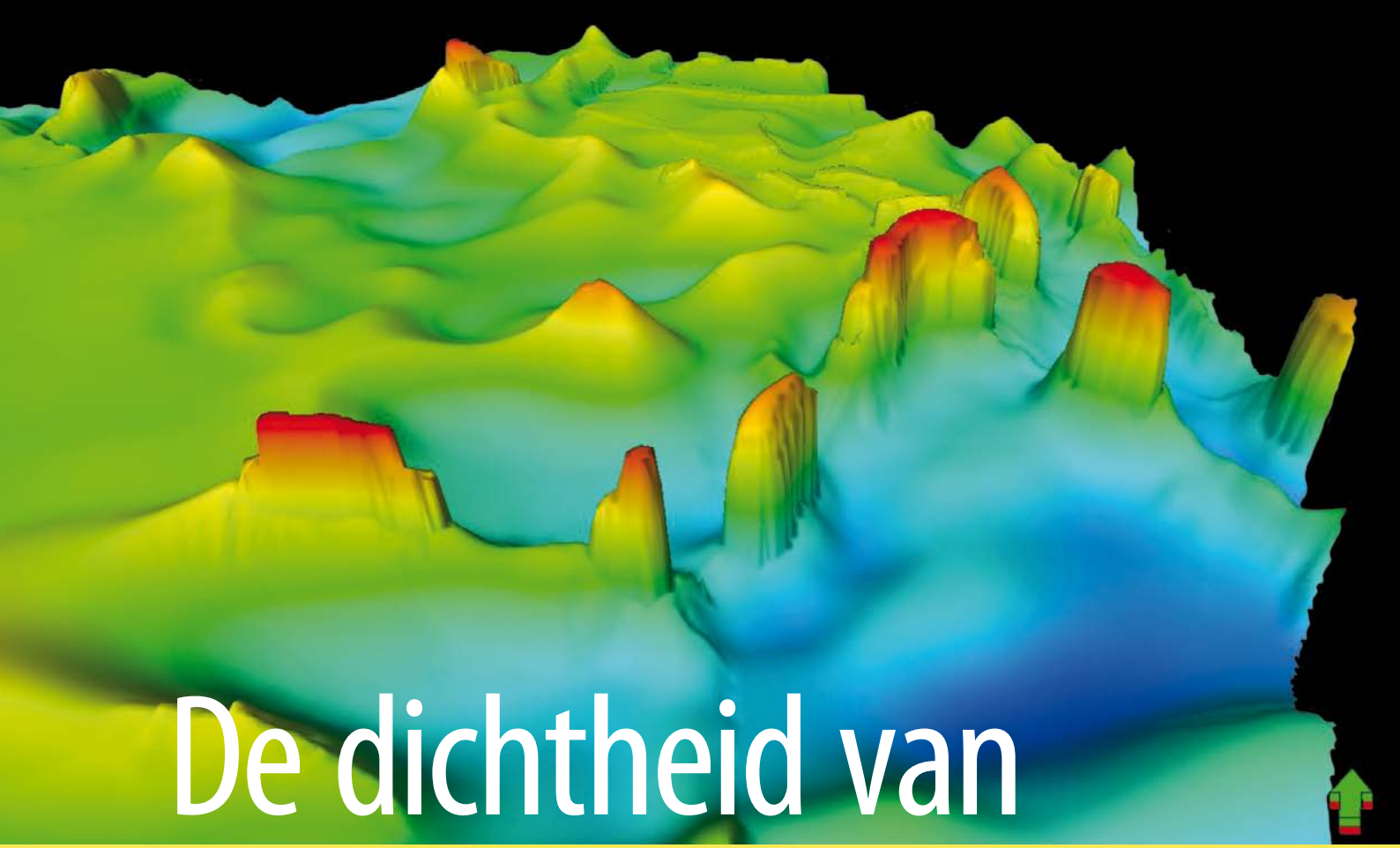


# De dichtheid van gesteenten op het Zechstein in relatie tot zouttektoniek

## *Zoute magma drong opwaarts vanwege dichtheidsverschil*

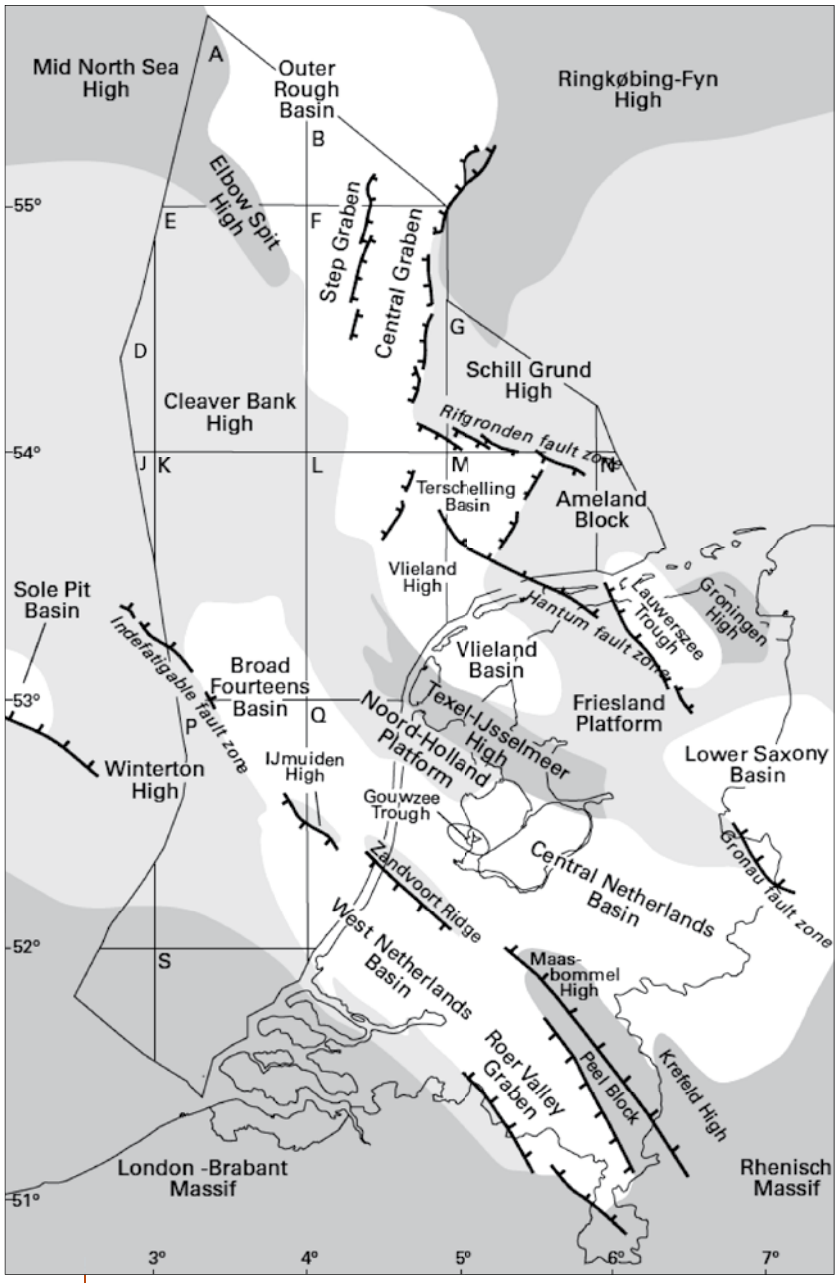
Stef Heerema
info@ManufacturingEngineers.nl

**Zoutpijlers kunnen kilometers hoog zijn en kunnen reiken tot boven het maaiveld. Algemeen wordt verondersteld dat ze zijn ontstaan doordat bovenliggende lagen (de zg. overburden) de lichtere zoutlaag omhoog zouden hebben geperst. Het zout zou sinds het Trias, toen het pakket afzettingen op het zout een dikte van 500 m overschreed, zijn gaan vloeien. Het zoutgesteente verplaatste zich daarbij over soms tientallen kilometers horizontaal en kilometers verticaal. Dit vloeimechanisme staat bekend als *diapirisme, halokinese* of *zouttektoniek*.**

Afbeelding linkerpagina | *Drie kilometer hoge zoutpijlers onder Noord-Nederland raken op een paar honderd meter na het maaiveld. Ze zijn volledig begraven onder sedimentair gesteente. Bron: TNO Geological Survey of The Netherlands.*

Citaat uit 'Geology of the Netherlands' (Wong *et al.*, 2007): *"Rock salt compacts already during early stages of burial to a tight mass with a constant density of 2.168 kg/m³. Other sediments show an increase in density with depth owing to cementation and the reduction of pore volume as a function of overburden and pore pressures. Consequently, in near-surface positions, where sand and clay typically show densities of 1.200 to 1.400 kg/m³, halite is relatively heavy, whilst below 500 m it is lighter than surrounding rocks. This results in an unstable situation."*

Tabel 1 geeft een overzicht van de diverse dichtheden die worden aangenomen in modellen om zouttektoniek te simuleren en te verklaren.




Afbeelding 1. | *Kaart van het Nederlandse deel van de Noordzee. Het onderzoek heeft zich beperkt tot alle offshore boringen in de blokken B, D, F, J, M en N. Bron: TNO - Geological Survey of the Netherlands.*

Deze uitgangspunten worden niet ondersteund door onderzoek dat de veronderstelde dichtheden van de betrokken gesteenten aantoont. Ook wordt in de bovenliggende lagen de gebergtevorming, die gepaard moet gaan met deze voortgaande zoutverplaatsing, niet waargenomen. Daarom werd het ontstaan van zoutpijlers ook wel vergeleken met het proces in een lavalamp. In een lavalamp rijst de ene vloeistof omhoog en geeft de andere vloeistof weerstandsloos ruim baan. Toch is het onvoorstelbaar dat beide gesteenten, zout en *overburden*, zo weerstandsloos hebben gevloeid. Alle reden dus om zouttektoniek en de onderbouwing van de vermeende dichtheidsverschillen eens nader te onderzoeken.

## Dichtheidsonderzoek *overburden*

Deze studie richt zich op aardlagen uit achtereenvolgens Trias, Jura, Krijt, Tertiair en Kwartair boven het Zechstein (Perm). Van deze gesteenten, tot een diepte van maximaal drie kilometer, zijn de dichtheden geïnventariseerd. Alle 177 boringen in het Nederlandse deel van de Noordzee, in de blokken B, D, F, J, M en N, waarvan de data beschikbaar waren via www.nlog.nl in de periode februari tot mei 2014, zijn geanalyseerd. Zie afbeelding 1 voor een overzichtskaart.

Van slechts een beperkt aantal boringen zijn van boorkernen de korreldichtheid en de porositeit vastgesteld. Door de korreldichtheid te vermenigvuldigen met de porositeit is de actuele dichtheid van het droge gesteente nauwkeurig te berekenen. Uitgaande van met water á 1.000 kg/m³ gevulde poriën kan de werkelijke dichtheid worden benaderd. De resultaten zijn getoond in Tabel 2 en ingetekend in afbeelding 2. De *overburden* blijkt fors lichter dan de waardes in tabel 1. Mogelijk is het effect van porositeit en de diepte afhankelijkheid onderschat in de modelvorming.

## Dichtheidsonderzoek steenzout

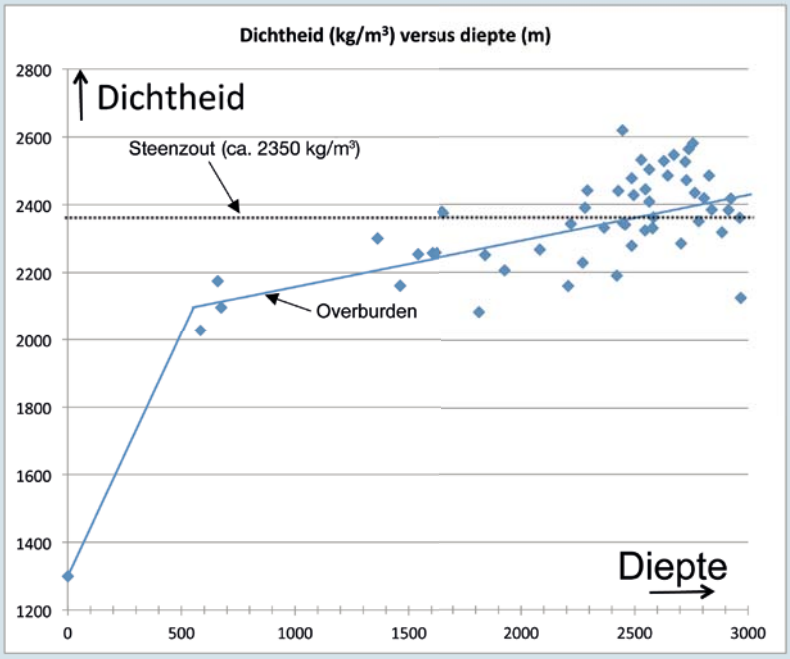
Steenzout is een mix van allerlei zouten waaronder bijvoorbeeld het zware anhydriet. In Tabel 3 worden alle dichtheidsmetingen van lagen in het Zechstein genoemd. Helaas zijn aan zoutkernen uit de vakken B, D, F, J, M en N slechts enkele dichtheidsmetingen uitgevoerd. Om een goed beeld te verkrijgen zijn gegevens

van enkele onshore boringen toegevoegd. Het valt op dat het steenzout met een dichtheid van 2.702 kg/m$^3$ gemiddeld veel zwaarder is dan in Tabel 1 is aangenomen. Daarbij moet wel opgemerkt worden dat de Z2 en Z3 zoutlagen niet gesampled zijn. Deze bestaan grotendeels uit haliet met een dichtheid van 2.168 kg/m$^3$. Het polytechnisch zakboekje (Tysma *et al.*, 1993) bepaalt het steenzout op 2.300-2.400 kg/m$^3$. Dat is aannemelijk met de beschikbare gegevens, daarom is in afbeelding 2 een waarde van ca. 2.350 kg/m$^3$ genomen voor steenzout.

Afbeelding 3. | *De vloeistof in een lavalamp stijgt op, als gevolg van dichtheids-verschil.*

| Studie | Zout dichtheid (kg/m$^3$) | Overburden (kg/m$^3$) | Dichtsheids-verschil (kg/m$^3$) | Diepte afhankelijkheid |
|---|---|---|---|---|
| Schultz-Ela *et al.*, 1993 | 2200 | 2400 | 200 | Diepte onafhankelijk |
| Keken *et al.*, 1993 | 2160 | 2300 | 140 | Diepte onafhankelijk |
| Poliakov *et al.*, 1996 | 2200 | 2500 | 300 | Diepte onafhankelijk |
| Davison *et al.*, 1996 | ? | 2500 | ? | Diepte onafhankelijk |
| Gemmer *et al.*, 2005 | 2200 | 2300 | 100 | Diepte onafhankelijk |
| Wong et al., 2007 | 2168 | 1300 (at surface) 2168 (at 500 m) | ? | Diepte afhankelijk |
| Fuchs *et al.*, 2011 | 2264 | 2600 | 336 | Diepte onafhankelijk |

Tabel 1. | *Dichtheden zoals toegepast in verschillende modellen om zouttektoniek te verklaren. De diepte afhankelijkheid wordt grotendeels genegeerd. Ondanks de grote onderlinge verschillen wordt geen van de gebruikte waarden onderbouwd met een dichtheidsonderzoek. Opmerking m.b.t. Poliakov* et al. *(1996): hoewel op pagina 292 wordt aangegeven dat de dichtheid zou variëren van 1.800 kg/m$^3$ aan de oppervlakte tot 2.500 kg/m$^3$ op 4 km diepte, zijn deze dichtheden niet in het model toegepast.*




Afbeelding 2. | *De dichtheid van steenzout is diepte-onafhankelijk, vanwege de verwaarloosbare porositeit. De dichtheid van de overburden is bepaald met de data uit Tabel 2. Deze neemt toe met de diepte, vanwege de porositeit die compactie en cementatie toelaat. Sedimentaire gesteenten onder een overburden van ca. 2.500 meter verkrijgen een hogere dichtheid dan steenzout.*

## Bespreking resultaten

Het is duidelijk dat de data uit Tabel 1 niet overeenkomen met de feitelijke situatie zoals samengevat in afbeelding 2. De data waarop de modellen ter verklaring van zouttektoniek zijn gebouwd, zijn dus onjuist.

Toch is de eerste indruk dat zoutpijlers zijn ontstaan door een lavalamp-achtige dichtheidsverschil-gedreven-beweging wel mogelijk (Afb. 3). *(Vervolg op pagina 139)*

| Periode | Stratigrafische eenheid Zie tabelopmerking * | Boring | Aantal metingen | Diepte (m) ** | Porositeit (%) | Dichtheid (Kg/m$^3$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Kwartair-Tertiair | Boven-Noordzee Groep | Wong, 2007 | - | 0 | - | 1300 |
| Kwartair-Tertiair | Boven-Noordzee Groep | B10-03 | 74 | 584 | 39.3 | 2028 |
| Kwartair-Tertiair | Boven-Noordzee Groep | B17-05 | 75 | 660 | 30.7 | 2175 |
| Kwartair-Tertiair | Boven-Noordzee Groep | B17-06 | 34 | 675 | 33.8 | 2097 |
| Boven-Krijt | Krijtkalk Groep | B13-02 | 7 | 1624 | 26.1 | 2258 |
| Boven-Krijt | Krijtkalk Groep | B13-01 | 8 | 1814 | 37.6 | 2082 |
| Boven-Krijt | Ekofisk Formatie | B14-01 | 12 | 1927 | 28.5 | 2206 |
| Boven-Krijt | Ommelanden Formatie | F06-02 | 2 | 1463 | 31.7 | 2162 |
| Boven-Krijt | Ommelanden Formatie | F02-A-03 | 5 | 1541 | 26.1 | 2254 |
| Boven-Krijt | Ommelanden Formatie | F03-03 | 23 | 1656 | 18.8 | 2375 |
| Boven-Krijt | Ommelanden Formatie | F03-01 | 14 | 1842 | 15.3 | 2251 |
| Boven-Jura/Onder-Krijt | Vlieland Kleisteen Formatie | M04-01 | 20 | 2628 | 8.8 | 2528 |
| Boven-Jura/Onder-Krijt | Vlieland Kleisteen Formatie | M07-03 | 15 | 2723 | 12.4 | 2526 |
| Boven-Jura/Onder-Krijt | Kimmeridge Klei Formatie | B14-01 | 61 | 2219 | 15.8 | 2343 |
| Boven-Jura/Onder-Krijt | Kimmeridge Klei Formatie | F03-FB-107 | 21 | 2546 | 20.5 | 2324 |
| Boven-Jura/Onder-Krijt | Scruff Groenzand Formatie | B13-02 | 35 | 2271 | 24.6 | 2228 |
| Boven-Jura/Onder-Krijt | Scruff Groenzand Formatie | F03-01 | 36 | 2365 | 20.7 | 2331 |
| Boven-Jura/Onder-Krijt | Scruff Groenzand Formatie | B18-03 | 48 | 2421 | 27.4 | 2190 |
| Boven-Jura/Onder-Krijt | Scruff Groenzand Formatie | F03-07 | 73 | 2487 | 21.5 | 2278 |
| Boven-Jura/Onder-Krijt | Stortemelk Laagpakket | F18-10-S1 | 29 | 2082 | 20.8 | 2267 |
| Boven-Jura/Onder-Krijt | Stortemelk Laagpakket | F15-A-01 | 52 | 2565 | 15.3 | 2409 |
| Boven-Jura/Onder-Krijt | Stortemelk Laagpakket | M07-03 | 22 | 2729 | 14.7 | 2472 |
| Boven-Jura/Onder-Krijt | Scruff Spiculiet Laagpakket | F18-01 | 50 | 2208 | 28.7 | 2159 |
| Boven-Jura/Onder-Krijt | Scruff Spiculiet Laagpakket | F15-A-01 | 29 | 2580 | 19.5 | 2330 |
| Boven-Jura/Onder-Krijt | Scruff kleiig Laagpakket | F18-05 | 43 | 2449 | 18.8 | 2345 |
| Boven-Jura/Onder-Krijt | Boven-Slenk Formatie | F03-FB-107 | 197 | 2579 | 21.0 | 2330 |
| Boven-Jura/Onder-Krijt | Boven-Slenk Formatie | F03-03 | 4 | 2583 | 17.2 | 2362 |
| Boven-Jura/Onder-Krijt | Boven-Slenk Formatie | F03-04 | 57 | 2766 | 11.5 | 2435 |
| Boven-Jura/Onder-Krijt | Vlieland Boven Kleisteen Formatie | F03-FB-105-S3 | 27 | 2962 | 20.4 | 2361 |
| Boven-Jura/Onder-Krijt | Midden-Slenk Zandsteen Laagpakket | F03-FB-105-S3 | 6 | 2967 | 31.4 | 2124 |
| Boven-Jura/Onder-Krijt | Onder-Slenk Formatie | F11-01 | 62 | 2282 | 18.0 | 2390 |
| Boven-Jura/Onder-Krijt | Onder-Slenk Formatie | B18-03 | 11 | 2782 | 13.5 | 2351 |
| Boven-Jura/Onder-Krijt | Onder-Slenk Formatie | F03-08 | 33 | 2840 | 15.7 | 2385 |
| Boven-Jura/Onder-Krijt | Onder-Slenk Formatie | F03-01 | 42 | 2913 | 17.4 | 2384 |
| Boven-Jura/Onder-Krijt | Onder-Slenk Formatie | F03-07 | 18 | 2924 | 14.8 | 2418 |
| Boven-Jura/Onder-Krijt | Puzzle Hole Formatie | F09-02 | 36 | 1605 | 25.7 | 2258 |
| Boven-Jura/Onder-Krijt | Friese Front Formatie | F17-06 | 10 | 1651 | 17.7 | 2379 |
| Boven-Jura/Onder-Krijt | Friese Front Formatie | F18-07 | 11 | 2447 | 8.6 | 2619 |
| Boven-Jura/Onder-Krijt | Friese Front Formatie | F17-04 | 28 | 2458 | 19.0 | 2341 |
| Boven-Jura/Onder-Krijt | Friese Front Formatie | F15-06 | 3 | 2487 | 9.2 | 2478 |
| Boven-Jura/Onder-Krijt | Friese Front Formatie | F18-10-S2 | 19 | 2495 | 15.3 | 2428 |
| Boven-Jura/Onder-Krijt | Friese Front Formatie | F18-02 | 10 | 2564 | 9.6 | 2504 |
| Boven-Jura/Onder-Krijt | Friese Front Formatie | F18-09-S1 | 34 | 2672 | 11.4 | 2546 |
| Boven-Jura/Onder-Krijt | Friese Front Formatie | M04-02 | 6 | 2828 | 6.9 | 2485 |
| Boven-Jura/Onder-Krijt | Terschelling Zandsteen Laagpakket | M01-01 | 27 | 2292 | 15.2 | 2441 |

Tabel 2. | *Voor vervolg en uitleg zie volgende pagina.*

| Periode | Stratigrafische eenheid Zie tabelopmerking * | Boring | Aantal metingen | Diepte (m) ** | Porositeit (%) | Dichtheid (Kg/m³) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Boven-Jura/Onder-Krijt | Terschelling Zandsteen Laagpakket | M04-02 | 52 | 2645 | 11.4 | 2485 |
| Boven-Jura/Onder-Krijt | Rifgronden Laagpakket | F17-04 | 27 | 2547 | 12.4 | 2445 |
| Midden/Onder-Jura | Onder-Werkendam Formatie, ATWDL | F11-01 | 71 | 2530 | 11.3 | 2532 |
| Trias | Solling Formatie | M08-02 | 71 | 2428 | 14.7 | 2440 |
| Trias | Onder-Detfurth Formatie, Zandsteen | F10-01 | 134 | 2704 | 21.6 | 2285 |
| Trias | Onder-Detfurth Formatie, Zandsteen | M07-02 | 11 | 2738 | 8.5 | 2563 |
| Trias | Volpriehausen Formatie, Klei en Siltsteen | N07-01 *** | 5 | 1363 | 21.1 | 2301 |
| Trias | Volpriehausen Formatie, Klei-Siltsteen | M07-02 | 144 | 2757 | 7.8 | 2581 |
| Trias | Onder-Volpriehausen Formatie, Zandsteen | M07-02 | 39 | 2805 | 13.5 | 2419 |
| Trias | Onder-Volpriehausen Formatie, Zandsteen | M07-05-S1 | 59 | 2885 | 20.7 | 2318 |
| Totaal aantal metingen | | | 2042 | | | |

Tabel 2. | *Porositeiten en dichtheden van boorkernen uit diverse lagen van de overburden. Van elke stratigrafische laag zijn alle metingen per boring gemiddeld. De vermelde dichtheid is berekend door de korreldichtheid te vermenigvuldigen met de porositeit en door aan de poriën een dichtheid van 1.000 kg/m³ toe te kennen.*
*(Opmerkingen bij tabel 2; * Details betreffende de stratigrafische eenheden kunnen worden gevonden bij www.dinoloket.nl, bijvoorbeeld: https://www.dinoloket.nl/ommelanden-formation-ckgr. ** De diepte langs het boorgat is gecorrigeerd voor deviatie in geval het verschil groter was dan 10 m. *** Van boring M07-01 en N07-01 zijn op een diepte van 1363 m exact identieke resultaten geadministreerd. Via de originele onderzoeksrapporten kon worden vastgesteld dat alleen de data van N07-01 correct zijn. Daarom is M07-01 uit dit overzicht gelaten.)*

| Zoutlaag (Zechstein) | Boring | Aantal metingen | Diepte (m) | Porositeit % | Dichtheid kg/m³ |
|---|---|---|---|---|---|
| Zechstein Caprock | F15-06 | 54 | 2523 | 11.9 | 2569 |
| Zechstein Groep **** | AKM-14 | 67 | 1944 | 18.6 | 2440 |
| Of, waarschijnlijk: | | | | | |
| *Zechstein Boven-Kleisteen Formatie en:* | *AKM-14* | *59* | *1943* | *20.9* | *2373* |
| *Z4 PegmatietAnhydriet Laagpakket* | *AKM-14* | *8* | *1953* | *1.3* | *2935* |
| Z3 Carbonaat Laagpakket | SLO-01 | 3 | 1354 | 10.7 | 2739 |
| Z2 BasaalAnhydrietLaagpakket | SLO-04 | 3 | 2618 | 1.0 | 2667 |
| Z2 Carbonaat Laagpakket | AKM-13 | 32 | 2174 | 2.9 | 2662 |
| Z2 Carbonaat Laagpakket | SLO-04 | 18 | 2607 | 1.5 | 2709 |
| Z2 Carbonaat Laagpakket | SLO-01 | 23 | 2608 | 4.2 | 2658 |
| Z2 Carbonaat Laagpakket | ANA-01 | 11 | 2828 | 1.2 | 2721 |
| Z2 Carbonaat Laagpakket | D15-02 | 22 | 3204 | 1.5 | 2759 |
| Z1 Anhydriet Laagpakket | SLO-04 | 4 | 2624 | 0.2 | 2886 |
| Z1 Anhydriet Laagpakket | SLO-01 | 46 | 2630 | 1.5 | 2874 |
| Z1 Anhydriet Laagpakket | D15-02 | 38 | 3213 | 0.3 | 2886 |
| Z1 Carbonaat Laagpakket | SLO-04 | 10 | 2644 | 1.7 | 2712 |
| Z1 Carbonaat Laagpakket | SLO-01 | 21 | 2646 | 6.2 | 2656 |
| Z1 Carbonaat Laagpakket | ANL-01 | 2 | 3271 | 8.3 | 2597 |
| Totaal aantal metingen | | 354 | Gemiddelde dichtheid | | 2702 |

Tabel 3. | *Porositeiten en dichtheden van boorkernen uit diverse Zechstein-zoutlagen. Van elke stratigrafische laag zijn alle metingen per boring gemiddeld. De vermelde dichtheid is berekend door de korreldichtheid te vermenigvuldigen met de porositeit en door aan de poriën een dichtheid van 1.000 kg/m³ toe te kennen. NB: Betreffende het Z4 PegmatietAnhydriet Laagpakket: Pegmatietkristallen wijzen veelal op een vulkanisch gesteente. Het is opmerkelijk dit te vinden in een indampingsgesteente. Sinds 1982 wordt onderkend dat anhydriet voorkomt in stollingsgesteenten (Luhr, 2008). Voorheen werd anhydriet uitsluitend gekend als indampingsgesteente.*
*(Opmerkingen bij tabel 3; **** De naam 'Zechstein Groep' is vaag, aangezien er daarbinnen vele lagen te onderscheiden zijn. Deze data kan verdeeld worden in 59 en 8 onderscheiden metingen. Mogelijk behorend tot respectievelijk de Zechstein Boven-Kleisteen Formatie en het Z4 Pegmatiet Anhydriet Laagpakket. Dit dient dan wel geverifieerd te worden aan de kernen zelf.)*

*(Vervolg van pagina 136)* Namelijk, door vloeibaar gesteente als uitgangspunt te nemen. In Tabel 4 zijn de dichtheden van de betrokken vloeibare zouten geïnventariseerd. Een zoute magma is aanmerkelijk lichter dan de gestolde vorm. Zo'n magma heeft een dichtheid van ongeveer 2000 kg/m$^3$, wat zich al stollend een weg door de sedimenten er boven zou banen.

| De zouten die onderdeel uitmaken van steenzout | Temperatuur(K) | Dichtheid (kg/m$^3$) | Bron |
|---|---|---|---|
| NaCl | 1077 | 1549 | Robertson *et al.*, 1958 |
| $CaCO_3$ | 1073 | 2502 | Liu en Lange, 2003 |
| KCl | 1058 | 1517 | Jaeger, 1917 |
| $MgCl_2$ | 1077 | 1658 | Janz, 1988 |
| $CaSO_4$ | - | ? | - |

TABEL 4. | *De dichtheden van de betrokken zouten in vloeibare fase bij atmosferische druk. Een beperkte literatuurstudie leverde geen gegevens op van anhydriet. De belangrijkste component van steenzout, NaCl, smelt bij 1074 K. Elk zout dat aan de smelt wordt toegevoegd, verlaagt de smelttemperatuur verder. Een zoutmagma heeft dus een betrekkelijk laag smeltpunt. N.B.; Liu en Lange bepalen rekenkundig de dichtheid bij atmosferische druk. In een magma treedt geen decompositie naar CaO en $CO_2$ op, vanwege de hoge druk.*

Dergelijke magma's komen voor en zijn zeer dun vloeibaar, als water. Alle ionen, die de zouten in steenzout hebben gevormd, worden bijvoorbeeld gevonden in de lava van de Ol Doinyo Lengai (Mitchell, 2008). Deze magma komt voort uit de mantel.

## Tot slot

Uiteraard vereist een dergelijk scenario een totale ommekeer in het huidige geologisch denken. In plaats van steenzout te duiden als een indampingsgesteente, onderworpen aan langzame processen, wordt nu een vulkanisch ontstaan voorgesteld. Aangezien een catastrofaal ontstaan meer verklarend is voor zoutdiapirisme is dit zeker het overwegen waard.

## LITERATUUR


- **Davison, I., I. Alsop & D. Blundell, 1996.** *Salt tectonics: some aspects of deformation mechanics, Geological Society, London, Special Publications, v.100, 8 pp.*

- **Fuchs, L., H. Schmeling & H. Koyi, 2011.** *Numerical models of salt diapir formation by down-building: the role of sedimentation rate, viscosity contrast, initial amplitude and wavelength, Geophysical Journal Int., 3 pp.*

- **Gemmer, L., C. Beaumont & S.J. Ings, 2005.** *Dynamic modelling of passive margin salt tectonics: effects of water loading, sediment properties and sedimentation patterns, Basin Research 17, pp. 383–402; Fig 6.*

- **Jaeger F.M., 1917.** *Über die Temperaturabhängigkeit der molekularen freien Oberflächenenergie von Flüssigkeiten im Temperaturbereich von -80°C bis +1650°C, Z.Anorg.Allg.Chem. 101, pp. 1-214.*

- **Janz, G. J., 1988.** *Thermodynamic and Transport Properties of Molten Salts: Correlation Equations for Critically Evaluated Density, Surface Tension, Electrical Conductance, and Viscosity Data, J. Phys. Chem. Ref. Data, 17, Suppl. 2, 70 pp.*

- **Keken, P.E. van, C.J. Spiers, A.P. van den Berg & E.J. Muyzert, 1993.** *The effective viscosity of rocksalt: implementation of steady-state creep laws in numerical models of salt diapirism, Figure 5.4, Tectonophysics, 69 pp.*

- **Liu, Q. & R.A. Lange, 2003.** *New density measurements on carbonate liquids and the partial molar volume of the $CaCO_3$ component; Abstract; Contributions to Mineralogy and Petrology; vol. 146, issue 3, pp. 370-381.*

- **Luhr, J.F., 2008.** *Primary igneous anhydrite: Progress since its recognition in the 1982 El Chichón trachyandesite, Journal of Volcanology and Geothermal Research 175(4): pp. 394–407.*

- **Mitchell, R.H. & F.A. Belton, 2008.** *Cuspidine-sodalite natrocarbonatite from Oldoinyo Lengai, Tanzania: a novel hybrid carbonatite formed by assimilation of ijolite, Mineralogical Magazine, December, Vol. 72(6), pp. 1261–1277.*

- **Poliakov, A. N. B., Y.Y. Podladchikov, E.C. Dawson & C.J. Talbot, 1996.** *Salt diapirism with simultaneous brittle faulting and viscous flow; Geological Society, London, Special Publications, 100: pp. 291-302, 296 pp.*

- **Robertson, E.C., R.A. Robie & K.G. Books, 1958.** *Physical Properties of Salt, Anhydrite, and Gypsum--Preliminary Report, Trace Elements Memorandum Report 1048, United States Department of the Interior, Geological Survey: 23 pp.*

- **Schultz-Ela, D.D., M.P.A. Jackson & B.C. Vendeville, 1993.** *Mechanics of active salt diapirism; Tectonophysics, 228, 304 pp.*

- **Tysma, S., *et al.*, 1993.** *Poly Technisch Zakboekje, Royal PBNA, 45th edition, ISBN 90-6228-217-2, hoofdstuk E1, Tabel 1.25.*

- **Wong, Th.E., D.A.J. Batjes & J. de Jager, 2007.** *Geology of the Netherlands, Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences, Chapter concerning Salt edited by Geluk, M.C., W.A. Paar & P.A. Fokker, 284 pp.*