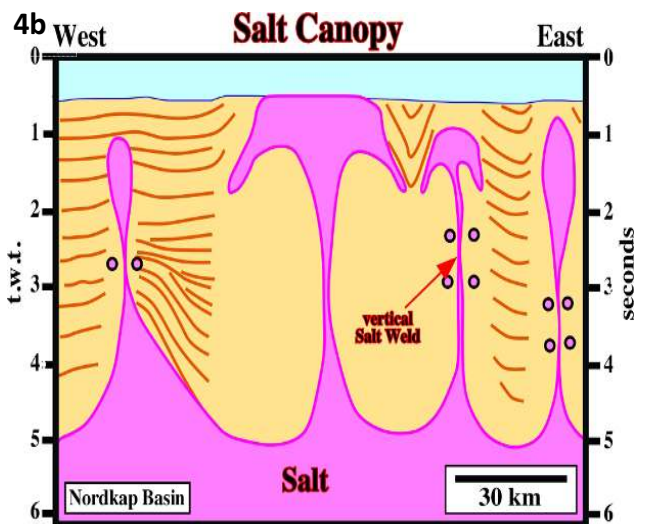
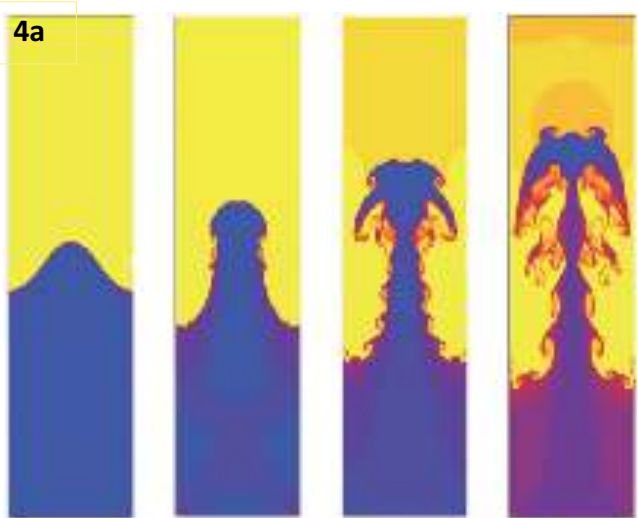
begraven onder gesteente: “De mobiliteit van steenzout is zodanig dat de huidige positie in een pijler 25 kilometer verwijderd kan zijn van de oorspronkelijke plaats van afzetting [vertaald citaat].”⁷

Laten we de duurtest onder een verticale druk van 20 MPa eens toepassen op deze verticale cylinder met een radius van 25 km. 20 MPa is de druk die een 1 km dikke laag sedimentair gesteente uitoefent. Het resulterende drukverschil in horizontale richting wordt dan toegepast over 25 km. De gemiddelde drukgradiënt in horizontale richting wordt dan 8×10^{-4} MPa/m, verwaarloosbaar in vergelijking met het uitgevoerde experiment waarbij de gradiënt de 133 MPa/m overschreed.

Het experiment liet juist zien dat bij een verwaarloosbare drukgradiënt geen kruip optreedt. Zelfs een aanname dat er extra kilometers sediment op het zout drukten, levert

onvoldoende drukverschil. De druktest heeft dus geen onderbouwing geleverd voor de hypothese dat zoutstructuren zijn gevormd door het vloeien van vast steenzout.⁸

Een overschuiving van zout over 200 km over het sedimentaire gesteente, zoals in figuur 2 getoond, ondermijnt het kruipmodel nog verder.⁹ Aangezien dit zout is uitgevloeid boven op de sedimenten, hoe kan kruip zo’n overschuiving hebben veroorzaakt zonder een door bovenliggend sedimentair gesteente gecreëerd drukverschil? Natuurlijk kan ieder vast gesteente of ijs in beweging komen door de zwaartekracht en langzaam omlaaggliden als een gletsjer, maar dat systeem is niet in staat om gesteente meer dan



Figuur 4. Een hydrodynamisch model toont hoe vloeibare zoutmagma in interactie met modder beweegt. Dit proces is eerder voorgesteld,^{41,42} maar is alleen valide mits sedimenten en zoutmagma synchroon bewegen in vloeibare fase.

4a. Een Rayleigh-Taylor instabiliteit zoals achtereenvolgend vastgelegd tijdens een test. Dit toont de vloeistofdynamica tussen twee niet-mengbare vloeistoffen met verschillende dichtheid. Naar: Los Alamos National Laboratory.⁴³

4b. Zoutpijlers in het Noordkaap Bassin (Noorwegen). T.w.t. is *two-way-travel-tijd* in seconden, dit betreft seismische data. (Naar Universidade Fernando Pessoa.⁴⁰)

200 km omhoog en zijwaarts te verplaatsen. Een andere verklaring is dus noodzakelijk.

Zoutformaties zijn gestolde magma

Nergens is een moderne analogie waar een grote zoutformatie wordt gevormd, niet door precipitatie uit heet water in superkritische fase, en niet door vulkanisme. Het volume en oppervlakte van zoutlagen is echter vergelijkbaar met *large igneous provinces* en omvatten honderdduizenden kubieke kilometers. Eerdere publicaties suggereren een primair ontstaan van zout uit vulkanisme,^{10,11} en bestrijden door dichtheidsverschillen aangedreven verplaatsing van vast zout in vast gesteente.^{12,13} Wij stemmen daarmee in en betogen dat gesmolten zout, opwellend uit de mantel door vulkanische eruptie en afgezet onder modderig water, de huidige zoutstructuren kan verklaren. Zout boven de smelttemperatuur is een ionische vloeistof: een vloeibare mix van anionen en kationen.¹⁴ De relatief lage dichtheid en smelttemperatuur kan worden geschat (zie tabel 1).

De meeste zoutformaties zijn bedekt met een kilometersdik pakket uit water afgezette sedimenten. Binnen het kader van Bijbelgetrouwe geologische geschiedenis zijn deze sedimenten grotendeels afgezet door water dat opkwam tijdens de zondvloed.²³⁻²⁷ Als deze bovenliggende lagen uit vast gesteente hadden bestaan tijdens de zouttektoniek, dan zouden de lagen gebroken moeten zijn, maar dat zijn ze niet.²⁸

Om de structuren te begrijpen, refereren wij aan de originele experimentele observatie dat zoutpijlers moeten zijn gevormd in een lavalampachtig dichtheidsgedreven proces (figuur 4). De zouttektoniek vond dus plaats toen het zout nog gesmolten was, terwijl *ook* de sedimenten ongeconsolideerd en druipnat waren, waardoor hydrodynamisch vloeigedrag mogelijk was. Vast NaCl heeft een hoge viscositeit, terwijl gesmolten NaCl een viscositeit heeft van 1.29×10^{-3} Pa's (bij 1123 K), wat vergelijkbaar is met die van water op kamertemperatuur.²⁹ Daarom veronderstellen wij dat de ionische vloeistof snel als water kon stromen. De lage dichtheid in combinatie met de lage viscositeit zal de snelle vorming van pijlers in de waterige sedimenten hebben gefaciliteerd.

Op de flanken en de toppen van de pijlers, waar het gesmolten zout contact maakte met de waterige sedimenten, zal stoom zijn ontstaan. Hoe

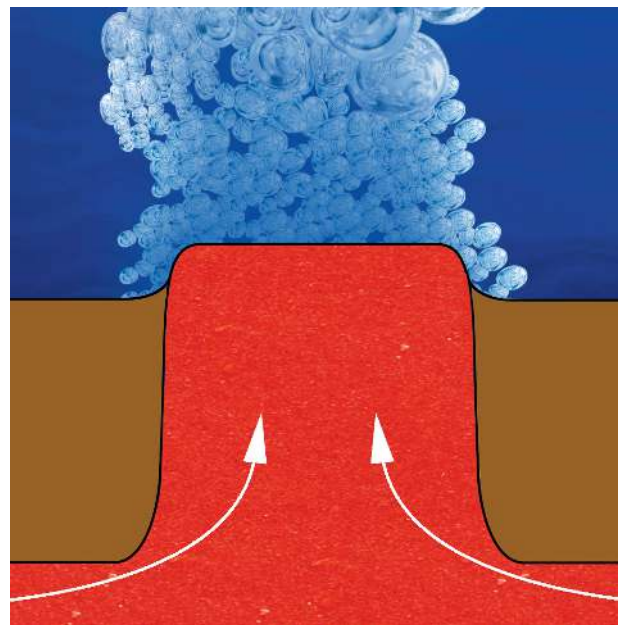
hoger de stoom oprees, hoe meer het expandeerde. Dit zal een bijdragend zwaartekrachteffect hebben veroorzaakt volgens de wet van de communicerende vaten (figuur 5).

In deze explosie van energie zal de buitenrand van de pijlers snel zijn gekoeld en gestold. Nieuwe erupties zullen de zoutlaag van onderen hebben gevoed, waardoor de druk in de vloeibare kern van de pijlers toenam. Op deze manier zullen de pijlers hebben gewerkt als schoorstenen, de zoutmagma toeleverend aan allochtone zoutlagen boven op de sedimentlagen.

Hydrothermische modellen

Sommige modellenmakers suggereren dat de meeste zoutlagen zijn gevormd door precipitatie van zout uit superkritisch water rond uitstroomopeningen in de diepzee.^{30,31} Dit zou echter een afzetting van vast steenzout zijn, dat, zoals beschreven, niet kon vloeien over tientallen kilometers. Geen enkel heet water model besteedt aandacht aan het mechanisme van zout diapirisme. Maar nu hebben wij laten zien dat zout zeer waarschijnlijk vloeibaar was tijdens de pijlervorming.

Misschien kan deze conclusie hydrothermische modellen versterken. Maar let wel, als heet water zou uitstromen onder sedimenten, dan vallen die sedimenten erin. Het water zou eindigen in de



Figuur 5. De wet van de communicerende vaten eist een evenwicht tussen het gewicht van de kilometersdikke modderlaag plus het water erboven en het gewicht van de zout/stoom kolom er middenin. Dit onder-water-plaatje toont het moment dat de zoutmagma de modder doorbreekt.

poriën en zou geen lagen van puur zout vormen. Heet water kan niet tientallen kilometers stromen onder modder zonder vermenging, terwijl een magmastroom geïsoleerd zou blijven door een gestolde omhulling. Deze buitenrand zou gevormd worden uit stollend magma aan de binnenkant en uit sedimenten en mineralen uit de waterige modder aan de buitenkant.³² Zo'n huid voorkomt dat de magma vervuild wordt met modder of water. (NB: dit niet-mengbaar zijn, is essentieel om correct te refereren aan de Rayleigh-Taylor instabiliteit als verklaring, zoals getoond in figuur 4.) Deze buitenrand acteert bovendien als thermische isolator, waardoor de magma langer vloeibaar blijft en grote afstanden kan afleggen tijdens de eruptie.

Figuur 4 is een voorbeeld van hoe een pijler is bevroren midden in de beweging, begrijpelijk vanuit een primair vulkanisch ontstaan. Maar welk mechanisme zou een heet water stroom kunnen bevroren te midden van natte sedimenten?

Het primair vulkanische zout is verklarend voor waarschijnlijk de meeste zoutafzettingen, en kan hydrothermische afzettingen rondom de zoutmagma hebben veroorzaakt. Misschien is dat een van de redenen voor de interpretaties tot op heden.

Timing

Zoutformaties zijn wereldwijd meestal bedekt met sedimenten die catastrofaal uit water zijn afgezet. De zouterupties en de wereldwijde waterige catastrofe moeten gelijktijdig plaatsgevonden hebben, aangezien zoutmagma en modder synchroon verplaatsingen hebben ondergaan. Ook moet dit snel zijn gebeurd, omdat het onwaarschijnlijk is dat de magma zodanig thermisch geïsoleerd was, dat stolling jarenlang zou uitblijven. Met het gegeven dat meer dan één wereldwijde waterige catastrofe uitgesloten is, vanwege het verbond in Genesis 9, blijft alleen de zondvloed over, want toen kwam het water over de aarde.

Additionele observaties

Wij achten de bovengenoemde observaties voldoende om een ontstaan van zoutformaties uit indamping of uit heet water te verwerpen, en



Figuur 6. Links een brok NaCl dat in één van onze testen is gesmolten en weer gestold. Rechts een brok NaCl (Permisch Zechstein) uit Asse II, een zoutmijn in Duitsland.

onderbouwend voor een primair vulkanisch ontstaan, de enige beschikbare en plausibele verklaring. Maar er zijn meer aanwijzingen voor een primair vulkanisch ontstaan van zout. Ten eerste, zoals genoemd, suggereren het volume, de uitgestrektheid, het lage vochtgehalte en eerdere publicaties een primair vulkanisch ontstaan. Ten tweede is dit het overwegen waard:

- Fossiele brandstoffen worden veelvuldig aangetroffen onder en boven zoutformaties. De snelle begraving van organisch materiaal kan verklaard worden door de vloed, en de omzetting naar brandstof door de hitte van de zoutmagma.
- Iedere zoutpijler heeft een gipshoed voornamelijk bestaande uit CaCO_3 en CaSO_4 . Dit kan zijn afgezet uit mineraalrijk vloedwater dat in contact met de omhoogkomende pijler veranderde in stoom, zie figuur 5.
- Onder het zout is in Europa koperschalie gevonden,³³ een dun (~ 0.5 m dik) metaalhoudend sedimentair gesteente met fossielen. Het ontstaan is onderwerp van debat, aangezien vissen en zware metalen geen logische combinatie zijn in sedimentair gesteente. Wij vermoeden dat de fossielen zijn ontstaan doordat een zeebodem is verrast door een zouteruptie. Waarna de hitte van het magma middels hydrothermische veroudering de metalen afzette.
- Anhydriet was voorheen bekend als een indampingsgesteente,³⁴ maar nu is primair vulkanisch anhydriet geïdentificeerd door Luhr.³⁵ Ook het pegmatiet-anhydriet-laagpakket in het Zechsteinzout³⁶ vormt een aanwijzing voor het primair vulkanische

ontstaan ervan, aangezien de naam pegmatiet normaal gesproken wordt toegewezen aan holokristallijn vulkanisch gesteenten.

- Alle ionen waaruit NaCl, CaSO₄, CaCO₃, KCl en MgCl₂ (voorkomend in zoutformaties) zijn opgebouwd, worden gevonden in de magma van de Ol Doinyo Lengai-vulkaan in Tanzania.¹⁷ Bijvoorbeeld sodaliet (Na₈Al₆Si₆O₂₄Cl₂), dat NaCl bevat, precipiteert uit de magma. Deze vulkaan is gepositioneerd in de Grote Slenk, de breuklijn die zich zuidwaarts uitstrekt vanaf Syrië door de Jordaanvallei, de Rode Zee en de Hoorn van Afrika. Meerdere zoutformaties zijn hierin gesitueerd, ondermeer de 10 km dikke Dode Zee-formatie.
- De typische gelaagdheid en kristallen zoals gevonden in zoutformaties lijken reproduceerbaar middels het stollingsproces van ionische vloeistoffen. Zie figuur 6 als voorbeeld.
- Onder zoutlagen zijn meerdere scheuren aan te wijzen. Bijvoorbeeld onder het Zechstein: *Dutch Central Graben*, *Central North Sea Graben*, *Horn Graben*, *Bramble Trough*, *Rhein Graben* en *Polish Trough*. Hieronder zijn mogelijk ingestorte zoutmagma-kamers verborgen.

Het voert te ver om in dit artikel deze laatste overwegingen geheel uit te werken. Meer onderzoek is nodig en vanwege de complexiteit van sommige aspecten misschien zelfs vergaand onderzoek.

Conclusies

De algemeen geaccepteerde theorie rond zoutdiapirisme is momenteel gebaseerd op een verondersteld vloeistofachtig gedrag van vast steenzout. Maar kruipexperimenten op NaCl zijn niet verklarend voor de verplaatsingen over tientallen kilometers die in zoutformaties worden waargenomen. Ook de observaties in zoutmijnen niet. Experimentele observaties weerspreken de heersende theorie.

Ook hydrothermische modellen zijn niet in staat zoutpijlervorming te verklaren, omdat het hete water zou vermengen met de sedimenten erboven, waardoor geen pure zoutformatie kan ontstaan.

De observaties suggereren dat de bovenliggende sedimentlagen tezamen met het zout tegelijkertijd vloeistofachtig verplaatsten. Synchrone vloeit van vast steenzout en vast gesteente is onmogelijk. De empirische observaties suggereren dus dat het zout in vloeibare fase was op het moment dat het in vloeibare sedimenten opwaarts verplaatste. Het primaire vulkanische ontstaan van zoutformaties wordt bevestigd door volume, uitgestrektheid en droogheid.

De gedachte dat een enorm volume zoutmagma is gesteld in interactie met een kilometersdikke natte laag sediment is in conflict met uniformitaristische principes.³⁷ De auteurs concluderen dan ook dat een energierijke kortdurende gebeurtenis, zoals de Bijbelse vloed, verantwoordelijk moet zijn voor de afzetting van zoutmagma's in interactie met kilometersdikke modderlagen.

Tabel 1. Dichtheid van zout in vloeibare fase bij atmosferische druk. Deze samenstelling bij ongeveer 1075 K heeft een gemiddelde dichtheid van 1800 kg/m³.¹⁵ NB: In magma's zijn hoge drukken van toepassing die de dichtheid doen toenemen. Hogere temperaturen zullen de dichtheid verlagen. Lagere temperaturen zijn echter aannemelijk, omdat de smeltemperatuur van een mix van NaCl en CaSO₄ slechts 998 K is, en iedere andere chemische verbinding in het mengsel zal het smeltpunt verder doen dalen.¹⁶ Dit mechanisme verklaart de temperaturen van natocarbonatiet lava, die uitstroomt met de laagste lavatemperatuur ter wereld (~850 K). De Ol Doinyo Lengai vulkaan in Tanzania is een voorbeeld.¹⁷

Zout (veel voorkomend in de formaties)	Temperatuur (K)	Dichtheid (vloeistof) (kg/m ³)	Bron	Geschat volume% van zout in de magma (verschilt per formatie)
NaCl	1077	1549	Robertson, 1958 ¹⁸	65%
CaSO ₄	na	2502	* ¹⁹	20%
CaCO ₃	1073	2502	Liu, 2003 ²⁰	5%
KCl	1058	1517	Jaeger, 1917 ²¹	5%
MgCl ₂	1077	1658	Janz, 1988 ²²	5%

Dankwoord

Dr. D.E. Shormann droeg enorm bij aan dit onderzoek. Geduldig heeft hij de tijd genomen om te lezen en te verbeteren, zoals ook Shaun Doyle en andere *reviewers*. Wij willen ze graag bedanken voor de inspanning ons verslag te verbeteren.

Referenties en opmerkingen

- Geologen neigen ernaar om 'zout' en 'steen-zout' te reserveren voor enkel NaCl. Bijvoorbeeld worden kruptesten vooral uitgevoerd op NaCl, en de dichtheid van zoutformaties wordt vaak identiek geacht aan die van NaCl. Echter omvat in de scheikunde het begrip 'zout' alle kristallijne ionische vaste stoffen.
- Roberts, D.G. and Bally, A.W., *Regional Geology and Tectonics: Phanerozoic Passive Margins, Cratonic Basins and Global Tectonic Maps*, Elsevier, Amsterdam, p. 24, 2012.
- Hudec, M.R. and Jackson, M.P.A., *Terra infirma: Understanding salt tectonics*, *Earth-Science Reviews* **82**(1–2):1–28, 2007.
- Boringen BAS-1 en BAS-2 zijn in gebruik voor zoutwinning middels oplosmijnen. De resulterende bodemdaling is hier in kaart gebracht: Houtenbos, A., Bodemdaling NW-Friesland 1976–2009, waddenzeel.nl/fileadmin/content/Dossiers/Energie/pdf/NWFR09.pdf, figuur 3, p. 7, 25 februari 2010
- Urai, J.L., Schléder, Z., Spiers, C.J., and Kukla, P.A., Flow and transport properties of salt rocks; in: Littke, R., Bayer, U., Gajewski, D., and Nelskamp, S. (Eds.), *Dynamics of Complex Intracontinental Basins: The Central European Basin System*, Springer-Verlag, Berlin, figuur 5.2.5, p. 281, 2008.
- NB: De zoutverplaatsing tijdens de test was tegengesteld aan de zouttektoniek die gesimuleerd moest worden. Het van alle richtingen naar een zoutpijler toe persen vereist meer drukverschil. De testconfiguratie is dus niet bruikbaar om de theorie rond het ontstaan van zoutpijlers te onderbouwen.
- Gevantman, L.H. (Ed.), *Physical Properties Data for Rock Salt*, National Bureau of Standards Monograph 167, p. 12, U.S. Department of Commerce, Washington DC, 1981.
- Deze redenering dat een vaste stof niet kan vloeien als een vloeistof was initieel ontwikkeld in November 2016 door Dr Ir W.M. de Jong, INI-Research, Delft, The Netherlands
- Matthews, J.D., The overthrusting paradox: a challenge to uniformitarian geology and evolution, *Journal of Creation* **30**(2):83–91, 2016.
- Heerema, S.J., A magmatic model for the origin of large salt formations, *Journal of Creation* **23**(3):116–118, 2009.
- Heerema, S.J., Clarifying the magmatic model for the origin of salt deposits, creation.com/clarifying-magmatic-model-origin-salt-deposits, 19 November 2013.
- Heerema, S.J., Density overburden in relation to salt tectonics, *Journal of Creation Theology and Science Series C: Earth Sciences* **5**:1–2, 2015; coresci.org.
- Heerema, S.J., *De dichtheid van gesteenten op het Zechstein in relatie tot zouttektoniek; Zoute magma drong opwaarts vanwege dichtheidsverschil*, Grondboor & Hamerpp. 134-139, 2015.
- Rowe, J.J., Morey, G.W., and Zen, C.S., *The Quinary Reciprocal Salt System Na, K, Mg, Ca/Cl, SO₄—A Review of the Literature With New Data*, Geological Survey Professional Paper 741, 1972.
- Deze magma verhouding leidt tot een gemiddelde dichtheid van 2370 kg/m³ voor een vaste zoutformatie op kamertemperatuur. Het stollingsproces verloopt volgens de thermodynamische wetten van een eutecticum, hetgeen leidt tot vrijwel pure lagen van de individuele zouten.
- Persoonlijke communicatie met Emeritus Prof. Dr H.A.J. Oonk, Faculty of Earth Science, University Utrecht. Het eutectische punt van een mengsel van NaCl and CaSO₄ is bij 998 K (bij atmosferische druk). Email per 24 January 2012.
- Mitchell, R.H. and Belton, F.A., Cuspidine-sodalite natrocarbonatite from Oldoinyo Lengai, Tanzania: a novel hybrid carbonatite formed by assimilation of ijolite, *Mineralogical Magazine* **72**(6):1261–1277, 2008.
- Robertson, E.C., Robie, R.A., and Books, K.G., *Physical Properties of Salt, Anhydrite, and Gypsum—Preliminary Report*, Trace Elements Memorandum Report 1048, United States Department of the Interior, Geological Survey, p. 23, August 1958.
- De dichtheid van vloeibare CaSO₄ kon niet door een literatuurstudie worden vastgesteld. Aangezien anhydriet (2970 kg/m³) van vergelijkbare dichtheid is als kalk (2930 kg/m³), nemen wij aan dat de dichtheid van vloeibaar CaSO₄ gelijk zal zijn aan vloeibaar CaCO₃.
- Liu, Q. and Lange, R.A., New density measurements on carbonate liquids and the partial molar volume of the CaCO₃ component, *Contributions to Mineralogy and Petrology* **146**(3):370–381, 2003. NB: De dichtheid van vloeibare CaCO₃ kan niet gemeten worden, aangezien het bij atmosferische druk al voor het smeltpunt is bereikt uiteenvalt in CaO en CO₂. De auteurs vonden een methode om de dichtheid bij atmosferische druk af te leiden. Vanwege de hoge druk in een magma zal decompositie niet optreden.
- Jaeger F.M., Über die Temperaturabhängigkeit der molekularen freien Oberflächenenergie von Flüssigkeiten im Temperaturbereich von -80°C bis +1650°C, *Z. Anorg. Allg. Chem.* **101**:1–214, 1917.
- Janz, G. J., Thermodynamic and Transport Properties of Molten Salt: Correlation Equations for Critically Evaluated Density, Surface Tension, Electrical Conductance, and Viscosity Data, *J. Phys. Chem. Ref. Data* **17**(Suppl. 2), 1988, p. 70.
- Walker, T., A Biblical geologic model; in: Walsh, R.E. (Ed.), *Proceedings of the Third International Conference on Creationism*, Creation Science Fellowship, Pittsburgh, PA, pp. 581–592, 1994.
- Froede, C.R., Akridge, A.J., A developing schism in Flood geology, *Journal of Creation* **27**(2):49–54, 2013.
- Walker, T., The Sedimentary Heavitree Quartzite, Central Australia, was deposited early in Noah's Flood, *Journal of Creation* **29**(1):103–107, 2015.
- Oard, M.J., Flood processes into the Late Cenozoic—Sedimentary rock evidence, *Journal of Creation* **30**(2):67–75, 2016.
- Oard, M.J., Geology indicates the terrestrial Flood/post-Flood boundary is mostly in the Late Cenozoic, *Journal of Creation* **27**(1):119–127, 2013.
- Snelling, A.A., Rock layers folded, not fractured, *Answers Magazine* **4**(2):80–83; answersingenesis.org.
- Natriumchlorid; in: *Ullmans Encyklopädie der Technischen Chemie [Ullman's Encyclopedia of Technical Chemistry]*, 4th revised and extended edition, vol. 17, Verlag Chemie, Weinheim, Germany, p. 180, 1979.
- Hovland, M., Rueslatten, H.G., Johnsen, H.K., Kvamme, B., and Kuznetsova, T., Salt formation associated with sub-surface boiling and supercritical water, *Marine and Petroleum Geology* **23**:855–869, 2006.
- Snelling, A.A., *Earth's Catastrophic Past: Geology, Creation & the Flood*, Institute for Creation Research, Dallas, TX, pp. 937–944, 2009.
- NB: stoom of water in superkritische fase kan geen NaCl bevatten. Dit voorkomt dat de zoutmagma uit de modderige bovenlagen water opneemt.
- Fringe Coppershale Member ZE1E, dinoloket.nl/fringe-coppershale-member-zez1e, accessed 23 November 2016.
- Warren, J.K., *Evaporites: sediments, resources and hydrocarbons*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, Table 1.1, p. 3, 2006.

35. Luhr, J.F., Primary igneous anhydrite: Progress since its recognition in the 1982 El Chichón trachyandesite, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **175**(4):394–407, 2008.
36. Z4 Pegmatite Anhydrite Member ZE4A, dinoloket.nl/z4-pegmatite-anhydrite-member-ze4a, accessed 23 November 2016.
37. Reed, J.K., Changing paradigms in stratigraphy—“a quite different way of analyzing the record”, *Journal of Creation* **30**(1):83–88, 2016.
38. Jackson, M.P.A. and Seni, S.J., Geometry and evolution of salt structures in a marginal rift basin of the Gulf of Mexico, east Texas, *Geology* **11**(3):131–135, 1983.
39. Figuur 1 is naar verwachting nog steeds een accurate weergave, gezien het gebruik in: Salt Tectonics - University of Colorado Boulder, yumpu.com/en/document/view/35773055/salt-tectonics-university-of-colorado-boulder, p. 33, accessed 15 June 2017. De cursus inhoud is van 2010–2011.
40. Cramez, C., Salt Tectonics Short Course, Universidade Fernando Pessoa, Porto, Portugal, homepage.ufp.pt/madinis/SaltTectonics/SaltTectonicsFiles/Pages/Page1.htm, March 2006. Dit plaatje van de Sigsbee Structural High was onderdeel van de cursus in 2010, maar nu niet traceerbaar. Maar de verplaatsing zoals getoond wordt bevestigd in: Hudec, M.R. and Jackson, M.P.A., Advance of allochthonous salt sheets in passive margins and orogens, *AAPG Bulletin* **90**(10):1535–1564, 2006; figure 8.
41. Trusheim, F., Mechanism of salt migration in northern Germany, *AAPG Bulletin* **44**:1519–1540, 1960.
42. Nettleton, L.L., Fluid mechanics of salt domes. *AAPG Bulletin* **18**:1175–1204, 1934.
43. Li, S. and Li, H., Parallel AMR Code for Compressible MHD or HD Equations, math.lanl.gov, accessed 18 December

Stef Heerema is bestuurssecretaris Logos Instituut en bestuurslid van ForumC, twee Nederlandse stichtingen. Hij heeft een bachelor in vliegtuigbouwkunde. Hij was betrokken bij warmtebehandelingsprocessen in gesmolten zout en verkocht stoominstallaties. Hij is ook gedetacheerd geweest naar Engeland voor de engineering van een Uranium verrijkingsfabriek. Als zelfstandig ingenieur onderzocht hij de haalbaarheid van een zoutmijn in Nederland. Hij verzorgt presentaties over het ontstaan van zoutformaties en ijstijd kenmerken. Dit onderzoek zal gepresenteerd worden op de European Creation Conference in Londen op 22 September 2018.

Gert-Jan van Heugten is Master of Science in Chemical Engineering. Hij is een voormalig bestuurslid van Logos Instituut. Hij is eigenaar van WaaromSchepping, een onderneming met het doel de scheppingsboodschap middels spreekbeurten en schriftelijke publicaties bekend te maken. Sinds 2012 is Gert-Jan schrijver en redacteur voor Weet Magazine, een Nederlandstalig creationistisch blad. In 2018 publiceerde hij een boek over de Bijbelse ouderdom van de aarde voor een breed publiek.