

# GRONDBOOR & HAMER

NR 4/5 2010  
Jaargang 64

Nederlandse Geologische Vereniging



Zoutspecial

## GRONDBOOR & HAMER

is de tweemaandelijks uitgave van de Nederlandse Geologische Vereniging. <http://www.geologischevereniging.nl> [info@geologischevereniging.nl](mailto:info@geologischevereniging.nl). Leden van de NGV ontvangen van elk nummer van Grondboor & Hamer één exemplaar kosteloos. Losse exemplaren zijn, voor zover nog voorradig, bij voorkeur via e-mail of brief te bestellen bij Eise Boonstra | Noord 15 | 2931 SJ Krimpen aan de Lek | 0180-515244 | [bodeko@planet.nl](mailto:bodeko@planet.nl)



## COLOFON

### REDACTIE

Hoofdredactie: Bert de Boer  
Eindredactie: Emile Gevers  
Beeldredactie: Emile Gevers  
Redactie: Ronald van Balen, Cees Laban, Rieks van der Straaten en Geert-Jan Vis.

### KOPIJ

Graag per-mail of cd-rom opsturen naar het redactiesecretariaat: Bert de Boer | Lopikerweg 72a | 2871 AW Schoonhoven | tel: 0182 385791 | [lemdeboer@hetnet.nl](mailto:lemdeboer@hetnet.nl). Het tekstbestand moet geschreven zijn in Word en niet worden opgemaakt. De illustraties dienen apart en dus niet in het tekstbestand te worden aangeleverd, in een kwalitatief goede vorm (minimaal 300 dpi bij 10 x 15 cm). De hoofdredacteur bepaalt de geschiktheid voor plaatsing. Een of twee redactieleden bewerken het artikel, inhoudelijk en tekstueel, in overleg met de auteur. Tips en richtlijnen voor auteurs kunnen op verzoek door het redactiesecretariaat worden toegezonden.

### FOTO OMSLAG

Uitzicht op de diapier van Cardona (Spanje). De zouten zijn geplooid tijdens het stijgen.

### © 2010

Grondboor & Hamer, Nederlandse Geologische Vereniging. Zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de redactie mag niets uit dit tijdschrift worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, microfilm of op welke andere wijze dan ook.

### EXTRA INFORMATIE G&H

Regelmatig wordt extra informatie (boekbesprekingen, lange literatuurlijsten etc.) op de website van de NGV ([www.geologischevereniging.nl](http://www.geologischevereniging.nl)) in de rubriek Grondboor & Hamer Extra geplaatst.

### VORMGEVING

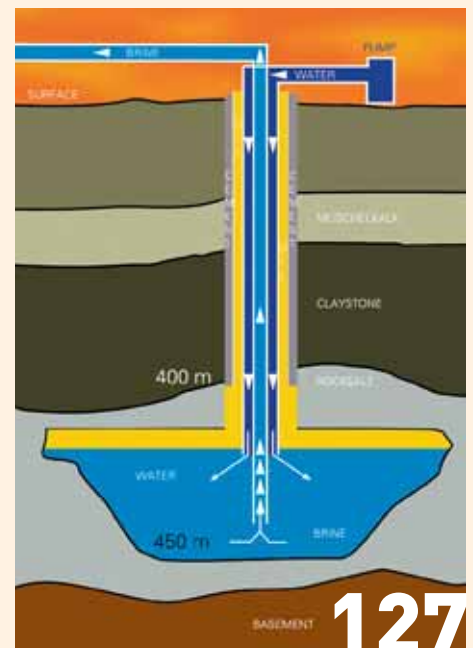
Room for ID's, Nieuwegein.

### DRUK

Grafisch Compleet, Capelle aan den IJssel.

## INHOUD

- 101** RONALD VAN BALEN  
VOORWOORD
- 103** MARK GELUK  
ZOUTMEREN EN -ZEEËN IN  
DE NEDERLANDSE ONDERGROND
- 111** CEES LABAN  
ZOUT NABIJ DE ZEEBODEM
- 114** CHRIS SPIERS  
STROPERIG STEENZOUT:  
DE GEHEIMEN VAN EEN BIJZONDER GESTEENTE
- 120** WIM DE GANS & ED DUIN  
STEENZOUT, OPPERVLAKTEVORMEN EN LANDIJS
- 127** WIM PAAR  
ZOUTWINNING IN NEDERLAND, EEN OVERZICHT
- 133** JAAP BREUNESE  
ZOUTWINNING EN BODEMDALING BIJ HARLINGEN



RONALD VAN BALEN

Afdeling Aardwetenschappen Vrije Universiteit Amsterdam  
Ronald.van.balen@falw.vu.nl, <http://www.falw.vu/~balr>

# VOORWOORD

*Het Zout is wonder nut, het moet'et al bewaren,  
Wie kan'er sonder dat in verre Landen varen?  
Al wat den mensche voedt, al wat men zuysel hiet,  
En deugt of sonder Zout, of sonder Pekel niet.  
Geen Kock en kan bestaen, geen Meyt en weet te koken,  
Soo haest als haer het Zout of pekel heeft ontbroken;  
En wie de Tafel deekt, en Zout daer op vergeet,  
Die toont dat hy sijn ampt in geenen deel en weet.  
Zout dient ontrent het vleesch, het dient ontrent de vissen,  
Dies kan men beter gout, als zout op aerden missen:  
Maer hier en over-al soo dient de middel-maet,  
Want als men die vergeet, soo wordt het goede quaet.*

*(Jacob Cats (1577 - 1660): Op Zout.)*

Voor u ligt het jongste themanummer van Grondboor & Hamer, met dit keer als onderwerp: Zout. Zout is misschien wel het meest ondergewaarde mineraal op onze aardbol. Wie kent niet het sprookje waarin drie prinsessen moeten aantonen hoeveel zij van hun vader houden? "Als van het zoetste suiker", zegt de eerste, "als van mijn mooiste jurk" fleemt de tweede. De derde verklaart van haar vader te houden als van zout - en wordt per omgaande het paleis uitgezet.

En wat zou u zelf liever aantreffen in uw achtertuin: een goudmijn, of een zoutmijn? Toch is zout onmisbaar, en goud niet. In de oudheid was men zich hier meer van bewust dan heden ten dage; zout was destijds zeer waardevol. Romeinse soldaten werden uitbetaald in zout; het woord salaris betekent letterlijk "zoutrantsoen". Er waren dan ook slechts enkele plaatsen bekend waar zout uit de bodem gedolven kon worden. Het meeste zout werd gewonnen uit zeewater, of door het delven van met zeewater doortrokken veen, het zogenaamde moerteren of selneren.

Tegenwoordig is Nederland een belangrijke zoutproducent, dankzij de grote hoeveelheden zout in afzettingen uit het Perm en Trias. Het zout bevindt zich nu op dieptes die variëren van kilometers tot honderden meters, een variatie die het gevolg is van vervorming van het zout. Het lichte zout heeft zich in de loop der tijd omhoog bewogen, en daarbij het gesteente er boven gebroken en geplooid. Plaatselijk heeft het ook het aardoppervlak omhoog getild.

Het produceren van dit zout is in Nederland een grote en belangrijke tak van industrie. Het gewonnen zout wordt gebruikt voor de fabricage van kunst- en meststoffen, voor voedselbereiding en -preservatie, en voor het berijdbaar houden van wegen in de winter. Dat zout

cruciaal is voor onze logistiek en economie is in de winterperiode van het afgelopen jaar pijnlijk duidelijk geworden. De nationale zoutvoorraden waren zover geslonken dat zout moest worden geïmporteerd - een fraai staaltje van water naar de zee dragen, als je bedenkt hoe groot de zoutvoorraad in onze ondergrond is.

De winning van zout uit de ondergrond heeft bodemdaling tot gevolg. Immers, als je iets uit de bodem haalt dan moet het ontstane gat weer worden opgevuld. De holtes die ontstaan bij de ondergrondse zoutwinning kunnen echter ook als opslagruimtes worden aangewend, en gebruikt worden om energie (olie, gas, lucht) en afval (CO<sub>2</sub>, radioactief afval) op te slaan. Een belangrijke eigenschap van zout die dit mogelijk maakt, is dat het slecht doorlaatbaar is. Dit afsluitende karakter van zout is ook voor natuurlijke processen belangrijk geweest. Sommige van de natuurlijk olie- en gas voorkomens in de ondergrond zijn ontstaan onder het zout. Het belangrijkste voorbeeld daarvan zijn de gasvelden in noord en oost Nederland, waaronder Slochteren.

Zelf heb ik in het begin van mijn wetenschappelijke carrière meegewerkt aan een onderzoek waarin de mogelijkheden van opslag van radioactief afval in zout verkend werden. Door extra wetenschappelijk onderzoek noodzakelijk te verklaren kon een politiek besluit hierover worden uitgesteld - het klinkt u wellicht bekend in de oren. De beide omslagfoto's van dit nummer laten een zoutvoorkomen bij Cardona (Barcelona) zien, en dateren uit die tijd.

In dit themanummer worden de verschillende bovengenoemde aspecten van zout in de Nederlandse ondergrond nader belicht. Mark Geluk behandelt de paleogeografie van de zoutafzettingen, de bijdrage van Chris Spiers gaat over de mineralogie en het vervormingsgedrag, en een voorbeeld van een zoutdiapier wordt behandeld door Cees Laban. Wim de Gans en Ed Duin maken een inventarisatie van de effecten van zoutbewegingen op de ondiepe geologie en het landschap van noordoost Nederland, Wim Paar bespreekt de geschiedenis en economische kanten van zoutwinning, en tenslotte wordt de bodemdaling ten gevolge van zoutwinning uitgelegd en toegelicht door Jaap Breunese.

Ik wil deze auteurs en de mede-redactieleden Cees, Emile, Geert-Jan, en Rieks, hartelijk bedanken voor hun grote inzet. Ook bedank ik Marlies ter Voorde voor haar bijdrage aan deze tekst.

En voor u: veel leesplezier!



# Henskens Fossils®

**DIGGING - PREPARATIONS - WHOLE SALE - EXHIBITIONS**  
— Int. Dinosaur Digging Team® —

Eikenboomgaard 11-13, 5341 CT Oss (The Netherlands)  
Telefoon +31 (0) 412 634669  
[www.henskensfossils.nl](http://www.henskensfossils.nl) e-mail: [theo@henskensfossils.nl](mailto:theo@henskensfossils.nl)  
Showroom geopend: za. 10.00 – 14.00 u. Verder bezoek op afspraak

MARK GELUK

Gerbrandylaan 18, 2314 EZ Leiden  
mark.geluk@hetnet.nl

# ZOUTMEREN EN -ZEEËN IN DE NEDERLANDSE ONDERGROND

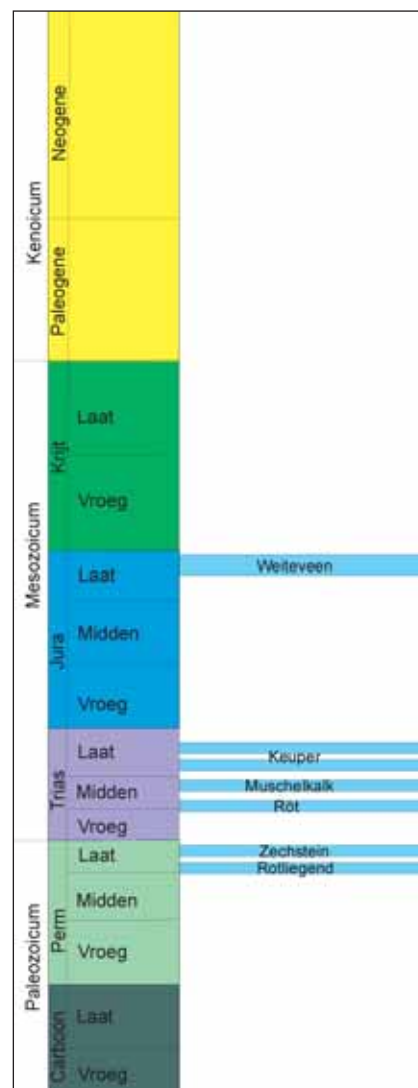
## Samenvatting

In de Nederlandse ondergrond komen zouten voor die hoofdzakelijk zijn afgezet tijdens de geologische periodes van Perm en Trias (200 tot 265 miljoen jaar geleden). Tijdens het Perm vormde zich aanvankelijk een groot zoutmeer in een bekken dat geleidelijk verder onder zeeniveau kwam te liggen. Aan het begin van het Laat-Perm stroomde deze depressie vol zeewater en ontstond één van de klassieke zoutbekkens – dat van het Zechstein. Hierin werden dikke zoutlagen afgezet. Tijdens de Trias werden in Nederland afwisselend continentale en ondiep mariene sedimenten afgezet, met in de Midden- en Laat-Trias verschillende zouten ingeschakeld. Het Röt- en Muschelkalkzout zijn van mariene herkomst, maar de zouten in de Keuper werden ver van de zee afgezet. Een model van door de wind aangevoerd zout wordt hiervoor aangenomen. De jongste zoutafzettingen in Nederland zijn uit de Laat-Jura en zijn in voorkomen beperkt tot het zuidoosten van Drente.

## Inleiding

Nederland staat vooral bekend als een aardgasland door het voorkomen van grote gasvoorraden in de ondergrond (Brouwer & Coenen, 1968). Veel minder bekend is echter dat Nederland ook een zoutland bij uitstek is. In de geologische periodes Perm, Trias en Jura vond er op uitgebreide schaal afzetting plaats van steenzout dat voorkomt in grote delen van de Nederlandse ondergrond, met name in het noorden en oosten (Afb. 1). Op meerdere plaatsen in Noord- en Oost-Nederland wordt dit zout gewonnen.

Dit artikel gaat in op het ontstaan van steenzout en zal voorts ingaan op het voorkomen en de paleogeografie van de zoutafzettingen in de Nederlandse ondergrond. Het artikel is gebaseerd op literatuur alsmede de werkervaring van de auteur als zout- en regionaalgeoloog.



Afbeelding 1. Stratigrafische kolom met de in de Nederlandse ondergrond voorkomende zoutlagen.

Afbeelding 2.  
Tuz Gölü, centraal  
Turkije. Voorbeeld  
van een recent playa-  
meer. Foto: Mark  
Geluk, 1986.



Afbeelding 3.  
Zoutafzetting in een  
riviergeul, Dasht-e-  
Kavir, centraal Iran  
(zuidelijk van de stad  
Semnan). Foto:  
Mark Geluk, 1990.



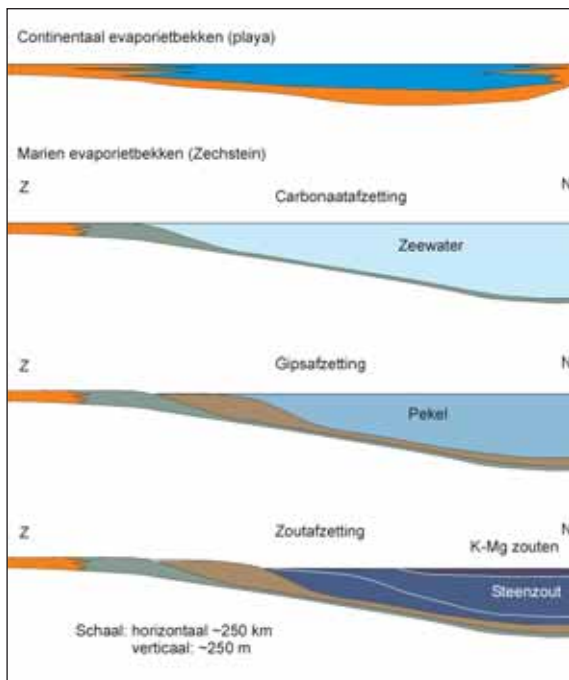
Zout is een uniek gesteente. Op een aantal terreinen onderscheidt zout zich van andere (klastische) sedimenten. Tijdens afzetting onderscheidt zout zich door een hoge sedimentatiesnelheid ten opzichte van andere sedimenten. Ligt de gemiddelde sedimentatiesnelheid van klastische sedimenten doorgaans rond de 6 - 9 cm/1000 jaar, bij zout bedraagt deze 10 - 20 cm/jaar. Bij begraving tonen klastische sedimenten een met de diepte toenemende compactie (en dus dichtheid), terwijl deze bij zout constant is door de kristalstructuur. Zout is hierdoor in de bovenste 500 m van de ondergrond gemiddeld zwaarder dan sedimenten als zand en klei, maar beneden deze diepte is het zout in toenemende mate lichter dan het omringende gesteente.

Voorts heeft zout in de ondergrond de eigenschap dat het zonder breukvorming kan vervormen. Op deze eigenschappen zal Chris Spiers in dit nummer ingaan. Deze eigenschap is duidelijk zichtbaar in de tektonische stijl van de Nederlandse ondergrond (De Jager, 2007). Als laatste is zout vrijwel ondoorlatend voor olie of gas en heeft het een betere warmtegeleiding dan de meeste andere gesteenten. Deze eigenschappen zijn van groot belang voor de vorming van de gasvelden in de Nederlandse ondergrond.

Onze huidige modellen van zoutbekkens zijn gebaseerd op continentale zoutmeren en zoutlagunes aan de rand van zeeën of oceanen. Wanneer deze modellen vergeleken worden met geologische voorbeelden dan blijkt dat er op dit moment geen 'saline giants' zijn. Dit zijn bekkens met een oppervlakte van vele duizenden vierkante kilometers die uit het geologische verleden bekend zijn. Geologische voorbeelden hiervan zijn onder meer het Zuidelijk Perm Bekken dat zich uitstrekte van Engeland in het westen naar Litouwen in het oosten en waar tijdens Perm en Trias op uitgebreide schaal zout neersloeg, de Middellandse Zee die tijdens het Laat-Mioceen (Messinien) vrijwel geheel uitdroogde en waar dikke pakketten zout en anhydriet werden afgezet, en de Silurische Salina evaporieten in het Michigan Bekken. Zonder in detail te willen gaan is het hier toch goed te melden dat zoutafzettingen voorkomen in afzettingen van Infra-Cambrische ouderdom (Hormuzzout, Iran; Arazout, Oman) tot recent.

#### Ontstaan van zout

Steenzout (haliet, keuzenzout, NaCl) is een indampingsgesteente of evaporiet dat typisch ontstaat in afvoerloze depressies onder droge klimaatsomstandigheden. Het spectrum aan mineralen dat neerslaat is afhankelijk van de samenstelling van het water. Zout wordt zowel



Afbeelding 4.

Schematische modellen voor de opvulling van continentale en mariene zoutbekkens. Het bovenste model toont een continentaal zoutbekken, waarbij zich in een afvoerloze depressie een permanent zoutmeer vormt, dat wordt omgeven door zandvlaktes met zandduinen en wadi's. Afwisselingen van zout en klei typeert deze bekkens. Het model van het mariene evaporietbekken is gebaseerd op het Zechstein (Perm). Deze bekkens worden getypeerd door indampingscycli van zeewater. Aanvankelijk bevindt zich zeewater met normale saliniteit in het bekken en worden carbonaten afgezet. De grootste diktes van carbonaten zijn te vinden in of nabij de ondiepere delen. In het diepste deel van het bekken werd slechts een relatief dunne laag carbonaat afgezet, soms rijk aan organisch materiaal. Door de hoge mate van verdamping en beperkte instroming van zeewater neemt de saliniteit in het bekken toe en slaat gips neer. De grootste diktes zijn tevens meer naar het centrum van het bekken te vinden. De verdergaande indamping leidt vervolgens tot de afzetting van steenzout (NaCl) waarbij vrijwel het gehele reliëf in het bekken wordt opgevuld. Aan het eind van de zoutafzetting resten nog kleine depressies met zeer hooggeconcentreerde pekels waar kalium-magnesiumzouten neerslaan.

afgezet in afgesloten zeebekkens als in meren door de indamping van rivier- of grondwater. Bij ondiepe meren in droge gebieden (bijv. Tuz Gölü in centraal Turkije, Afb. 2) blijft een zoutkorst achter na de verdamping van het water in het meer. In meren of lagunes met een grotere waterdiepte treedt de grootste verdamping op aan het wateroppervlak. Hier zal ook de concentratie het eerst voldoende hoog zijn om de eerste gips- en halietkristallen te vormen. Hier vormen zich de kenmerkende haliet 'schuitjes' (hopperkristallen).

Ook kan in diepe bekkens een gelaagdheid van het water optreden waarbij zwaar, zout water in de diepere delen van de bekkens voorkomt terwijl zich hierboven een laag met minder zout water bevindt. In de diepe laag kunnen zich verschillende zouten afzetten zonder dat het bekken hierbij geheel uitdroogt. Andere vormingsprocessen van evaporieten zijn in de bodem op de grondwaterspiegel in woestijngebieden waarbij een erg vervormd landoppervlak ontstaat. Soms zijn er in woestijnen zelfs zoutafzettingen te vinden in rivierbeddingen (Afb. 3). Schematische modellen voor zoutafzetting in deze verschillende omstandigheden worden getoond in afbeelding 4.

Zeewater bevat momenteel ca. 3,5% opgeloste zouten. Algemeen werd aangenomen werd dat de samenstelling van zeewater constant was gedurende de geologische geschiedenis, maar er zijn toch sterke aanwijzingen dat deze ook varieerde in samenstelling en duidelijk zouter was aan het eind van het Perm en in de Trias (Hay et al., 2006). Bij het indampen van zeewater slaan achtereenvolgens neer: kalk - gips - haliet - kalium-magnesiumzouten. Dit wordt een indampingscyclus genoemd. De neerslag van kalk uit zeewater geschiedt in het algemeen onder invloed van algen; er treedt hier nauwelijks zuiver chemische neerslag op. Pas als het grootste deel van het zeewater is verdampt zal gips neerslaan, terwijl haliet pas neerslaat als ca. 90% van het oorspronkelijke zeewater is verdampt. Kalium-magnesiumzouten worden pas afgezet als 98% van het water is verdampt. Er is een relatie tussen de afzettingssnelheid van evaporieten en de oplosbaarheid: hoe beter oplosbaar, hoe hoger de afzettingssnelheid waarmee evaporieten worden afgezet.

Uit zeewater neergeslagen zouten bestaan voor 75% uit haliet (NaCl). Zoutafzettingen in meren laten een grotere variatie aan opgeloste mineralen zien - er zijn steenzoutmeren (Tuz Gölü), sodameren (Van Gölü in Oost-Turkije) en meren met boraten en andere exotische zouten.

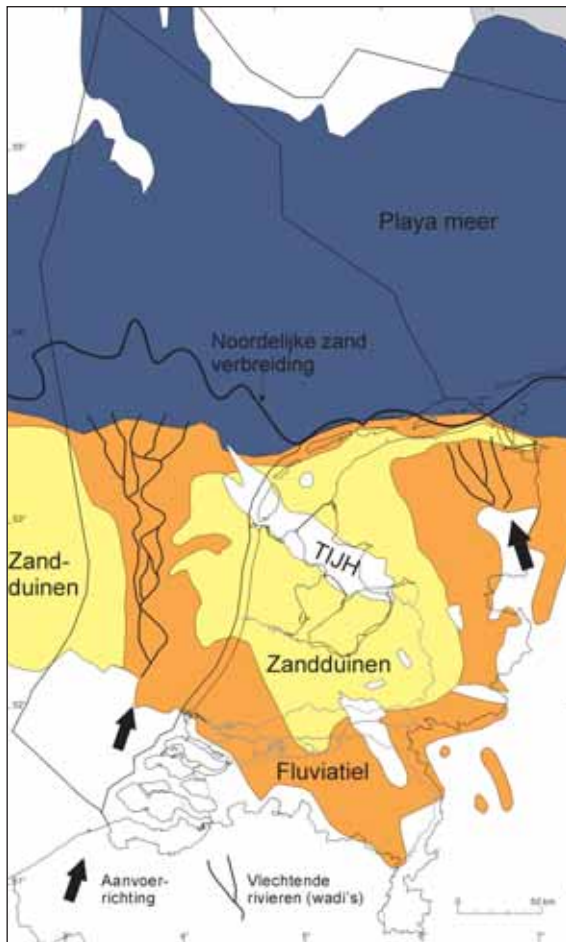
Het merendeel van de indampingsgesteenten in Nederland is ontstaan uit zeewater. Uit een kolom van 1000 m zeewater slaat 13 m zout neer, terwijl wij in de ondergrond te maken hebben met zoutdikten van meerdere honderden meters. Zo bedraagt de zoutdikte van het Zechstein in Nederland 800 m - hier is dus in totaal een kolom zeewater van meer dan 60 km verdampt! Daar uit ander onderzoek bekend is dat de waterdiepte in het bekken nooit meer bedragen heeft dan 250 m kan dit niet anders worden verklaard dan door een continue instroming van zeewater in het evaporietbekken.

Na afzetting vinden er onder invloed van druk en temperatuur in de ondergrond nog verschillende mineraaltransformaties plaats in de zouten. Gips wordt reeds op een diepte van enkele honderden meters omgezet in het waterrijke anhydriet. In de kalium-magnesiumzouten vinden complexe veranderingen plaats die in detail in specialistische handboeken worden beschreven.

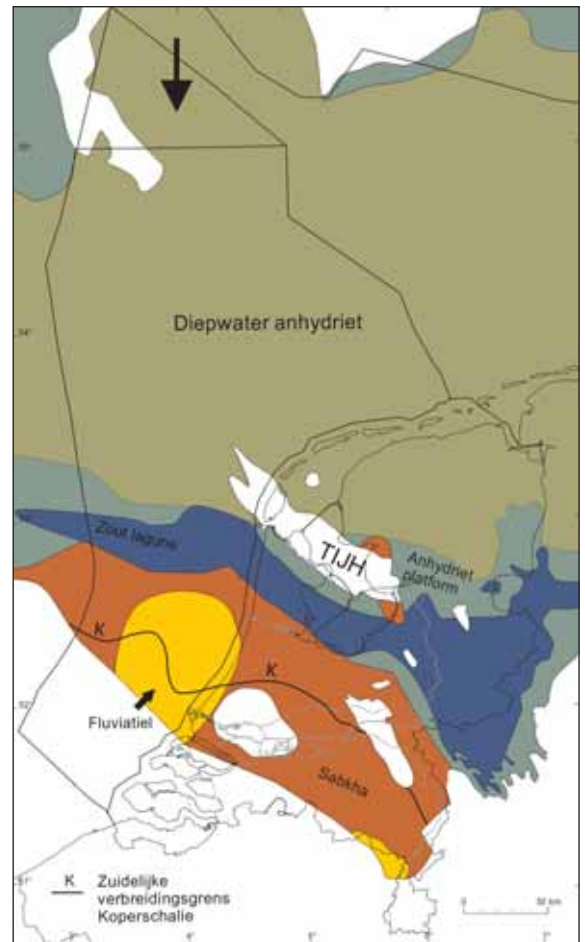
**Voornaamste zouten**

Anhydriet	$\text{CaSO}_4$
Gips	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Bischofiet	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Carnalliet	$\text{KClMgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Haliet	NaCl (steenzout)
Kainiet	$\text{KMgClSO}_4 \cdot 2.75\text{H}_2\text{O}$
Kieseriet	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Langbeiniet	$\text{K}_2\text{Mg}_2(\text{SO}_4)_3$
Polyhaliet	$\text{K}_2\text{MgCa}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Soda	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Sylviet	KCl

Tabel 1. Chemische samenstelling van de voornaamste zouten.



Afbeelding 5. Verbreiding en paleogeografie van het Boven-Rotliegend (Midden- tot Laat-Perm). Aan de zuid-rand van een uitgestrekt playameer bevond zich een uitgestrekt woestijngebied met wadi's en zandduinen. Naar Geluk (2005, 2007a). TIJH: Texel-IJsselmeer Hoog.



Afbeelding 6. Verbreiding en paleogeografie van het Zechstein 1. Zoutafzetting vond plaats in een lagune in Midden-Nederland. In het grootste deel van het land en de offshore gebieden werd diepwater gips afgezet. Naar Geluk (2005, 2007a).

## Stratigrafie en Paleogeografie van zoutafzettingen in de Nederlandse ondergrond

Zoutafzettingen in de Nederlandse ondergrond komen vooral in de afzettingen van het Perm en Trias voor. Daarnaast komt er in het uiterste zuidoosten van Drenthe nog zout voor in de Boven-Jura (Afb. 1). De zoutafzettingen vonden aanvankelijk plaats in het Zuidelijk Perm Bekken, een uitgestrekt oost-west georiënteerd bekken tussen Polen in het oosten en Engeland in het westen (Ziegler, 1990; Geluk, 2005). Tijdens de Trias en Jura begon dit grote bekken ten gevolge van de opening van de Atlantische Oceaan in een aantal kleinere bekkens op te breken. Daarnaast heeft sterke opheffing en erosie tijdens de Laat-Jura en vroegste Krijt de voorkomens van met name de Triasafzettingen in de Nederlandse ondergrond sterk beperkt, wat de reconstructie van de paleogeografie bemoeilijkt. Dit blijkt uit het toenemen van het witte gebied op de Afbeeldingen 5-12 – gebieden waar de desbetreffende afzetting niet voorkomt.

Tijdens het jongste Carboon en het vroegste Perm waren alle continenten op aarde verenigd in één enkel megacontinent - Pangea. Dit continent begon tijdens het Mesozoïcum op te breken in kleinere continenten. Voor Nederland is vooral de opening van de noordelijke Atlantische oceaan van belang. De verbreiding van

zoutafzettingen speelt een belangrijke rol in dit proces en verschaft ons inzicht in de eerste bewegingen langs breuken.

### Perm

Het oudst bekende zout in de Nederlandse ondergrond is het Rotliegend (Midden- en Laat-Perm). Het voorkomen hiervan is beperkt tot het Nederlandse deel van de Noordzee ten noorden van de Waddeneilanden (Afb. 5). In een 500 - 700 m dik pakket komen afwisselend rode klei en siltstenen en meerdere zoutlagen voor met een dikte van enkele tientallen meters. De dikte neemt in noordelijke en oostelijke richting toe - in het aangrenzende Duitse deel van de Noordzee bedraagt de dikte zelfs 2500 m (Plein, 1991; Legler et al., 2005).

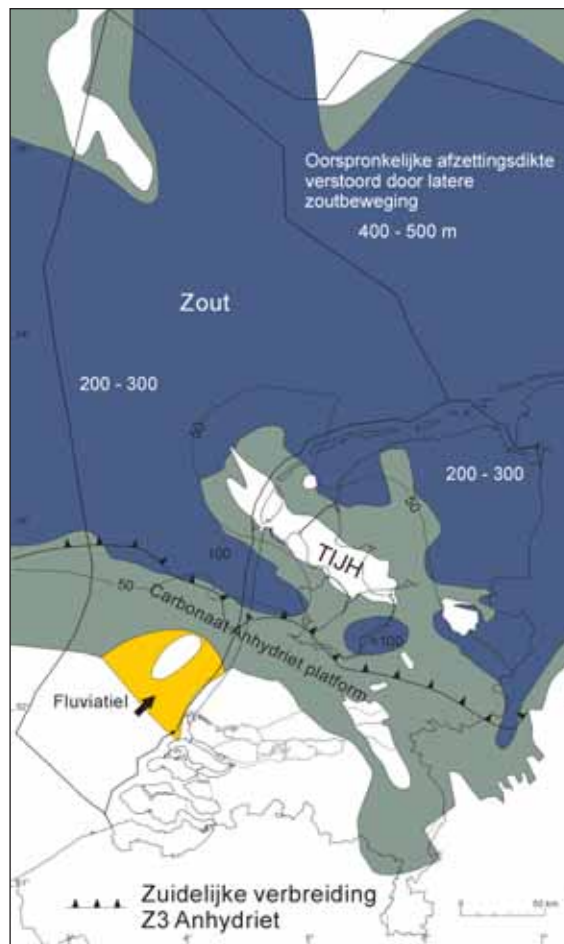
Tijdens de afzetting van het Rotliegend bevond Nederland zich ten noorden van het Varistische gebergte dat tijdens het Laat-Carboon gevormd was door de botsing van de continenten Gondwana en Laurussia. Het gebied lag tevens ca. 10° ten noorden van de evenaar, een positie die vergelijkbaar is met de huidige Sahara. Aan het eind van de Trias was de positie ca. 30° N. Het Varistische gebergte, in omvang en hoogte vergelijkbaar met de huidige Alpen, vormde tevens een effectieve blokkade waardoor de vochtige lucht van de Tethys oceaan ten zuiden van dit gebergte Nederland niet kon bereiken. Een andere oceaan bevond zich ver naar het





Afbeelding 7.

Verbreiding en paleogeografie van het Zechstein 2. Grote hoeveelheden steenzout werden in het centrale deel van het bekken afgezet. Uit dit zout zijn zoutpijlers en -kussens ontstaan waar o.a. bij Zuidwending en Winschoten zout wordt gewonnen. Naar Geluk (2005, 2007a).



Afbeelding 8.

Verbreiding en paleogeografie van het Zechstein 3. Dit zout heeft een verbreidingsgebied dat ongeveer gelijk is aan dat van het Zechstein 2. In Noordoost-Nederland komen in dit zout dikke lagen kalium-magnesiumzouten voor, die bij Veendam worden gewonnen. Naar Geluk (2005, 2007a).

noorden op de plaats van de huidige Barents Zee - hier kwamen kortstondige mariene incursies vandaan.

In Nederland en omliggende gebieden ontstond tijdens het Midden- en Laat-Perm een uitgestrekt woestijngebied. Puiwaaiers en zandduinen kenmerken de topografisch hogere delen van dit gebied, terwijl zich in het diepste deel van het bekken, ten noorden van het huidige Nederlandse vasteland, een afvoerloze depressie bevond met een uitgestrekt zoutmeer (playa) dat zich uitstrekte over een afstand van ruim 500 km, van het Engelse deel van de Noordzee tot in Oost-Duitsland en 100 tot 300 km in de noord-zuid richting (zie kaart in artikel Breunese in dit nummer). Van belang is verder dat de daling van deze depressie groter was dan de aangevoerde hoeveelheid sediment; hierdoor kwam in de depressie het landoppervlak steeds verder onder zeeniveau te liggen.

Het zout van het Rotliegend is grotendeels afgezet onder continentale omstandigheden. Uit gepubliceerde boorprofielen blijkt dat de individuele zoutlagen over grote afstanden te vervolgen zijn. Het gangbare model hiervoor is dat cyclische variaties in de hoeveelheid neerslag in het bekken verantwoordelijk waren voor deze cycli. Gedetailleerd onderzoek in Duitsland heeft echter aangetoond dat er tijdens het Rotliegend ook kortstondige incursies van de zee vanuit noordelijke

richting zijn geweest. Deze zijn door mariene fossielen en zwavel-isotopen aan te tonen (Legler & Schneider, 2008). In Nederland is geen detailonderzoek aan deze zouten gedaan, maar aangenomen wordt dat het zout onder identieke omstandigheden is afgezet.

### Zechstein

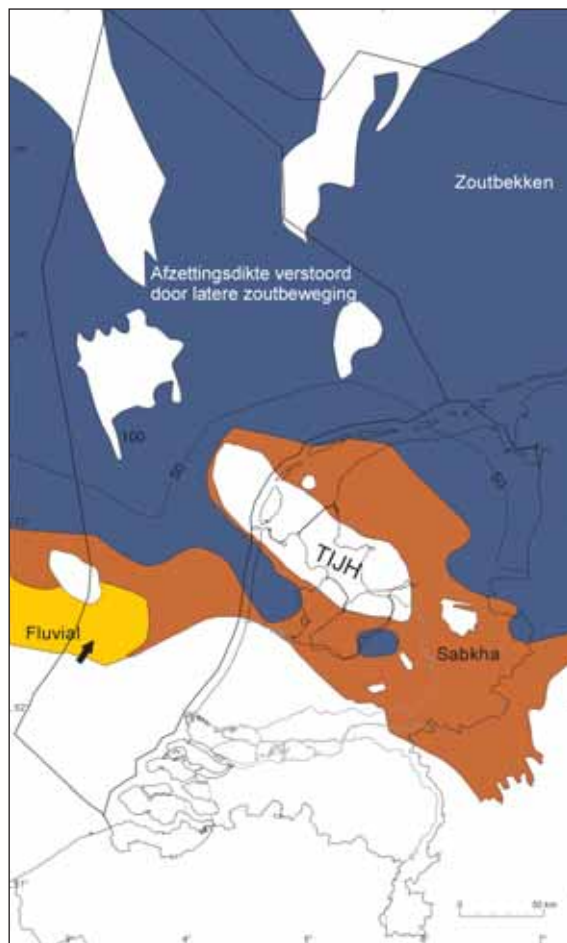
Het begin van het Zechstein wordt gekenmerkt door een belangrijke mariene ingressie in het Zuidelijk Perm Bekken vanuit noordelijke richting. Daar het gehele bekken onder zeeniveau lag, mogelijk zelfs tot ca. 200 m, breidden de mariene afzettingen zich snel uit over een gebied tussen Engeland en Polen. Het Zechstein is een van de klassieke voorbeelden van een marien evaporietbekken. Er ontstond een groot zeegebied met afzettingssomstandigheden die vergelijkbaar zijn met de Perzische Golf. De verbinding met de noordelijke oceaan via een aantal actieve breuken werd echter periodiek beperkt of onderbroken waardoor in het gehele Zuidelijk Perm Bekken indampingsgesteenten werden afgezet. In de periodes dat de instroming van zeewater werd beperkt, daalde het zeeniveau in het Zuidelijk Perm Bekken en werden gips en zout afgezet.

In dit bekken werden een vijftal evaporietcycli afgezet. Deze cycli vertonen een afname van de mariene invloed in het bekken. Mariene omstandigheden, gekenmerkt door kalk en dolomietafzettingen zijn te vinden in de

onderste 3 cycli, waarbij de diversiteit van de mariene organismen afneemt van de cycli 1 naar 3. Dit is al een indicatie van een licht afwijkende saliniteit. De bovenste cycli 4 en 5 bevatten geen carbonaten meer, maar worden gekenmerkt door kleisteen en zout. De zouten zijn wel uit zeewater afgezet hetgeen ook duidelijk blijkt uit de opeenvolging kleisteen - anhydriet - zout - kalium-magnesium zout en verschillende in het zout aanwezige isotopen. Afbeelding 4 toont de zoutafzetting tijdens het Zechstein.

Er zijn grote verschillen in de paleogeografie van de zoutafzettingen in het Zechstein (Afb. 6-9). Tijdens de oudste Zechsteincyclus (Z1/Werra) werd zout afgezet in lagunes ten zuiden van het centrale bekken (Afb. 6). Deze lagunes bevonden zich langs actieve breuklijnen in een strook tussen Noord-Holland en de Achterhoek. Er werd hierin lokaal 250 m steenzout afgezet. Ten noorden van de lagunes lag een hoog (Texel-IJsselmeer Hoog) dat de scheiding vormde met het hoofdbekken. Dit hoog stond onder water tijdens periodes dat er veel zeewater in het bekken stroomde, maar dat tijdens periodes van indamping (en zoutafzetting) in het bekken lag het hoog iets boven het zeeniveau. In het centrale bekken was de saliniteit niet hoog genoeg om tot de afzetting van zout te komen.

Tijdens de tweede Zechsteincyclus (Z2/Stassfurt) kwam het ook in het gehele centrale deel van het bekken

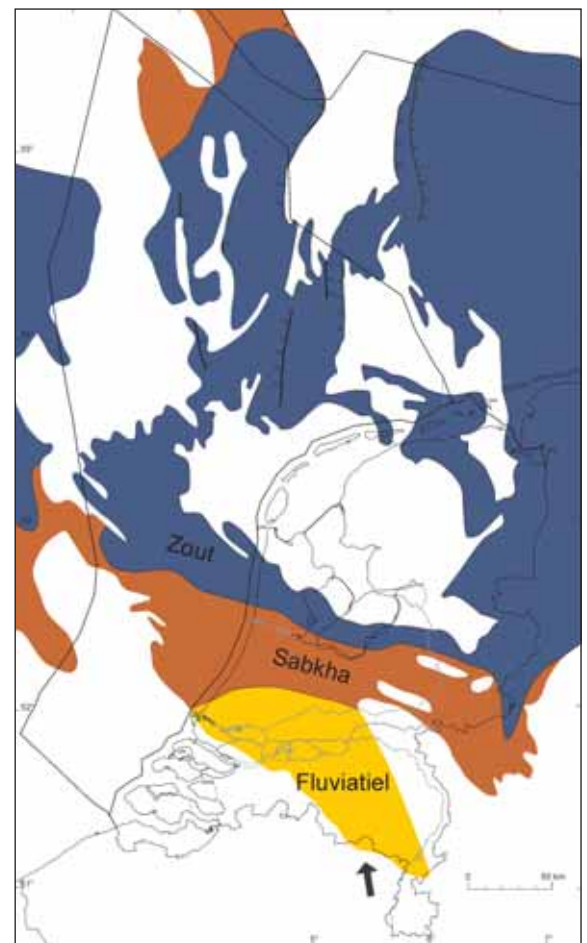


Afbeelding 9. Verspreiding en paleogeografie van het Zechstein 4. Ten opzichte van de oudere Zechsteineenheden beginnen sabkha's geleidelijk uit te breiden naar het centrum van het bekken. Naar Geluk (2005, 2007a).

tot de afzetting van zout (Afb. 7). Er werd hier een dik pakket zout afgezet van meer dan 500 m waaruit in de latere geologische geschiedenis zoutkussens en -pijlers zouden ontstaan. In de loop van de jongere Zechsteinzouten (Z3/Leine en Z4/Werra) zien we het gebied van zoutafzetting steeds verder afnemen in de richting van het centrum van het bekken (Afb. 8 & 9). De jongste Zechsteinzouten worden slechts in Noord-Duitsland aangetroffen (Best, 1986).

Het zout zelf bestaat in het Z1 en Z2 Zout uit 5-10 cm dikke witte tot grijze halietlagen gescheiden door mm-dikke anhydrietlaagjes. Tevens komen in beide zouten lagen kalium-magnesium zout voor - in het Z1 Zout vooral rondom Winterswijk maar in het Z2 Zout in het gehele verspreidingsgebied. Deze zouten bestaan vooral uit sylviet en carnalliet. De Z3 en Z4 zouten zijn deels rood gekleurd - tevens komen in het Z3 zout dikke lagen kalium-magnesiumzouten voor waaronder het zeer oplosbare bischoffiet. Het voorkomen van dit zout wijst op het grotendeels droogvallen van het bekken waarbij kleine salina's met hoog-geconcentreerde pekels achterbleven.

Aan het eind van het Perm stopt de afzetting van zout dat wordt bedekt door rode klei- en zandafzettingen van de Trias. Gedurende de gehele Vroeg-Trias worden afwisselend zand en klei afgezet (Bontzandsteen), de afbraakproducten van het Varistische gebergte ten zuiden van Nederland. Nederland beweegt inmiddels verder naar



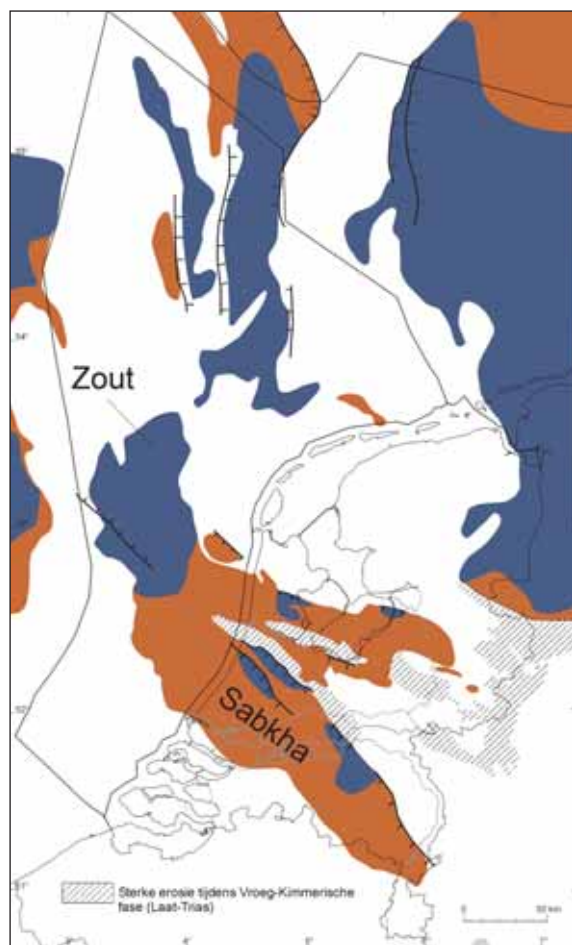
Afbeelding 10. Verspreiding en paleogeografie van het Röt. Onder grote delen van Nederland en de offshore komt het Röt-zout voor. Nabij Hengelo (Ov) wordt dit zout gewonnen. Naar Geluk (2005, 2007b).

het noorden en bevindt zich op 20° noorderbreedte. In deze periode ontstond er in een nieuwe verbinding met de zee, nu niet meer met de noordelijke Barents Zee maar in het oosten van het bekken in Polen met de Tethys. Vanuit Polen breidde de mariene invloed zich steeds verder naar het westen uit en bereikte ook Nederland.

De reconstructie van de zoutafzetting gedurende de Trias wordt sterk bemoeilijkt door de sterke erosie die deze afzettingen ondergaan hebben tijdens de Laat-Jura en Vroeg-Krijt. In veel gebieden van Nederland zijn nauwelijks meer Triasafzettingen aanwezig – slechts in een aantal Mesozoïsche bekkens komen deze nog voor. De vraag of de Triasafzettingen ook in de tussengelegen gebieden zijn afgezet kan met ja worden beantwoord: de secties in soms ver uit elkaar gelegen bekkens lijken zo sterk op elkaar dat ook in de tussengelegen gebied Trias moet zijn afgezet.

### Röt

Door een beperking van de verbinding met de zee ontstond er aan het begin van de Midden-Trias opnieuw een groot evaporietbekken. In het grootste deel van Midden- en Noord-Nederland werd anhydriet en zout afgezet, terwijl zich verder zuidelijk stroomvlaktes van rivieren en uitgestrekte kleiige sabkha's bevonden (Afb. 10). Gezien de rode kleuren vielen deze sabkha's met regelmaat droog. In het bekken werd een pakket zout met een dikte oplopend tot ruim 100 m afgezet.



Afbeelding 11.

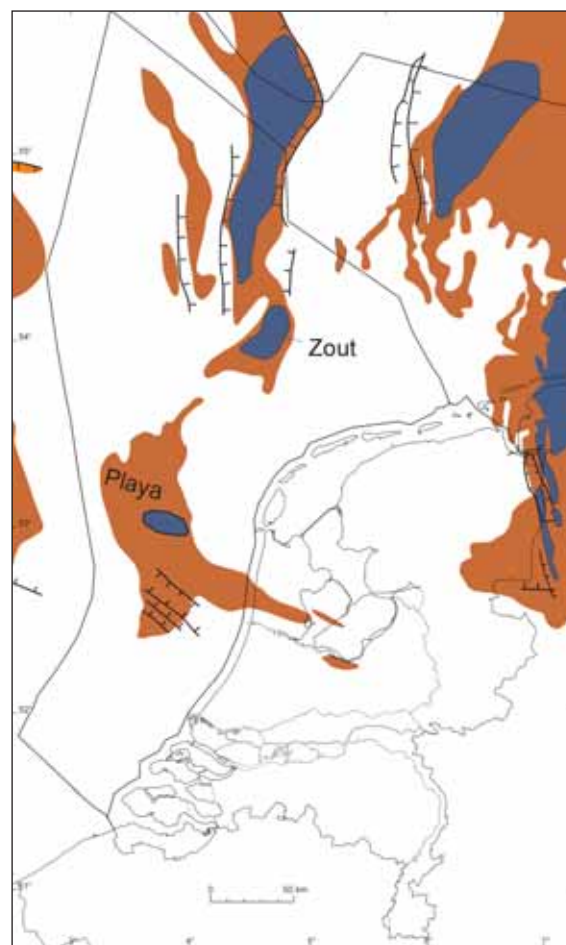
Verbreiding en paleogeografie van de Midden-Muschelkalk. In de gearceerde gebieden is de Muschelkalk deels geërodeerd tijdens de Vroeg-Kimmerische tektonische fase tijdens de Laat-Trias. Naar Geluk (2005, 2007b).

In het zout ingeschakelde klei- en dolomietlagen wijzen op een afwisseling van periodes van zoutafzetting en periodes waarin de saliniteit in het bekken veel lager was. Nederland lag relatief ver verwijderd van de verbinding met de Tethys oceaan en het water in het bekken bleef hier dan ook relatief zout. Het zout van het Röt is van belang voor ons land – met de ontdekking van het voorkomen hiervan in Oost-Nederland begon de bloeiende zoutindustrie (Boekelo). Het onderste deel van het Röt-zout is wit en zuiver haliet, terwijl in het bovenste deel rood gekleurde zouten voorkomen afgewisseld met anhydriet.

Na de afzetting van dit zout breidde zich een uitgestrekte lagune over Nederland uit. Toen er in Zuid-Duitsland nog een tweede verbinding met de oceaan ontstond breidde zich een ondiepe zee over geheel Nederland uit. Het klimaat was droog en de aanvoer van klastisch materiaal werd teruggedrongen tot de onmiddellijke omgeving van de hogen in het bekken. In een groot gebied werden kalk, dolomiet en mergel van de Muschelkalk afgezet die in Nederland bij Winterswijk in de steengroeve kunnen worden aanschouwd.

### Muschelkalk

Ten gevolge van een beperking van de instroming van zeewater werd wederom op uitgebreide schaal zout afgezet waarbij vooral de voorkomens in Zuid-Nederland langs breuklijnen opvallen - in geen van de voorgaande periodes is hier zout afgezet. Er worden meerdere cycli



Afbeelding 12.

Verbreiding en paleogeografie van het Midden-Keuper. Deze afzettingen komen slechts in een aantal Mesozoïsche bekkens onder de Noordzee voor. Slechts in sterk dalende bekkens werd zout afgezet. Naar Geluk (2005, 2007b).

in het zout herkend. De dikte van het zout is groter langs breuklijnen wat op breukbewegingen tijdens afzetting wijst (Afb. 11). Het zout is overwegend wit van kleur en bestaat uit zuivere haliet met dunne ingeschakelde anhydrietlaagjes. In gebieden waar geen zout werd afgezet bevonden zich uitgestrekte sabkha's die aan de randen van het bekken geregeld droogvielen. In nog sterkere mate dan bij het Röt is de verbreding van het Muschelkalkzout bepaald door latere periodes van opheffing en erosie tijdens de Laat-Trias (Vroeg-Kimmerische) en Laat-Jura (Laat-Kimmerische fase). Na afzetting van het zout werd de verbinding met de oceaan hersteld en volgde wederom kalkafzetting in een ondiepe zee.

### Keuper

Tijdens de Laat-Trias volgde een markante verandering in de paleogeografie. De invloed van de moesson breidde zich verder naar het noorden uit wat ertoe leidde dat er meer afbraakmateriaal vanaf de hogen in het bekken werd afgezet. Het gehele bekken tussen Engeland en Polen verlandde. Tevens begonnen breukbewegingen de naderende opening van de Noordelijke Atlantische Oceaan aan te kondigen. Hierdoor ontstonden een aantal tektonische depressies waarin zout werd afgezet. De herkomst van dit zout is niet vast te stellen – in Zuid-Duitsland is dit aan mariene incursies toe te schrijven maar verder noordelijk zijn geen mariene invloeden meer aan te tonen (Nitsch, 2003). De in de literatuur gangbare ideeën zijn dat het zout deels afkomstig is van Zechsteinzout dat door zoutbeweging aan de oppervlakte is komen te liggen (Fisher & Mudge, 2003) of door zout dat met de wind is aangevoerd (Nitsch 2003). In Nederland komt het zout lokaal voor in het Breeveertien Bekken ten westen van IJmuiden en in de Centrale Noordzee Slenk noordelijk van de Waddeneilanden (Afb. 12). Slechts in het laatstgenoemde gebied zijn zoutpijlers bekend die actief waren in de Laat-Trias – in het eerstgenoemde bekken lijken aerosols de meest aangewezen bron voor het zout.

### Boven-Jura

De Boven-Jura en het vroegste Krijt was een tektonisch zeer actieve periode. Deze activiteit hing samen met de opening van de Noord-Atlantische Oceaan. In geheel NW-Europa ontstonden breukbegrensde dalingsgebieden. Een van de gebieden die de sterkste daling vertoonde was het Nedersaksisch Bekken in NW-Duitsland. Dit bekken strekt zich uit van de Nederlandse grens tot aan de Harz. Het bekken werd aan alle zijden omgeven door landmassa's - slechts langs breukzones in Noord-Nederland wist af en toe zeewater het bekken te bereiken. Er ontstond een groot zoutbekken waarin lokaal 1000 m zout werd afgezet (Schott et al., 1967). Nederland lag echter aan de rand van dit bekken, en slechts uit Zuidoost-Drenthe zijn dunne zoutlagen bekend in een beperkt aantal boringen (o.a. boring Schoonebeek-197 vlak bij de Duitse grens).

### Conclusies

Nederland is een zoutland bij uitstek. Zoutafzettingen komen voor in grote delen van de Nederlandse ondergrond in met name de afzettingen van het Perm en de Trias. Zout werd zowel afgezet uit zeewater als in continentale zoutmeren. Zout wordt in Nederland op verschillende plaatsen gewonnen, en daarnaast speelt het zout ook een belangrijke rol bij de rijke Nederlandse gasvoorkomens.

De auteur dankt Ronald van Balen, Geert-Jan Vis en Hemmo Bosscher voor constructieve opmerkingen op dit manuscript.

### LITERATUUR

- Brouwer, G.C. & Coenen, M.J., 1968. Nederland = Aardgasland. Roelofs van Goor (Amersfoort).
- De Jager, J., 2007 Structural evolution. In: Wong, Th.E., Batjes, D.A. & Jager, J. de (red.) *Geology of the Netherlands*, Royal Dutch Academy of Arts and Sciences (Amsterdam), pp. 5 - 26.
- Fisher, M.J. & Mudge, D.C., 1998. Triassic. In: Glennie K.W. (red) *Introduction to the Petroleum Geology of the North Sea*. Blackwell Scientific Publ (Oxford): pp. 212 - 244.
- Geluk, M.C., 2005. *Stratigraphy and tectonics of Permo-Triassic basins in the Netherlands and surrounding areas*. PhD thesis, Utrecht University.
- Geluk, M.C., 2007a. Permian. In: Wong, Th.E., Batjes, D.A.J. & Jager, J. de (red.) *Geology of the Netherlands*, Royal Dutch Academy of Arts and Sciences (Amsterdam), pp. 59 - 79.
- Geluk, M.C., 2007b. Triassic. In: Wong, Th.E., Batjes, D.A.J. & Jager, J. de (red.) *Geology of the Netherlands*, Royal Dutch Academy of Arts and Sciences (Amsterdam), pp. 81 - 102.
- Geluk, M.C, Paar, W.A & Fokker, P., 2007. Salt. In: Wong, Th.E., Batjes, D.A.J. & Jager, J. de (red.) *Geology of the Netherlands*, Royal Dutch Academy of Arts and Sciences (Amsterdam), pp. 279 - 290.
- Hay, W.H., Migdisov, A., Balukhovskiy, A.N., Wold, C.N., Flögel, S. & Söding, E. 2006. Evaporites and the salinity of the ocean during the Phanerozoic: Implications for climate, ocean circulation and life. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* 240, pp. 3 - 46.
- Kovalevych, V., Peryt, T.M., Beer, W., Geluk, M.C. & Halas, S. 2002. Geochemistry of Early Triassic seawater as indicated by study of the Röt halite in the Netherlands, Germany, and Poland. *Chemical Geology*, v. 182, pp. 549 - 563.
- Legler, B., Gebhardt, U. & Schneider, J.W. 2005. Late Permian marine - non-marine transitional profiles in the central Southern Permian Basin. *Int. J. Earth Sci.*, pp. 851 - 862.
- Legler, B. & Schneider, J., 2008. Marine ingressions into the Middle/Late Permian saline lake of the Southern Permian Basin (Rotliegend, Northern Germany) possible linked to sea-level highstands in the Arctic rift system. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* 267, pp. 102 - 114.
- Nitsch, E., 2003. Wie kommt das Salz in den Keuper? *Beiträge zur Geologie von Thüringen*, Neue Folge 10: pp. 75 - 110.
- Schott, W., Jaritz, W., Kockel, F., Sames, C.-W., Stackelberg, U., Stets, J. & Stoppel, D. 1967. *Paläogeographischer Atlas der Unterkreide von Nordwestdeutschland mit einem Übersichtsdiagramm der nördlichen Mitteleuropa*. Bundesanstalt für Bodenforschung, Hannover.
- Ziegler, P.A., 1990. *Geological Atlas of Western and Central Europe*. Second edition, Geological Society Publishing House (Bath).
- Aanvullende informatie over de geologie van zout is tevens te vinden op internet: <http://home.kpn.nl/mark.geluk> - Geology of salt (Engelstalig).

# ZOUT NABIJ DE ZEEBODEM

Op 80 kilometer ten noordwesten van Den Helder, in blok K-9, is het zout van een koepel wel heel erg omhoog gevloeid. De bovenkant van de bedekkende gipshoed ligt hier op een diepte van minder dan twee meter onder het zeebodempoppervlak. Dankzij seismisch onderzoek en enkele ondiepe boringen laat een doorsnede door de zoutkoepel goed zien hoe de lagen, die het zout ooit bedekten, omhoog en aan de kant zijn geduwd en vervolgens door erosie zijn verdwenen.

Tijdens het onderzoek door oliemaatschappijen naar voorkomens van aardgas en -olie in het Nederlandse deel van de Noordzee, verscheen er in blok K-9 op 80 kilometer ten noordwesten van Den Helder een fraaie zoutkoepel op de registraties. Een aantal seismische profielen kruisen deze zoutkoepel van oost naar west en van zuid naar noord en geven veel detail van de zoutkoepel en de door het zout opgeduwde formaties weer. Met behulp van diepe boringen die door oliemaatschappijen in de omgeving zijn uitgevoerd is de ouderdom van deze formaties vastgesteld. De waterdiepte is boven de zoutkoepel ca. 37 meter. Elders in dit nummer wordt het proces van het ontstaan van zoutkoepels besproken (Chris Spiers).

Seismische profielen worden opgenomen door middel van het uitzenden van geluidsignalen naar de zeebodem. De zeebodem weerkaatst de signalen en worden aan het zeeoppervlak door hydrofoons ontvangen en doorgestuurd aan een computer aan boord die de signalen verwerkt tot verticale profielen. De signalen worden niet alleen door de zeebodem weerkaatst, maar dringen ook de bodem binnen en worden op overgangen in de aardlagen ook weerkaatst en teruggezonden naar het zeeoppervlak. Doordat het schip vaart en er elke seconde signalen worden uitgezonden, ontstaat er een doorlopende verticale registratie van het verloop van de overgangen in de zeebodem.

Op het oost-westprofiel Lijn A (Afb. 1) is te zien dat het Zechtsteinzout uit de Perm-periode hier direct op formaties uit de Carboonperiode ligt. Hierna volgt een opeenvolging van, door het omhoogvloeien van het zout, schuinstaande formaties uit de perioden Trias, Krijt en Tertiair. (De verticale schaal is met behulp van een pijl aan de rechterzijde aangegeven.) Op deze doorsnede is de bovenkant van de koepel bedekt door het Tertiaire

Mioceen en jongere formaties. Het noordzuidprofiel Lijn Ba (Afb. 2) laat zien dat op het hoogste deel van de koepel ook het Tertiair is geërodeerd en er slechts een dunne Kwartaire bedekking op ligt. (De verticale schaal is met behulp van een pijl aan de rechterzijde weergegeven.) De vorm van de koepel is langgerekt en kegelvormig met een doorsnede aan de basis van vier bij zes kilometer en een hoogte van 3,5 kilometer! Aan weerszijden van de koepel is meer dan drie kilometer sediment aanwezig dat boven de koepel is geërodeerd of mogelijk nooit is afgezet (Giessen & Laban, 1995).

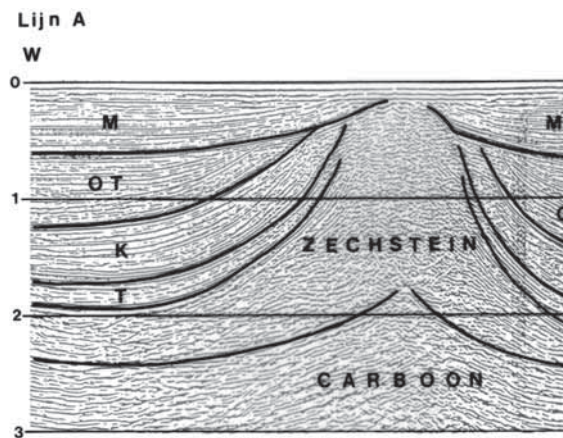
## Gipshoed

Op afbeelding 2 lijn Ba is ook de gipshoed te zien die de bovenkant van de zoutkoepel bedekt. Een gipshoed ontstaat als de bovenkant van het zout in contact komt met grondwater. De goed oplosbare zouten worden

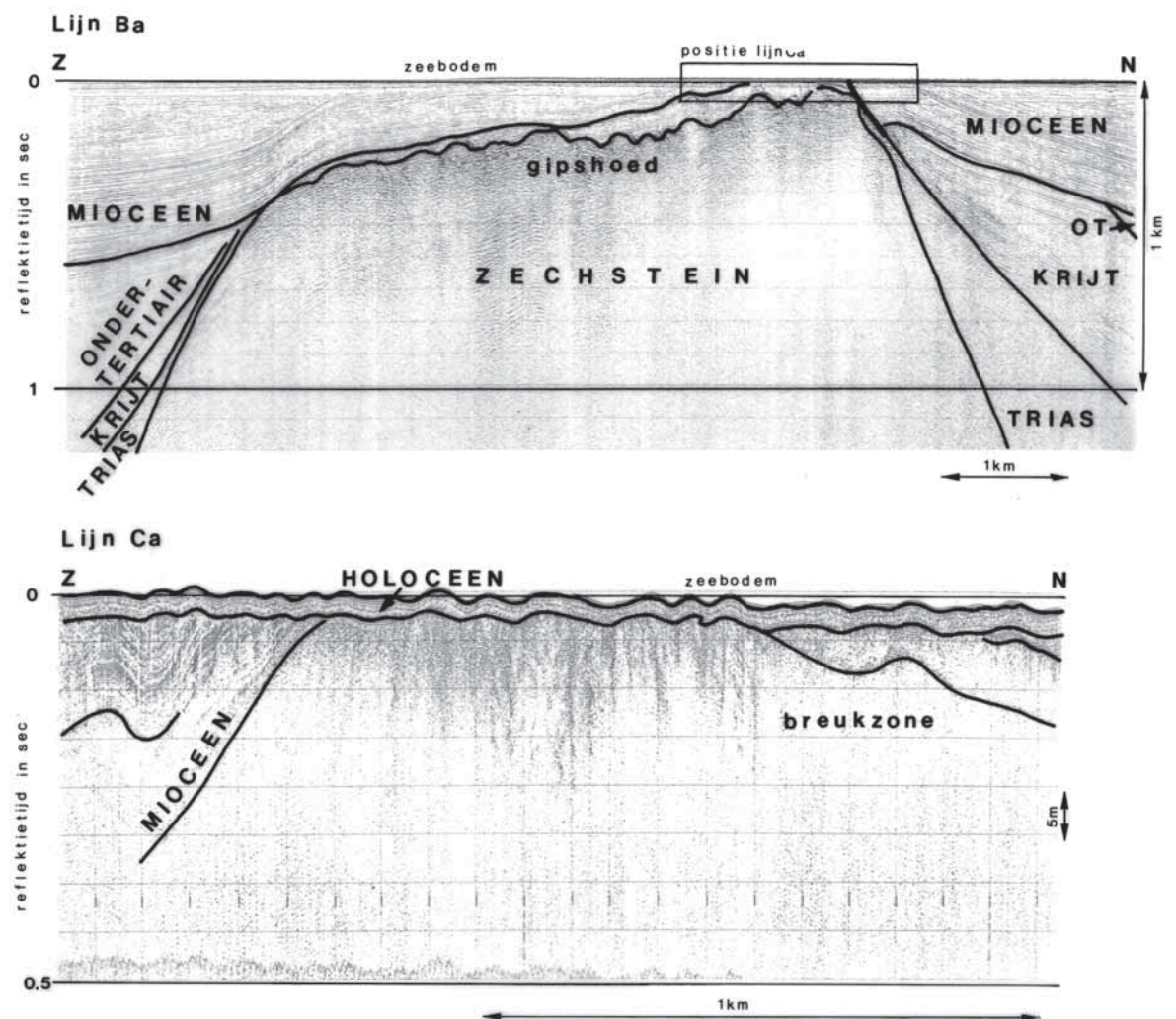
afgevoerd en de slecht oplosbare zouten en dolomiet blijven achter en vormen een zogenoemde gipshoed, die ook wel caprock wordt genoemd. De dikte van een gipshoed kan tientallen meters zijn. Niet alle zoutkoepels hebben een dergelijke hoed. Als er geen of weinig grondwater aanwezig is om het opgeloste zout af te voeren, dan kan het zout het oppervlak van de koepel vormen. Dit komt vooral voor in droge gebieden, zoals in Spanje bijvoorbeeld.

Aan de bovenkant van de gipshoed op afbeelding 2 is een rechthoek ingetekend. Dit deel van de zoutkoepel is opgenomen met behulp van een seismisch systeem dat, door een hogere resolutie, meer detail laat zien. Deze opname is als Lijn Ca onder profiel Ba weergegeven. De dunne horizontale laag aan de bovenkant van het profiel is de Kwartaire bedekking van de koepel. (De verticale schaal is met behulp van een pijltje aangegeven.)

Afbeelding 1.  
Lijn A is oost-west opgenomen over de zoutkoepel met behulp van seismiek en toont de gehele koepel met de omhooggedrukte sedimenten aan weerszijden.



Afbeelding 2.  
Lijn Ba is met behulp van seismiek van noord naar zuid opgenomen over de zoutkoepel en toont de bovenste honderden meters van de koepel en de gipshoed aan de bovenkant. Het rechthoekje rechtsboven is een seismische opname met meer detail en is er onder als Lijn Ca weergegeven. Hierop is duidelijk te zien dat de jongste laag horizontaal over de koepel loopt.





Afbeelding 3.  
De met behulp  
an een boring  
opgeboorde brokken  
van de gipschoed die  
de zoutkoepel aan  
de bovenkant bedekt.  
Foto: Pieter C.M.  
van der Klugt.

met graafgangen. Het veen bedekt zeer fijn tot matig grof zand van de Eem Formatie (Boven-Pleistoceen, Eemien) met aan de bovenkant verticale doorworteling veroorzaakt door de vegetatie die in het moeras groeide waaruit de veenlaag is ontstaan. In de tweede boring is de veenlaag geërodeerd, maar is wel aanwezig geweest door de aanwezigheid van verticale doorworteling in de Eem Formatie.

Aan de hand van al deze gegevens kon worden vastgesteld dat de zoutkoepel tot in recent verleden actief is geweest gezien de aanwezigheid van alleen Boven-Pleistocene en Vroeg-Holocene afzettingen in een horizontale laag over de koepel.

#### LITERATUUR

Giessen, R & Laban, C. , 1995. Een zoutberg vlak onder de zeebodem. Mens & Wetenschap nr. 3 pp. 148 - 151.



Afbeelding 4.  
Ligging van de zout-  
koepel in blok K9.

# STROPERIG STEENZOUT: DE GEHEIMEN VAN EEN BIJZONDER GESTEENTE

Steenzout komt in enorme hoeveelheden voor in de Nederlandse ondergrond. Het is miljoenen jaren geleden afgezet door verdamping van zeewater. Zout komt niet alleen in sedimentaire lagen voor, maar ook in verdikte kussen- en pijlerstructuren (diapieren). Dit is het gevolg van zouttektoniek.

Winning van het ondergrondse zout door oplosmijnbouw maakt Nederland een van de grootste zoutproducenten ter wereld. Zout is niet alleen een belangrijke grondstof maar speelt bovendien een belangrijke rol voor onze gasvelden. De steenzoutvoorkomens in Nederland vormen namelijk vaak de afsluitende laag of de structurele 'trap' die voor de ophoping van aardgas heeft gezorgd. Door het steenzout konden dus onze gasvelden ontstaan. Verder biedt steenzout een buitengewoon geschikt medium om ondergrondse cavernes of holtes in te maken. Deze cavernes kunnen gebruikt worden voor opslag van aardgas, aardolie en andere energiedragers, of voor de opslag van afvalstoffen.

Geen ander gesteente speelt een zo diverse geologische rol en biedt zoveel geotechnische mogelijkheden. Maar wat, behalve de oplosbaarheid, maakt steenzout dan zo bijzonder? In deze bijdrage zullen we de aard en de eigenschappen van steenzout bekijken om inzicht te krijgen in hoe dit mooie, kristallijne gesteente een zo belangrijke rol heeft kunnen spelen in de geologische ontwikkeling van Nederland. Bovendien gaan we in op de mogelijkheden die het steenzout biedt voor de toekomst.

## Voorkomen en samenstelling van steenzout

Steenzout komt als gesteente voor in het noorden en oosten van Nederland, en onder het noordelijke deel van

het Nederlandse Noordzee. De dikste pakketten dateren uit het Laat-Perm of Zechstein (circa 260 miljoen jaar geleden), en komen in lagen over de hele regio voor. In Noord-Nederland en onder de Noordzee vormt het zout ook indrukwekkende kussens en pijlers (of koepels).

Het Zechsteinzout is afgezet in een aantal indampingscycli waarin eerst kalk werd afgezet, daarna gips of anhydriet en polyhaliet, daarna grote hoeveelheden haliet (keukenzout: NaCl), en uiteindelijk kleinere hoeveelheden van kalium- en magnesiumzouten sylviet, kieseriet, carnalliet en bischoffiet. Deze opeenvolging is karakteristiek voor de zogenoemde evaporietsequenties in het algemeen en reflecteert de toenemende oplosbaarheid van de zoutmineralen en het dus steeds later neerslaan van de zouten. De halietrijke lagen van het Zechstein, vooral in zoutpijlers, zijn lang geëxploiteerd door oplosmijnbouw, bijvoorbeeld in de buurt van Harlingen (Barradeel Concessie) en Zuidwending (Adolf van Nassau Concessie). De relatief zeldzame kalium-magnesiumzoutmineralen, zoals carnalliet en bischoffiet, zijn alleen lokaal aanwezig. Ze komen voor in de Veendam-kussenstructuur waar ze ook door oplosmijnbouw gewonnen worden.

Naast het Zechsteinzout komen ook belangrijke steenzoutafzettingen in Oost-Nederland voor, maar dan in de jongere sedimenten van de Trias, en vooral in de Röt Formatie (ouderdom ca. 235 miljoen jaar). Sinds 1936 is in de regio Hengelo (Twente-Rijn Concessie) zout gewonnen uit halietrijke steenzoutlagen en -kussens van deze ouderdom.

Wegens de hoge concentraties van gewoon keukenzout (natriumchloride) in zeewater is halietrijk steenzout qua volume verreweg de meest belangrijke zoutafzetting



van Nederland. Het steenzout is meestal kleurloos, grijs-wit, grijs, oranje-roze of rood-grijs en bestaat voor 90 tot 99% uit grof-kristallijne haliet (keukenzout of natriumchloride; Afb. 1). De perfect-kubische splijting van dit mineraal zorgt voor de prachtige glinstering op de breukvlakken van het steenzout. De meest belangrijke secundaire mineralen zijn vaak anhydriet, polyhaliet en kleimineralen en komen slechts in hoeveelheden van enkele procenten voor. Hoewel sommige verzamelaars van stenen en mineralen steenzout en de andere evaporieten geen 'serieuze stenen' vinden, is steenzout het belangrijkste kristallijne gesteente van Nederland. Het zit vol met fantastische kristallen van haliet, maar ook van andere zoutmineralen. De samenstelling en kristalstructuur van de meest voorkomende mineralen zijn in Tabel 1 weergegeven. Met een beetje geduld kunnen kristallen van de minder goed oplosbare mineralen, zoals anhydriet en polyhaliet, makkelijk uit een stuk steenzout gewonnen worden - gewoon door eerst het steenzout te malen en dan de haliet in water op te lossen. Met behulp van een loep zien de op deze manier gewonnen kristallen er vaak net zo mooi uit als veel grotere kristallen kwarts of calciet (Afb. 2)!



**Afbeelding 1.** Steenzout uit de Zechstein Groep met een samenstelling van meer dan 95% haliet. Let op de (poly)kristallijne structuur die zowel in de massieve monsters als in het slijpplaatje zichtbaar is. De perfect-kubische splijting van haliet zorgt voor de prachtige glinstering die zichtbaar is bij gebroken monsters.

Mineraal	Samenstelling	Kristalstelsel
Anhydriet	$\text{CaSO}_4$	Orthorhombisch
Gips	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Monoklien
Polyhaliet	$\text{K}_2\text{MgCa}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Triklikien
Haliet	$\text{NaCl}$	Kubisch
Kieseriet	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Monoklien
Sylviet	$\text{KCl}$	Kubisch
Carnalliet	$\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Orthorhombisch
Bischoffiet	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Monoklien

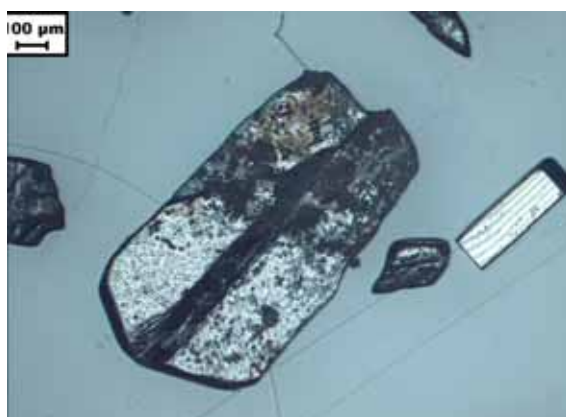
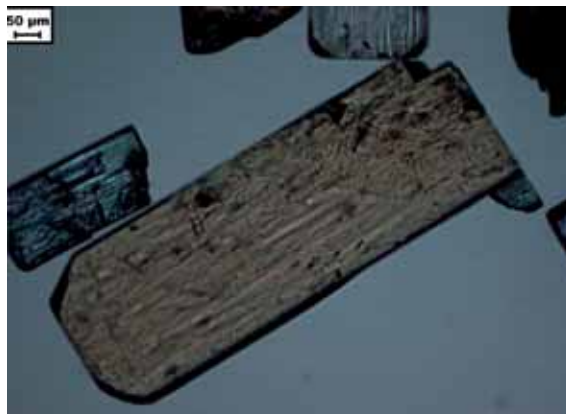
**Tabel 1.** Samenstelling en kristalstructuur van de meest voorkomende zoutmineralen in de zoutafzettingen van Nederland.

## Structuur en microstructuur

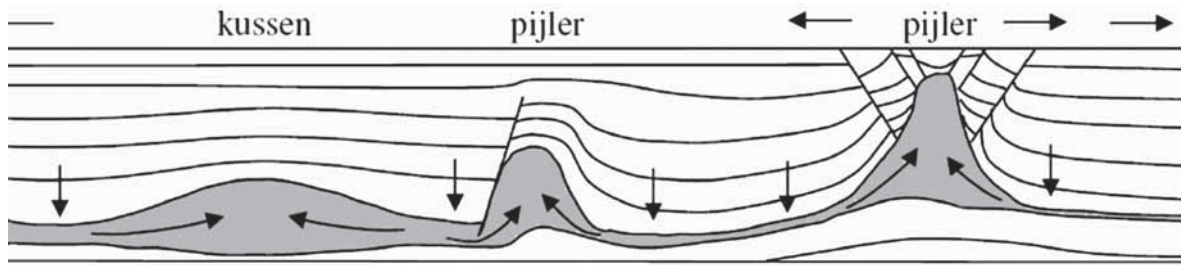
Steenzout van zowel de Zechstein als de Röt Formatie komt voor in relatief ongestoorde lagen met diktes tot enkele honderden meters. In het noordoosten van Nederland zijn er echter veel aanwijzingen voor een langzame, horizontale stroming of vloeï van het zout in het sedimentaire gesteentepakket. Deze stroming is mogelijk doordat haliet op een geologische tijdschaal makkelijk plastisch vervormbaar is. Haliet gedraagt zich namelijk als een 'superdikke' stroop. Met deze eigenschappen migreert steenzout langzaam in de ondergrond naar plekken waar het gewicht van de bovenliggende gesteentepakket het minst is. Door dit proces van zoutvloeï naar gebieden met de laagste gesteentedruk ontstaan er zoutkussens (Afb. 3).

Omdat steenzout op dieptes van 500 m of meer ook lichter is dan andere sedimenten, heeft het zout de neiging om langs breuken omhoog te migreren, terwijl de zwaardere gesteentelagen boven het zout de neiging hebben om in het zoutpakket te zinken. Hierdoor ontstaan zoutpijlers (Afb. 3). In de ondergrond van het Nederlandse vasteland zijn meer dan 30 zoutpijlers en zoutkussens bekend. Dit zijn gigantische structuren die je kunt zien als ondergrondse heuvels, bergen en muren van steenzout, met een laterale verbreiding van kilometers en zoutdiktes van honderden meters tot meer dan 3 km. Intern vertonen dergelijke structuren complexe patronen van plooiing en vloeï die de plastische vervorming van het zout reflecteren. Het algehele proces van zoutbeweging en de vorming van kussens en pijlers wordt zouttektoniek of halokiniese genoemd.

Op kleinere schaal toont steenzout ook veel bewijs van de processen die hebben geleid tot de vorming en vervorming van het zout. Minder verstoord steenzout wordt vaak gekarakteriseerd door een sedimentaire gelaagdheid en een patroon van kristalgroei die het



**Afbeelding 2.** Kristallen van anhydriet en polyhaliet gewonnen uit een stuk steenzout van het Zechstein, verkregen door het gesteente in zijn geheel te vermalen en vervolgens de haliet in water op te lossen. Het polyhalietkristal vertoont tweelingen.

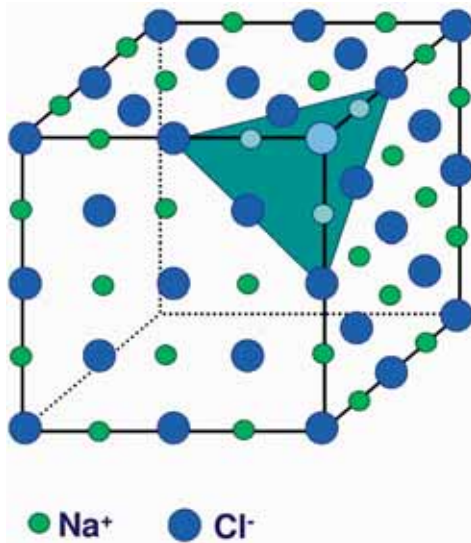


Afbeelding 3.

Vorming van zoutkussens en pijlers (koepels) door plastische vloeï van steenzout (grijs). Kussens en pijlers worden gevormd door een stroming van zout die het gevolg is van laterale verschillen in de dikte, en dus het gewicht, van de bovenliggende gesteentes. Het zout migreert naar plekken waar het bovenliggende gesteente het dunst is. Omdat

steenzout ook lichter is dan andere sedimenten op dieptes van 500 m of meer, heeft het zout ook de neiging om langs breuken en in de kern van slenk-structuren omhoog te migreren, terwijl de zwaardere gesteentelagen boven het zout de neiging hebben om in het zout te zinken.

Afbeelding 4.  
Het kubische  
kristalrooster  
van NaCl (haliet).



oorspronkelijke proces weergeeft van zoutkristallisatie gedurende de indamping van zout water en de langzame sedimentatie van klei, gips, anhydriet of polyhaliet. Sterk vervormd steenzout uit kussens of pijlers heeft een heel andere structuur. De kristalmaat van haliet varieert hier van enkele millimeters tot enkele centimeters en de oorspronkelijke structuur is volledig vervangen door nieuwe kristallen die tijdens de deformatie groeien, ten koste van oudere, vervormende kristallen.

### Rare eigenschappen

Waarom gedraagt steenzout zich zo raar in de aardkorst? Wat zijn de bijzondere eigenschappen die zorgen voor het vreemde gedrag van dit merkwaardige gesteente?

De eigenschappen van steenzout reflecteren de eigenschappen van het dominante mineraal haliet (NaCl). Haliet is sterk oplosbaar (ca. 350 g/l), heeft een lage dichtheid van slechts 2,2 keer die van water (2,2 g/cm<sup>3</sup>), is een goede geleider van warmte, zet sterk uit wanneer het verwarmd wordt en is het meest plastisch-vloeibare gesteentevormend mineraal. Verder heeft halietrijke gesteente zo weinig poriën tussen de halietkorrels dat het praktisch ondoorlaatbaar is voor gassen of vloeistoffen.

In essentie vloeien al deze eigenschappen voort uit de ordening en sterkte van de bindingen tussen de ionen natrium (Na<sup>+</sup>) en chloor (Cl<sup>-</sup>) waaruit haliet is

opgebouwd, en het relatief lage gewicht van deze ionen. Het kristalrooster van NaCl bestaat uit een samenpakking van Na<sup>+</sup> ionen (natrium atomen die één elektron hebben verloren) en Cl<sup>-</sup> ionen (chloro-atomen die er één elektron bij hebben gekregen). Deze ionen zijn hoofdzakelijk door elektrostatische aantrekkingskrachten met elkaar verbonden. De perfect-kubische ordening van de ionen die resulteert uit deze elektrostatische interactie (Afb. 4) zorgt voor de kubische kristalstructuur van haliet.

De ionbindingen van NaCl zijn veel zwakker dan de zogenoemde covalente verbindingen, die de structuur van silicaatmineralen zoals kwarts of veldspaten bepalen en waarbij niet alleen elektrostatische aantrekkingskrachten de atomen in het kristal bij elkaar houden. De zwakkere bindingen veroorzaken de makkelijke en perfect-kubische splijting van NaCl, en vormen ook de reden waarom haliet zo makkelijk oplosbaar en plastisch vervormbaar is. De ionen kunnen daardoor makkelijk uit het kristal springen om op te lossen of bij vervorming langs elkaar glijden.

Het sterk uitzetten van haliet bij verhitting en de hoge warmtegeleidbaarheid van haliet hebben ook te maken met de zwakke bindingen: de ionen zijn dan vrijer om te trillen wanneer ze warmte-energie opnemen. De ionen nemen dus bij verhitting meer ruimte in beslag en kunnen de warmte-energie sneller doorgeven door tegen hun ion-buren aan te botsen. De lage dichtheid van NaCl is het resultaat van zowel de relatief open kristalstructuur (met veel ruimte tussen de ionen) als het relatief lage gewicht van de natrium- en chlooratomen. De combinatie van de lage dichtheid van NaCl en de sterke mate van uitzetting bij toenemende temperatuur is de reden waarom steenzout lichter is dan omringende gesteentes, waardoor het de neiging heeft om in de aardkorst naar boven te bewegen.

### Hoezo vloeï?

De meest opvallende eigenschap van steenzout is misschien wel de uitzonderlijke plastische vloeïbaarheid van het mineraal (viscositeit). Op een geologische tijdschaal, maar ook tijdens de zoutwinning in de oplosmijnen, toont steenzout de neiging om als een dik-stroperige vloeïstof te stromen, terwijl het desondanks helemaal in de vaste, kristallijne vorm blijft. Zonder deze eigenschap was zouttektoniek niet mogelijk en veel van de gerelateerde olie- en gasvoorkomens zouden niet bestaan.

We zijn al tot de conclusie gekomen dat de plastische vervormbaarheid van steenzout het gevolg is van de zwakke ionbindingen in NaCl waardoor de ionen makkelijk langs elkaar kunnen glijden. Maar hoe werkt dit precies? Hoe is het mogelijk dat een steen die breekt onder een hamerslag ook kan vloeien als dikke stroop<sup>1</sup>? De meest indrukwekkende demonstratie van plastische vloeï van haliet vormt een experiment dat je zelf met de blote hand kunt uitvoeren met een staafvormig kristal van haliet van enkele centimeters in lengte. Als je zo'n kristal gewoon met de vingers probeert te buigen breekt het meteen. Maar als je dit onder stromend water doet gaat het kristal heel makkelijk plastisch buigen! Het is op deze manier zelfs mogelijk om het kristal te buigen en te plooiën (Afb. 5). Dit bijna ongelofelijke effect van water heet het "Joffé Effect" en heeft niets te maken met een verzwakking van het kristal. In tegendeel, het water lost het oppervlak van het kristal gewoon sneller op dan dat zich daar barstjes kunnen vormen, zodat het kristal moeilijk breekt. Door de lage weerstand tegen plastische vloeï buigt het kristal in plaats van te breken.

Het gemak waarmee haliet plastische vervormt is ook te zien wanneer je een enkel kristal langzaam in één richting mechanisch belast met behulp van een pers. Zonder hulp van water leidt dit tot een plastische verkorting van het kristal, waarbij er in het kristal geen breuken optreden. Aan het oppervlak van zo'n kristal zijn de eerste aanwijzingen te vinden van hoe plastische vervorming werkt - want daar verschijnen sporen van de beweging die langs prominente vlakken in het kristalrooster heeft plaatsgevonden (Afb. 6).

Wat er aan de hand is, is het volgende. In alle kristallen zitten fouten in het kristalrooster. Een van de belangrijkste roosterfouten is de 'dislocatie', waarbij atoomrijen doodlopen of verspringen. Afbeelding 7 illustreert het eerste type dislocatie. Als we een kristal onder mechanische spanning zetten, door te drukken

<sup>1</sup> Een ander gesteentevormend mineraal dat dit gedrag vertoont is ijs. Denk maar aan de gletsjers die de bergen afstromen.

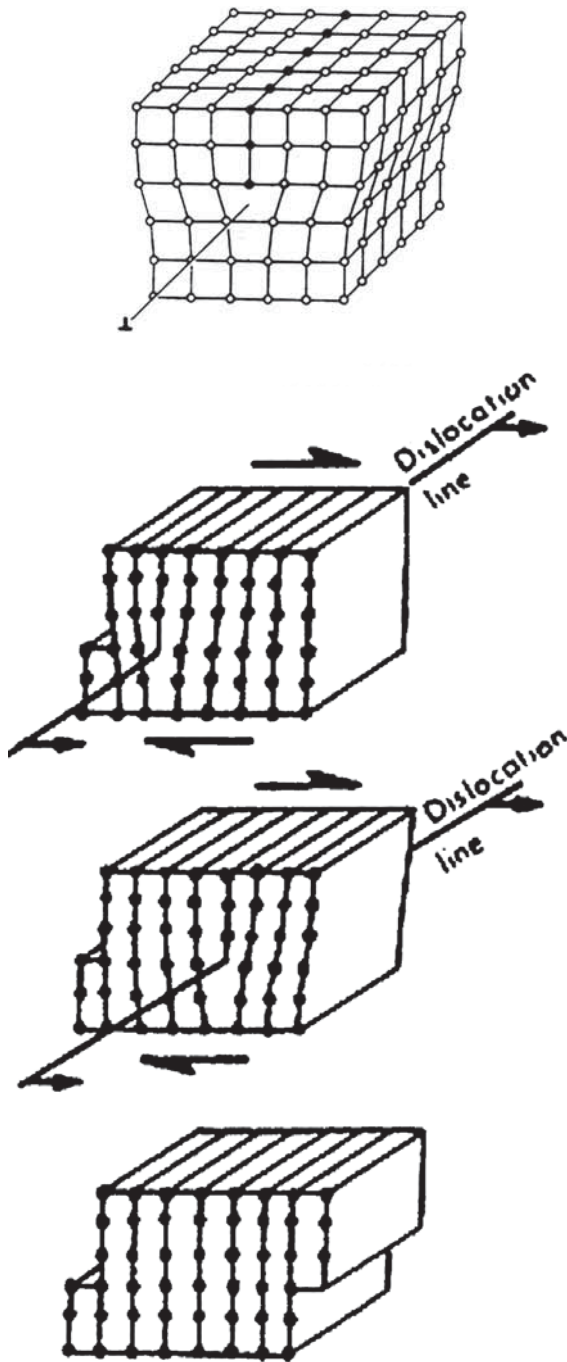


Afbeelding 5. Onder stromend water kan een staafvormig kristal haliet van enkele cm in lengte makkelijk tussen de vingers gebogen worden.



Afbeelding 6. Links: NaCl-kristallen voor en na plastische vervorming door verticale verkorting van 15% in een pers bij kamertemperatuur. De lijnen op het oppervlak van het vervormde kristal (rechts) zijn de sporen van een schuifbeweging langs prominente vlakken in het kristalrooster. Deze schuifbeweging vindt plaats doordat dislocaties door het kristal heen glijden (Afb. 7).

Afbeelding 7. Schematische weergave van een dislocatie in een kubisch kristalrooster (bovenste diagram). Door op het kristal te drukken en zo een schuifspanning te creëren glijden deze roosterfouten door het kristal heen (onderste drie diagrammen). Dit leidt tot plastische vervorming als gevolg van een verschuiving langs de roostervlakken waarbij de bindingen tussen de ionen in het kristalstructuur een-voor-een worden gebroken en hersteld.



of te buigen, kunnen dislocaties langs prominente roostervlakken door het kristal glijden. Dit leidt tot een verschuiving langs de roostervlakken waarbij de bindingen tussen de ionen of atomen een-voor-een worden gebroken en daarna weer hersteld. Op deze wijze ondergaat het kristal een plastische vervorming zonder dat het barst. Hierbij geldt natuurlijk dat hoe zwakker de bindingen zijn hoe makkelijker het proces verloopt. Dit is de reden waarom haliet zo plastisch vervormbaar is.

Bij een mechanisch belast kristal is de vervorming afhankelijk van de temperatuur en de tijd. Hoe warmer het is of hoe langer je wacht, hoe groter de kans is dat de atoomtrilling in het kristalrooster een dislocatie helpt over te springen naar de volgende positie in de rooster. Daarom zijn haliet en steenzout makkelijker vervormbaar bij hogere temperaturen en wanneer de belasting over een langere tijd plaatsvindt, en dus vloeit steenzout bijzonder makkelijk bij de verhoogde temperatuur in de ondergrond en op geologische tijdschalen!

Naast de verplaatsing van dislocaties is er nog een mechanisme dat de plastische vloeï van steenzout bevordert en op geologische tijdschalen het gesteente helpt te verzwakken tot de stroperigste steen in de aardkorst. Dit is het mechanisme van drukoplossing. Tussen de kristallijne korrels van het steenzout bevindt zich altijd een dunne laag watermoleculen of zelfs een dunne laag pekels of een rij belletjes vol pekels. Als we steenzout onder mechanische spanning zetten, door drukken of buigen, lost het zout langzaam op in het water of in pekels langs de kristalgrenzen - in het bijzonder langs de kristalgrenzen die onder de hoogste druk staan. Waar de druk minder is slaat het opgeloste zout weer neer. Het resultaat is een langzame, lastische vervorming of vloeï van het gesteente, door transport van haliet om de kristallen in het steenzout heen (Afb. 8).

Oplossing, transport en neerslag van haliet, in een richting loodrecht op de kristalgrenzen, kan ook tot kannibalisme leiden, waarbij een zoutkristal door zijn burens wordt opgegeten. Dit proces wordt rekristallisatie genoemd. Rekristallisatie is verantwoordelijk voor het verversen van de microscopische structuur van steenzout gedurende de plastische vloeï en draagt ook bij aan het verzwakken van het zout.

De verplaatsing van dislocaties, drukoplossing en rekristallisatie vinden vaak naast elkaar en tegelijkertijd in het steenzout plaats. Dit leidt tot plastische vloeï op een manier die vergelijkbaar is met het gedrag van een dikke, stoperige of superviscouse vloeïstof. De viscositeit van steenzout onder de condities van de bovenste 5 km van de aardkorst is een factor honderdbiljoen ( $10^{14}$ ) stijver dan gesmolten lava of glas en een factor tienduizend ( $10^4$ ) minder stijf dan de silicaatrijke gesteenten in de onderkorst of aardmantel. De viscositeit van zout is hoog genoeg om zouttektoniek tot een van de belangrijkste vervormingsprocessen op onze planeet te maken.

### Genezing van barsten en breuken

Als gevolg van de lage viscositeit van haliet toont steenzout een aantal andere zeldzame en belangrijke eigenschappen. De eerste is dat de poriën, die normaal in het zout aanvankelijk aanwezig zijn na indamping en kristallisatie, snel worden dichtgedrukt wanneer latere evaporieten of sedimenten het zout begraven. Gelaagd steenzout in de ondergrond heeft om die reden een bijzonder lage porositeit en ook een bijzonder lage doorlatendheid. Verder betekent de plasticiteit en lage viscositeit dat er zelden barsten en breuken in steenzout vormen, en dat ze snel dichtvloeïen wanneer ze wel ontstaan. Processen vergelijkbaar met drukoplossing kunnen barsten en breuken ook snel genezen door oplossing en neerslag van zout.

### Betekenis voor industrie en maatschappij

Door bovenstaande processen vormen de steenzoutformaties in de bovenkorst van de aarde bijna perfecte barrières voor vloeïstoffen die door de ondergrond stromen. Dit geldt voor onverstoorde lagen, kussens en pijlers. De lage porositeit en lage doorlatendheid maken het mogelijk dat gigantische hoeveelheden aardgas of aardolie door steenzout afgesloten worden. Het gas of de olie kan zich bevinden in reservoirs die onder (sub)horizontale zoutlagen liggen, zoals in de gasvelden van Groningen, of in reservoirs die door zoutgevulde breuken, zoutkussens of pijlers worden afgesneden (Afb. 3), zoals onder de

# MEDEDELINGEN

Nederlandse Geologische Vereniging  
Bijlage van Grondboor & Hamer nr. 4/5 - 2010  
Kopij voor de 'Mededelingen' van nummer 6  
kan vóór 1 november 2010 worden gezonden aan  
P.W. van Olm, secretaris van de NGV, Bongerd 180,  
8212 BK Lelystad, paulvanolm@hotmail.com

## VAN DE BESTUURSTAFEL

### Nieuwe hoofdredacteur voor Grondboor & Hamer

Ik prijs mij gelukkig te kunnen melden dat een nieuwe hoofdredacteur is gevonden voor ons verenigingsblad Grondboor & Hamer. Bert de Boer meldde enige tijd geleden belangstelling te hebben voor deze vrijwilligersfunctie. Na enige gesprekken met bestuur en redactie hebben alle partijen uitgesproken alle vertrouwen te hebben in een goede samenwerking. Bert zal zijn werk zo spoedig mogelijk beginnen en zichzelf in Grondboor & Hamer nr. 6 introduceren. Namens het bestuur wens ik Bert bij deze alle succes bij zijn, toch best veeleisende, functie. Ik ben ervan overtuigd dat we samen de uitspraak van Bert "het blad is er voor de vereniging en niet andersom" kunnen waarmaken.

*Joost Vermeë*

## GESCHIEDENIS GRONDBOOR & HAMER

Bij deze gelegenheid lijkt het zinvol om even terug te kijken naar de ontwikkeling van Grondboor & Hamer gedurende de laatste jaren.

Als we terugkijken naar de eeuwwisseling zien we een blad dat, onder redactie van Peter Venema, gemiddeld 24 pagina's telt. Grondboor & Hamer is dan al jaren in geologische kringen zeer gewaardeerd. Het blad bevat veel foto's en er is één pagina in kleur.

Het budget in dat jaar is 56.000 gulden (€ 25.000). De vormgeving wordt door vrijwilligers gedaan. Er worden dan al (zoals nu nog steeds) vijf reguliere nummers en een dubbelnummer (Naturalis) uitgegeven.

In 2002 bevatten de reguliere nummers van Grondboor & Hamer gemiddeld nog steeds 24 pagina's en de hoofdredactie wordt gevoerd door Irene Groenendijk. Er zijn meerdere pagina's in kleur en het budget is nog steeds € 25.000. In 2005 is het gemiddeld aantal pagina's iets gestegen. Het budget is verhoogd tot ongeveer € 28.000, mede omdat, op initiatief van Irene, voortaan gewerkt wordt met een professionele vormgever.

In 2006 wordt de hoofdredactie overgenomen door Wim Hoogendoorn. Het gemiddeld aantal pagina's, nu wel allemaal full-colour, blijft ongeveer gelijk. Het budget in dat jaar is € 33.000. In de jaren daarna stijgt het aantal pagina's per nummer naar 28.

Kijken we nu in 2010, dan zien we in elk nummer 32 full-colour pagina's en het beschikbare budget is sinds 2000

met ca. 75% gestegen naar € 42.000.

Het bestuur wil deze gelegenheid graag aangrijpen om alle hoofdredacteuren, alle redactieleden en alle andere vrijwilligers te bedanken die ieder hun eigen bijdrage hebben geleverd aan de ontwikkeling van ons veel geprezen verenigingsblad Grondboor & Hamer. Het blad is in de loop der jaren, dankzij de inzet van vele vrijwilligers, altijd al een zeer gewaardeerd volwassen blad geweest en heeft zich, mede doordat het bestuur een groter budget beschikbaar kon stellen, steeds kunnen aanpassen aan de eisen van de tijd!

## THEMADAG 'ZAND'

De Nederlandse Geologische Vereniging (NGV) organiseert onder de naam Geologisch Activiteiten Centrum (GAC) een aantal themadagen over geologische onderwerpen in het gebouw van "TNO-Bouw en Ondergrond" (Princetonlaan 1) gelegen in het universiteits-centrum De Uithof in Utrecht. Deze themadagen staan open voor iedere belangstellende!

### Zaterdag 20 november 2010 themadag

#### ZAND

In al haar aspecten van determineren tot verzamelen  
Van 10.00 tot 16.00 uur geologische markt:

Op deze geologische markt zijn de volgende activiteiten gepland. Aanmeldingen voor deelname zijn nog van harte welkom. Info bij: jvermee@xs4all.nl

- Work-shops scheiden van zanden, maken zandfracties etc.
- Tentoonstelling van vele variaties uit verschillende particuliere verzamelingen.
- Bezichtigen diverse zanden met behulp microscopen
- Bijzondere zanden
- Tentoonstelling boorkernen met medewerking van Kernhuis TNO
- Mogelijkheid om vondsten te laten determineren.
- Fotografie van zanden
- Literatuur over zand.
- Leestafel met boeken en tijdschriften.

#### Lezingenprogramma in het auditorium:

10.30 – 11.15 "Zware mineralen in zand met speciale aandacht voor zilverzand en Saharazanden" door Hans de Kruyk

11.30 – 12.30 "Toepassingen van zand in zandlopers" door Wim Zalm en R. Hermann (dtsl).

13.30 – 14.30 “Praktijkgerichte beschrijving sedimentmonsters, Herkomst zand Nederlandse ondergrond, invloed sedimentaire processen op zandpakketten.” door Wim Westerhof.

#### Zandruilen (naar Nederlands model):

Van 15.00 uur zal er een zandruilmarkt zijn, waarbij verzamelaars dubbele zanden verruilen. Hierbij geldt het principe ruilen zonder geldelijke vergoeding. (Nederlands model)

#### Bereikbaarheid

Per auto: A28, afslag De Uithof. Borden Budapestlaan/Princetonplein volgen. Bij het gebouw zijn voldoende parkeerplaatsen.  
Openbaar vervoer: stadsbus lijn 11 en 12 iedere 5 minuten naar de Uithof (reistijd ca. 20 minuten). Uitstappen halte “Botanische tuinen” (lijn11) resp. “Kruytgebouw” (lijn12).

Voor nadere informatie en routekaartje zie: [geologischevereniging.nl](http://geologischevereniging.nl) of [jelletalma@12move.nl](mailto:jelletalma@12move.nl) (organisatie)

## ACTIVITEITEN IN 2011

### Zaterdag 12 maart: Contactdag.

De jaarlijkse contactdag met lezingen in het gebouw van de afd. Aardwetenschappen en een ‘geologische markt’ in het TNO-gebouw in Utrecht.

De moeite waard om te komen! Nadere informatie volgt in het volgende nummer van G&H.

### Themadagen:

We hebben voor 2011 de themadagen gepland op de zaterdagen:

29 januari

24 september

26 november

De thema’s voor deze drie dagen liggen nog niet vast. Suggesties zijn zeer welkom!

### Algemene ledenvergadering

De combinatie ledenvergadering en ‘geologische excursie’ (zoals we die de afgelopen drie jaar hebben gehouden) bevat uitstekend. Ook in 2011 doen we dat weer en wel op zaterdag:

14 mei

De plaats ligt nog niet vast. Ook hiervoor zijn suggesties welkom!

Nadere informatie volgt.

## CURSUSSEN

### Cursus ‘mineralen determineren’

Hebt u ook mineralengidsjes in de kast staan? Bij elk mineraal een foto die natuurlijk net niet lijkt op het mineraal waarvan u de naam probeert te achterhalen? Of hebt u een boekje met alleen maar tekeningen van de kristalvorm en kunt u niet besluiten of deze tweedimensionale weergave nu wel of niet lijkt op het kristal dat u gevonden heeft? Alle gidsjes hebben één ding

gemeen, ze geven bij elk mineraal een opsomming van eigenschappen als de hardheid, het soortelijk gewicht, de streep, de splijting, de kristalvorm, etc. Daar gaat het duidelijk om. Maar kunt u daar mee werken? Weet u wat daar nu eigenlijk staat? Niet precies? Volg dan de cursus ‘mineralen determineren’ die we in de eerste maanden van 2011 organiseren.

Deelnemers: minimaal 12, maximaal 16. Voorkennis: geen. Toelatingsvoorwaarde: Lid zijn van de NGV of van GEA. Kosten: € 70,00. Docente/plaats: drs. Maaïke van Tooren in het gebouw van TNO Bouw en Ondergrond, Princetonlaan 6, Universiteitscentrum De Uithof, Utrecht. Cursusdata: de zaterdagen 12 en 19 februari, 5 en 19 maart 2011. Steeds van 11.00 tot 16.00 uur. Aanmeldingen bij voorkeur via e-mail naar Joost Vermeë.

### Cursus ‘gesteenteterminatie’

De 2010-cursus start op 6 november en is met 16 deelnemers helemaal volgeboekt. Er is zelfs al een wachtlijst voor een volgende cursus die waarschijnlijk in het najaar van 2011 wordt gegeven. Om er zeker van te zijn dat je hier aan mee kunt doen, is nu inschrijven erg belangrijk. Informatie over de cursus is te vinden op de NGV-internetsite [www.geologischevereniging.nl/GAC](http://www.geologischevereniging.nl/GAC). Aanmeldingen (op dit moment nog zonder verdere verplichting) bij voorkeur via e-mail naar Joost Vermeë.

## DE GESTEENTENCURSUS BIJ U THUIS?

Mijn vroegere cursus ‘gesteentenherkenning’ is thans op aanvraag beschikbaar als uitleen/zelfstudie-cursus. Met een geheel nieuwe cursustekst kunt u thuis op uw gemak, in eigen tempo en bij herhaling de circa 150 gesteentesoorten in 200 monsters bestuderen. U kiest nu zelf: de duur van lenen, de periode waarin u er de tijd voor hebt en uw eventuele medecursisten (niet te veel!). Alle plaatjes kunt u op eigen PC raadplegen, de tekst verwijst op het juiste moment naar monsters of plaatjes. Overig plaatmateriaal en luchtfoto’s (op dia) zijn er allemaal bij. Wordt het even te veel? Sla het over en begin aan het volgende hoofdstuk.

Voor de kosten hoeft u het niet te laten. Ik vraag € 15,- per uitleenweek. U dient alleen het spul te komen ophalen bij mij thuis en ..... op een af te spreken datum weer terug te brengen. Van dat laatste moet ik 100% op aan kunnen, anders kan ik met volgende leners geen afspraken maken. Dat betekent 100 kilo in de auto, verdeeld over 7 laden en een kistje. U kunt een leenperiode lang tevoren afspreken, mochten andere leners tussenbeide willen komen, dan overleggen u en ik eerst. Wel dient u donateur van GEA of lid van de NGV te zijn.

Jan Verhofstad, Dorpsweg 108, Schellinkhout,  
tel.: 0229-503046, mail: [jverhofstad@hetnet.nl](mailto:jverhofstad@hetnet.nl)

## HOVO CURSUSSEN GEOLOGIE EN REIS VAN GEO-TRAINING & TRAVEL

Introductie in de Geologie I-1 over de groei van de geologische wetenschap; hoe stapsgewijs geologisch inzicht is

verkregen en geologische wetten en kringlopen bekend werden. Behandelt gesteentesoorten, vooral sedimentaire gesteenten. Deze cursus wordt op de HOVO Leeuwarden en Groningen gegeven.

Introductie in de Geologie I-2 over geologische tijd en ruimte, de (klassieke) stratigrafie, zeespiegel schommelingen en inleiding in sequentie stratigrafie. Ook inleiding in structurele geologie en plaattektoniek Deze cursus wordt op de HOVO Emmen en in Rolde gegeven.

Nadere inlichtingen over data en duur tjareijers@hetnet.nl. Na afloop van deze cursussen is het mogelijk om deel te nemen aan een 8-daagse excursie naar het Cantabrische Gebergte in Noordwest Spanje (september 2011).

Programma daarvan en boeken via:  
www.marcopolareizen.nl/geologie.

### Lezingen voor afdelingen/kringen:

GT&T is bereid om lezingen te houden over verschillende geologische onderwerpen. Nadere inlichtingen op aanvraag bij tjareijers@hetnet.nl

## CURSUSSEN MUSEON

### Basiscursus Geologie

Begin 2011 start er weer een basiscursus geologie. U hoeft geen voorkennis te hebben. Docent is drs. Cor Montagne. Hij zal u vertrouwd maken met de lange geschiedenis van de aarde. Daarbij leert u welke processen er in het inwendige van de aarde en aan het aardoppervlak werkzaam zijn en vooral ook wat wij daarvan kunnen zien. Als u deze cursus heeft afgerond, bekijkt u de wereld met andere ogen.

De kosten voor de cursus serie zijn € 80,- inclusief basisboek. Meer informatie bel/mail Cor Montagne 070-3381400 cmontagne@museon.nl

### Specialistenserie Geologie 2010 - Lezingen door geologen.

Deze lezingen worden gehouden in het Museon in Den Haag op vrijdagmiddagen van 14.00 tot 16.00 uur. De kosten zijn voor de gehele serie van 10 lezingen € 80,- inclusief eventuele samenvattingen of hand-outs. De kosten van een enkele lezing zijn € 9,- te voldoen aan de kassa van het Museon.

### 22 oktober De voorspelbaarheid van aardbevingen Dr. Rob Govers (Universiteit Utrecht)

Na een inleiding in de 'aardbevingskunde' komen de volgende vragen aan de orde: veroorzaken aardbevingen andere aardbevingen, zijn er indicatoren/signalen die een aardbeving aankondigen en kunnen we dit meten? Welke maatregelen helpen om de schade als gevolg van aardbevingen te verminderen? De recente schokken in Haïti en Chili illustreren hoeveel verschil een goede voorbereiding kan maken.

### 29 oktober Vulkanisme o.a. IJsland Dr. Manfred van Bergen (Universiteit Utrecht)

### 5 november Noord-Amerika en Europa; werelddelen als mozaïeken

#### Dr. Tom J. A. Reijers (Geo-Training & Travel)

De omtrek van Europa ziet er grillig uit. Dat beeld wordt versterkt door gebergtekets van verschillende

ouderdom die elkaar kruisen. Ook Noord-Amerika heeft geologisch veel grillige eigenschappen. Op beide continenten is dat het gevolg van het 'aanplakken' van vreemde continentale brokstukken op verschillende momenten in de geologische geschiedenis. Die geschiedenis wordt getraceerd.

### 19 november Evolutie van walvissen Prof. Dr. Jelle Reumer (Natuurhistorisch Museum Rotterdam, Universiteit Utrecht)

### 26 november Dynamiek van de Nederlandse kust Dr. Bert van der Valk (Deltares)

De Nederlandse Noordzeekust is dynamisch van nature. Deze kust is over de laatste 5-6000 jaar tot stand gekomen. De volgende vragen komen aan bod: wat weten we van die kust, hoe gaan wij om met het dynamische karakter, en welke effecten hebben we als mens gehad (en hebben we nog steeds) op het systeem kust? Wat komt ervoor kijken om die kust in stand te houden, en hoe pakken we dat aan? En tenslotte: welke uitdagingen liggen er voor ons op dit gebied?

### 3 december Nederland gasland - hoe lang nog? Prof. Dr. Jan de Jager (Vrije Universiteit)

De geschiedenis van de olie en gas industrie in Nederland. De eerste olie- en gasvondsten, de toevallige ontdekking van olie bij Den Haag, Groningen uiteraard, de offshore). De huidige en toekomstige activiteiten (inclusief onconventioneel gas).

### 10 december Diaklaaspatronen in Jordanië Ir. Geertje Strijker (Technische Universiteit Delft)

Tijdens het Cambrium, zo'n 500 miljoen jaar geleden, lag het huidige Jordanië aan de noordelijke rand van supercontinent Gondwana. Een reusachtig riviersysteem kroop vlechtend naar de kust. In de zanden die hier werden afgezet is later een prachtig ontsloten diaklaasnetwerk ontstaan. De diaklazen zijn zelfs nog te herkennen in de monumenten gebouwd in de hoogtijdagen van de historische stad Petra. Maar wat kunnen ze ons nog meer vertellen?

### 17 december Zeespiegelbewegingen in de Kaspische zee Prof. Dr. Salomon Kroonenberg (em. TU Delft)

Meer informatie: bel/mail Cor Montagne 070 - 3381400 cmontagne@museon.nl

## GEOREIZEN 2011

### Vulkanen en landschappen van Costa Rica en Nicaragua 12 - 28 februari 2011

Leiding: drs. Pieter Dercksen, dr. Maria Martinez  
De vulkanen Irazú, Poás, en Arenal met observatorium staan op het programma en ook het vulkaancomplex Rincón de la Vieja met lavakoepels en borrelende vulkanische putten. Tropisch regenwoud met veel wildlife. Ook cultuur komt aan de orde: de veelkleurige stad Granada, een Unesco Werelderfgoed in Nicaragua. We bezoeken de indrukwekkende caldera van de Masaya vulkaan. Afsluitend de vulkanen op het eiland 'Isla de Ometepe' dat in het enorme meer van Nicaragua ligt.

### In voorbereiding o.a.:

Geologie en archeologie van Kreta met dr. Pim van Wamel (april/mei 2011)

Sauriërs, olie, indianen en canyons van Utah en Colorado (USA) met dr. DirkJan Simons (mei/juni 2011)

Meer info op [www.georeizen.nl](http://www.georeizen.nl)

## NIEUWS VAN DE AFDELINGEN

### Afdeling Twente

**Dinsdag 19 oktober**

Tom Reijers, geoloog en avonturier, komt vertellen over 'De geologische vorming van Europa'.

**Dinsdag 16 november**

Eric Mulder, onze oud-voorzitter over 'Vanaf de Zuidpool naar Noord-Twente, fossielen op reis met water en ijs'.

**Dinsdag 21 december**

Peter Bijl, van het Institute of Environmental Biology van de Universiteit Utrecht, over 'Tropisch Antarctica'.

Locatie lezingen: Museum Twentse Welle, Het Rozenendaal 11, 7523 XG Enschede. Aanvang: 19.30 uur.

### Afdeling Zwolle

De bijeenkomsten vinden maandelijks plaats van september tot en met mei in de Eli Heimanszaal van het Ecodrome te Zwolle, Willemsvaart 19. Zaal open 19.30 uur, aanvang lezingen 20.00 uur.

Vrijdag 8 oktober 2010 geven Jan en Els Weertz uit Terschuur een lezing met als titel 'IJzer is overal'. Zij laten dan zien dat je in Nederland overal ijzer in de bodem kunt tegenkomen.

Vrijdag 12 november 2010 geven de heren C.H. van As en L.J. Hemmes uit Rotterdam een lezing met als titel 'Zeolieten, mooi en nuttig'. De industrie maakt vooral gebruik van synthetische zeolieten. In de lezing ligt de nadruk op de natuurlijk gevormde zeolieten.

Vrijdag 10 december 2010 zal ons eigen lid Louis Verhaard voor de pauze een diaprojectie geven over de natuurstenen drempels die door hem zijn geïnventariseerd in Deventer. Na de pauze is er de jaarlijkse verloting.

Vrijdag 21 januari 2011 kunnen de leden, na de jaarvergadering, een tafelpresentatie geven van eigen vondsten.



### Afdeling Limburg

Het is begin september en de vakantiemaanden zijn weer voorbij.

In groeve 't Rooth' wordt weer gewerkt, waardoor de vondstmogelijkheden weer beter zijn. Er komen nog enkele excursies naar de ENCI, maar er zijn al beperkingen, omdat er al begonnen is met het herinrichten van de groeve. Het is verstandig de dag voor de excursie nog

op Internet te kijken of er veranderingen zijn. Mogelijk zijn er beperkingen of zelfs kan een excursie helemaal afgelast worden wegens werkzaamheden in de groeve. Verder houden we op 23 oktober een excursie naar de VulkaanEifel en op 30 oktober een excursie naar groeve L'Ortye in Stein, waar we gaan zoeken naar Maasgesteenten. Als afsluiting gaan we op 21 november met Wiel Schins wandelen in het Savelsbos en bekijken we de geologie van het gebied.

In september beginnen we de ledenbijeenkomsten weer met het bespreken van alle vakantievondsten. In oktober houdt Rafael Dohmen een lezing over het Tertiaire en Kwartaire vulkanisme in Europa als voorbereiding op de excursie naar de VulkaanEifel. In november komt Eric Nieuwenhuis ons over mineralen bijpraten en in december besluit Wiel Schins het jaar met een verhaal over de prehistorie in Limburg.

Data en nadere gegevens over de lezingen en excursies van de afdeling Limburg worden in het eerste nummer van ons tijdschrift "Sprekende Bodem" gepubliceerd of kunnen op de website van de NGV Afdeling Limburg (<http://www.geologischevereniging.nl/afdelingen/limburg/>) ingezien worden.

### Afdeling Winterswijk

**Maandag 8 november 2010**

Jelle Reumer (Natuurhistorisch Museum in Rotterdam) houdt een lezing met als titel 'De ontplofte aap'. De titel maakt al nieuwsgierig.

**Maandag 13 december 2010**

Prof. dr. Jan Smit praat ons bij over alle aspecten rond de beroemde KT-grens (tussen Krijt en Tertiair).

### Nieuws van het excursiefront

Er zijn nog maar weinig zekerheden, maar onderstaand overzicht leert u wat we denken te kunnen bieden.

Weekendexcursie Mineralen van Sauerland, gepland 30 en 31 oktober 2010

Dagexcursie Staringgroeve + bezichtiging Staringcollectie  
Dagexcursie Naturkunde Museum in Münster met een expo over Messel (125 schitterende fossielen). Gepland op zaterdag 11 december.

Dagexcursie Het Achterhoekse landschap (in Aalten, onder begeleiding).

Dagexcursie naar de geologische collectie museum Folkwang-Essen (nu in Zeche Zollverein).

Dagexcursie naar Wettringen en Haddorf.

Meerdaagse excursie Frankrijk en wel Noord-Normandië, rond Fécamp waarschijnlijk eind april-begin mei 2011.

Teken in op de intekenlijsten op onze verenigingsavonden, of bel (0543) 515420, of mail [c.ehlers@chello.nl](mailto:c.ehlers@chello.nl).

## KLEINE ADVERTENTIE

Enthousiaste geologieamateur zoekt een tweedehands microscoop, liefst een Novex 7 of 8. Gaarne een telefoontje naar Annette Drexhage, tel. 0343 511319.



Noordzee. Dit soort structurele 'traps' zijn belangrijke bronnen van gas en olie en vormen een primair doel voor exploratie in de olie en gas industrie.

'Trapping' (opsluiting) door steenzout betekent natuurlijk dat er vaak door het zout geboord moet worden om de olie of het gas te produceren dat zich eronder ophoopt heeft. Hierbij wordt het vloeigedrag van steenzout een probleem. Boorgaten in zout hebben de neiging om dicht te 'kruipen' en beschadigd te worden door het toestromen van zout. De verbuizing van het boorgat kan zelfs afbreken wanneer er nog zouttektoniek actief is. Bij boren door zout is een voorspelling van het vloeigedrag van het zout van bijzonder belang om de locatie, ontwerp en levensduur van het boorgat te bepalen. Aan de andere kant biedt het dichtvloeien van boorgaten een natuurlijke manier om boorgaten na gebruik af te sluiten.

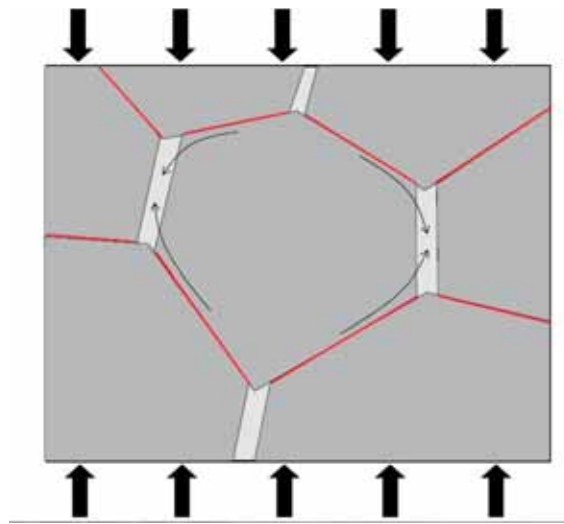
De oplosbaarheid en lage doorlatendheid van steenzout zijn de eigenschappen die oplosmijnbouw mogelijk maken. Steenzout kan opgelost worden uit grote cavernes (holtes) zonder dat de pekels doordringt in omliggend poreus gesteente. Het plastisch vloeigedrag van het steenzout betekent verder dat oploscavernes niet instorten maar de neiging hebben om langzaam dicht te vloeien. De grootte van zo'n caverne kan dus min of meer constant gehouden worden door het dicht stromen van de caverne te compenseren met de snelheid waarmee het zout opgelost en gewonnen wordt. Dit leidt wel tot bodemdaling boven de oplosmijnen, zoals bij voorbeeld in Barradeel is geconstateerd, maar op een manier die redelijk voorspelbaar, stabiel en veilig verloopt (zie het artikel van Jaap Breunese elders in dit nummer).

Na gebruik bieden zoutcavernes goede mogelijkheden voor opslag van olie, gas en eventueel ook vaste afvalstoffen, nogmaals wegens het ondoorlatende, plastische en zelf-afsluitend karakter van steenzout. Oploscavernes kunnen ook speciaal hiervoor gemaakt worden – een praktijk die in andere landen zoals Duitsland, Frankrijk en de Verenigde Staten vaak wordt gebruikt voor strategische opslag van olie en gas, of voor buffercapaciteit in de voorraad hiervan. Dit begint nu ook in Nederland, bijvoorbeeld met de constructie door de Gasunie en Nuon van opslagcavernes voor aardgas in de zoutpijler van Zuidwending, in het kader van het zogenoemde gasbufferproject.

In de tachtiger jaren is er in Nederland ook sprake geweest van berging van radioactief afval in zoutformaties, in het bijzonder in zoutkoepels of zoutpijlers. Alhoewel de aandacht nu meer uitgaat in de richting van opslag in kleiformaties, blijft steenzout vanuit een technisch oogpunt nog steeds een uitstekende optie mits alleen grote, halietgedomineerde en integere zoutstructuren, vrij van eerdere mijnbouw, worden gebruikt.

### Verder onderzoek en een vooruitblik in de toekomst

Over de eigenschappen en het gedrag van steenzout is al veel bekend. Desalniettemin is er altijd een drijvende kracht vanuit economische overwegingen of veiligheidsoverwegingen om het vloeigedrag en doorlatendheid van zout beter te begrijpen en te kunnen modelleren. Nauwkeuriger voorspellingen over de stabiliteit van boorgaten in steenzout blijven een doel



Afbeelding 8. Schematische weer-gave van plastische vervorming van steenzout door drukoplossing. Als water (pekels) aanwezig is langs de kristalgrenzen lossen de kristallen op, met name waar de druk loodrecht op de kristalgrenzen hoog is (rode grenzen). Waar de druk lager is slaat het zout weer neer (ligt grijze gebieden). Het resultaat is langzame plastische vervorming of vloeien van het gesteente, als gevolg van transport van opgeloste haliet om de kristallen heen.

in de olie- en gasindustrie. In de toekomst zijn zulke voorspellingen ook noodzakelijk in verband met de opslag van CO<sub>2</sub> in olie- en gasreservoirs die met zout zijn afgedicht. Om oplosmijnbouw te optimaliseren en de risico's ervan, zoals bodemdaling, beter te voorspellen en te minimaliseren, wordt het steeds belangrijker om het vloeigedrag van steenzout beter te kwantificeren. Vooral ook omdat de veiligheidsnormen steeds strenger worden. Het voorspellen van de stabiliteit en ontwikkeling van verlaten oplosmijnen op de lange termijn vraagt ook een beter begrip van de lange termijn vloeien en afdichtingseigenschappen van steenzout. Deze kennis zal nodig zijn voor een verantwoord gebruik van zoutcavernes voor ondergrondse opslag van gas en olie, of van energie in de vorm van perslucht of hydro-elektrische installaties. Aangezien er bovengronds in Nederland weinig ruimte beschikbaar is kunnen deze mogelijkheden in de toekomst zeer belangrijk zijn.

Laboratoria verspreid over de hele wereld zijn bezig om de nodige kennis van steenzout verder te ontwikkelen. Om echte voortgang te boeken is fundamenteel onderzoek nodig die de onderliggende processen beter in kaart brengt. Naast de meer toegepaste activiteiten van de zoutproducenten en kenniscentra zoals TNO, vindt fundamenteel onderzoek plaats aan verschillende universiteiten. Hier in Nederland onderzoekt de Universiteit Utrecht (groep Spiers) de eigenschappen van het steenzout, en net over de grens gebeurt dat bij het RWTH in Aken (groep Urai). Vragen waarmee we nog puzzelen zijn: hoe bewegen de dislocaties in haliet op een tijdschaal buiten het bereik van de laboratoriumexperimenten, wat is de invloed hiervan op het plastische vloeigedrag, hoe snel werkt drukoplossing in natuurlijk steenzout, en hoe verandert de interactie met gas en pekels de eigenschappen van het zout in de wanden van cavernes?

Bent u geïnteresseerd in wat we doen? Kom dan eens langs op de Universiteit Utrecht om met eigen ogen te zien hoe we de geheimen van zout onthullen!

# STEENZOUT, OPPERVLAKTE- VORMEN EN LANDIJS

## Inleiding

Het voorkomen, de samenstelling en de dikte van Zechstein steenzoutlagen en ook de ligging en hoogte van zoutdome in de Nederlandse ondergrond is goed bekend. Daar staat tegenover dat van een mogelijke relatie tussen deze zoutlagen en zoutdome en eventuele (Laat-) Kwartaire oppervlaktevormen en processen juist niet zo veel bekend is. In deze bijdrage willen we wat dieper op deze mogelijke relaties ingaan.

## Helgoland

Een van de mooiste illustraties van de relatie tussen een ondiepe zoutdome en een daaraan gekoppelde oppervlaktevorm is het eiland Helgoland (Afb. 1). De roodgekleurde Triadische zandsteenformaties die hier tot 60 meter boven zee in de Deutsche Bocht oprijzen, zijn door zoutvloed of halokinetische processen omhoog geduwd. Plaatselijk komen hierdoor indrukwekkende steile kliffen voor met een hoogte tot 50 meter. Omdat de onderliggende dome direct ten westen van het eiland ligt zijn de lagen scheefgesteld en hellen ze nu onder een hoek van 17 - 20 graden naar het oosten (Afb. 2). Gedurende meerdere landijsbedekkingen is het gesteente sterk geërodeerd en is er keileem afgezet.

Afbeelding 1.  
Het eiland Helgoland met zijn scheefstaande lagen.



In Nederland komen dergelijke in het oog springende dagzomende vaste gesteenten die door halokinese omhoog gekomen zijn, niet voor. Maar we zullen hieronder nagaan of er toch enig verhoogd reliëf, scheefstelling van lagen of aangepaste afwateringspatronen aanwezig zijn die hiermee in verband gebracht kunnen worden.

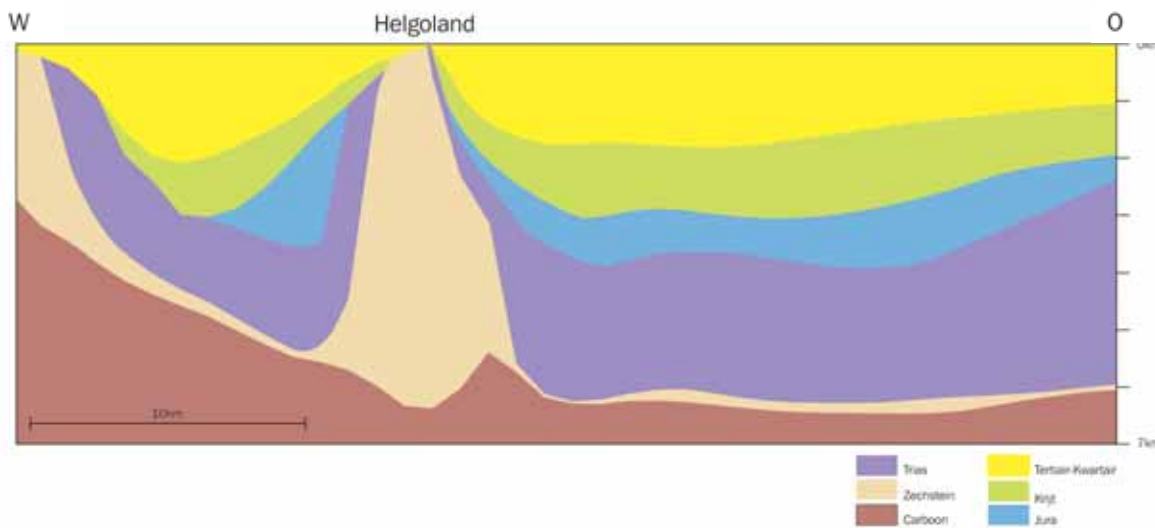
## Steenzout, domes en zoutkussens in Nederland

Dikke Zechstein lagen met veel steenzout komen vooral voor ten noorden van het 'Texel IJsselmeer Hoog' (Afb. 3). Hier loopt de dikte van de verschillende zoutlagen op tot vele honderden meters. Ten zuiden van het 'hoog' zijn deze lagen veel dunner en hebben vaak ook een zandige facies (Geologische Atlas, 2003).

Door halokinetische bewegingen is het steenzout ten noorden van het 'hoog' plaatselijk in de vorm van domes of zoutkussens aanwezig. Domes zijn plaatselijke verdikkingen in steenzoutvoorkomens die tot enkele duizenden meters boven het lokale zoutoppervlak uitsteken. Hierdoor wisselt de dikte van het steenzout sterk en is ook de hoogteligging sterk variabel (Afb. 4). Het 'vloeibaar' worden van steenzout is afhankelijk van de dikte van het pakket, de chemische samenstelling ervan, het voorkomen van bijmengingen, de temperatuur en de aanwezige druk van het bovenliggende gesteente. Veel domes zijn gerelateerd aan dieper liggende breuken.

In Nederland is een groot aantal zoutdome bekend (Afb. 4 en 5). Van enkele ligt de top dicht onder het maaiveld, zoals bij Zuidwending (120 m), Schoonloo (121 m) en Pieterburen (218 m).

Er zijn in Nederland wel schattingen gemaakt van de snelheid van het omhoogkomen van de top van een dome. Voor het Kwartair kwam men hierbij op grond van de



Afbeelding 2. Geologisch Profiel over Helgoland en de onderliggende zout dome.

verticale verplaatsing van gedateerde lagen op waarden van 0,20 tot 0,25 mm/jaar. In Duitsland komt men op waarden van 0,01 tot 2 mm/jaar (gemiddeld 0,3 mm/jaar). Men noemt dit wel de uitwendige stijging van een dome. Daar staat namelijk tegenover dat er ook sprake is van subductie. Dat wil zeggen dat er door oplossing van het zout weer verlaging van de top van een dome optreedt. Schattingen hierover komen uit op 0,15 mm/jaar (Geluk & Wildenborg, 1988). De netto stijging ligt dus in de orde van grootte van 0,05 tot 0,10 mm/jaar. Dat wil zeggen 5 tot 10 meter in 100.000 jaar. Deze waarden zijn bepalend geweest voor de eventuele landschappelijke expressie van domes in de ondergrond.

### Gebiedskeuze

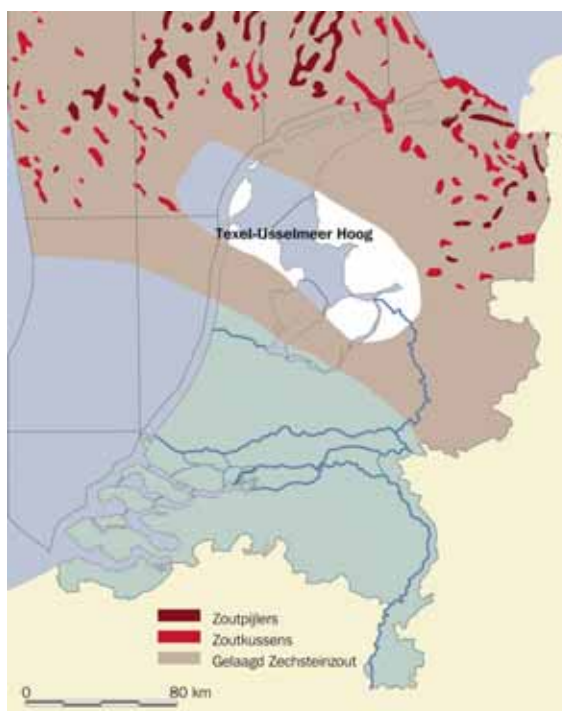
Gezien de hoge ligging van de top van sommige zoutdomes in Nederland kun je verwachten dat er een relatie is tussen hun voorkomen en het daarbovenliggende reliëf. Gezien de veronderstelde geringe snelheid van het omhoog komen van de top van een dome moet het aan de oppervlakte liggende landschap wel meerdere tienduizenden jaren oud zijn om enige inwerking op het reliëf waar te kunnen nemen. Het te onderzoeken gebied moet daarom niet door dikke Holocene sedimenten zijn bedekt zoals in de kustgebieden. En ook niet door dikke zandafzettingen uit het Weichselien zoals in Oost-Groningen.

Tenslotte is het van belang dat er een duidelijke laagopvolging dicht onder het oppervlak aanwezig is om mogelijke opwelvingen of deformaties van lagen in doorsneden te kunnen reconstrueren. Met andere woorden, uitgaande van voornoemde argumenten, is naar onze mening de kans om een relatie te vinden tussen zoutdomes en reliëfvormen op het Drents plateau het grootst. Gezien het voorkomen van domes is onze keus gevallen op de oostzijde van het plateau.

### Het Drents plateau

Het Drents plateau is in eerste instantie na het afsmelten van een landijsbedekking, die rond de 150.000 jaar geleden plaatsvond, ontstaan. Tijdens deze landijsbedekking werd een laag keileem over het door het ijs afgevlakte gebied afgezet. We nemen aan dat het ondervlak van de keileem relatief vlak is afgezet.

Gedurende de landijsbedekking werd vooral aan de oostzijde van het plateau een aantal parallelle glaciale ruggen, evenwijdig aan de Hondsrug, gevormd. De kam van deze ruggen komt naar het zuiden toe steeds wat hoger te liggen (De Gans, 1981).



Afbeelding 3. Zoutvoorkomens in Nederland en ligging van de meeste diapieren (bron: De Mulder et al., 2003).

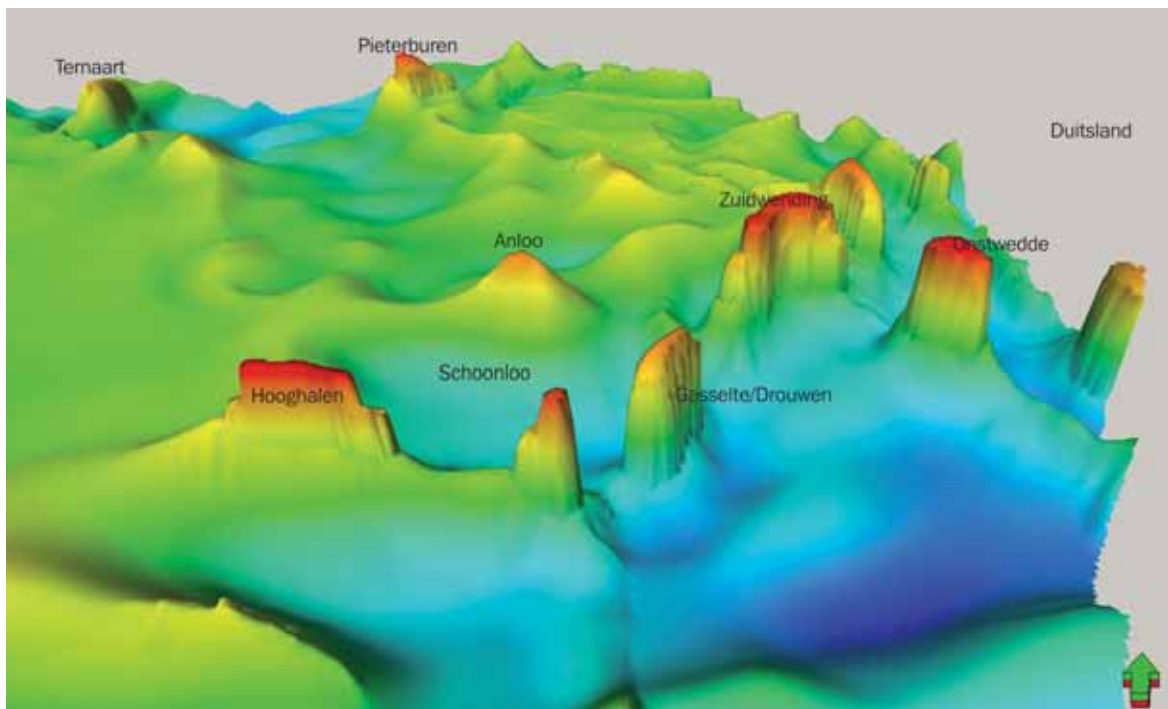
Na de landijsbedekking is er erosie en denudatie opgetreden, met name in het Weichselien. Dit blijkt onder andere uit het ontbreken van bodems uit het Eemien en het voorkomen van uitwaaiings- en uitspoelingsniveaus (grindniveaus). Waarschijnlijk is het plateau door deze processen afgevlakt. De vorming van dit erosie/denudatie niveau, dat buiten de beekdalen min of meer overeenkomt met de bovenkant van de laag keileem, kwam rond 20.000 - 15.000 jaar geleden tot een einde.

Op het plateau ligt, doorgaans evenwijdig aan de glaciale ruggen, ook een aantal sterk vertakkend beekdal systemen die zich na het Saalien, maar vooral in het Midden- Weichselien, ontwikkeld hebben. Deze dalen hebben het reliëf van de glaciale ruggen waarschijnlijk versterkt. De ruggen liggen nu tot zo'n tien tot vijftien meter hoger in het landschap dan de hiermee doorgaans parallel lopende dalvlakten.

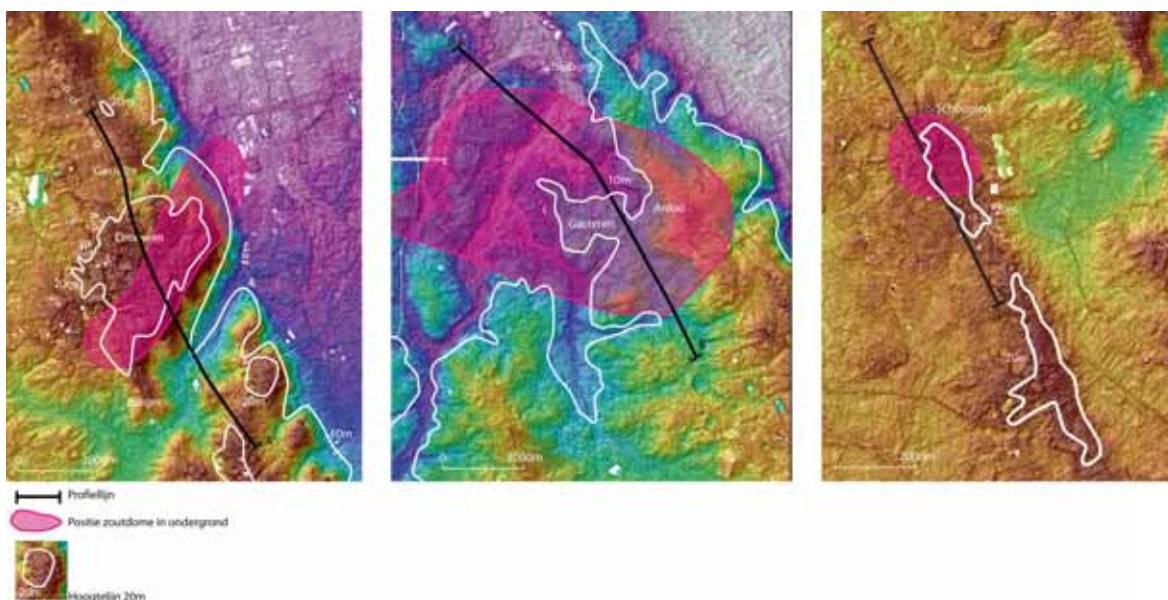
Aan het einde van het Weichselien vond op grote schaal sedimentatie van dekzanden plaats. Dit zwak golvende dekzandoppervlak, met hoogteverschillen van enkele meters, dateert van circa 10.000 jaar voor heden.

Opwelving van lagen als gevolg van halokinese zal vooral zichtbaar moeten zijn aan het ondervlak van de keileem omdat de ouderdommen van het erosie/denudatie

Afbeelding 4.  
3-D beeld van het steenzout oppervlak in noordoost Nederland.



Afbeelding 5.  
Hoogtebeelden boven de domes Gasselte/Drouwen, Anloo en Schoonloo (bron: AHN). Ter verduidelijking zijn de hoogtelijnen van 10 en 20 meter +NAP ook weergegeven.



niveau en het dekzandoppervlak waarschijnlijk te gering zijn om er duidelijk waarneembare anomalieën in relatie met zouttektoniek waar te kunnen nemen.

### Onderzochte lokaties

Aan de oostzijde van het Drents plateau zijn drie locaties voor nader onderzoek geselecteerd: de domes van Gasselte/Drouwen, Anloo en Schoonloo. De toppen van deze domes liggen op verschillende diepten. Van deze drie locaties zijn met behulp van het Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN) hoogtebeelden gemaakt om eventuele terreinverheffingen waar te kunnen nemen. Deze beelden laten in de kleuropenvolging paars, blauw, groen, geel en bruin het relatieve reliëf van laag naar hoog zien. Omdat deze beelden door het gevarieerde reliëf een wat grillig kleurpatroon vertonen zijn op deze beelden ook de hoogtelijnen van 10 en 20 meter +NAP ingetekend (Afb. 5). Van elke locatie is ook een ondiep geologisch profiel geconstrueerd met behulp van boorgegevens uit dinoloket ([www.dinoloket.nl](http://www.dinoloket.nl)) om eventuele laagdeformaties te kunnen zien.

### De dome bij Drouwen/Gasselte

De bovenkant van de dome bij Drouwen/Gasselte ligt op een diepte van 300 meter beneden maaiveld. De zoutdikte in de dome bedraagt 3.500 meter. Uit het hoogtebeeld (Afb. 5) is te zien dat het gebied boven 20 meter +NAP precies boven de dome voorkomt en veel breder is dan elders op de Hondsrug. Deze verhoging lijkt in verband te staan met de onderliggende dome. Dat er oostelijk van de Hondsrug geen aan de dome te relateren reliëf aanwezig is, is niet verwonderlijk: hier ligt het sterk erosieve smeltwaterdal van de Hunze.

Wat wel opvalt is dat de 10-meter hoogtelijn aan de oostzijde van de Hondsrug enkele honderden meters meer naar het oosten ligt dan elders. Het is verleidelijk dit aan opheffing door de dome toe te schrijven.

Het hogere reliëf boven de dome blijkt ook duidelijk uit een ondiep profiel (Afb. 6). Dit profiel is over het hoogste deel van de Hondsrug en evenwijdig hiermee geconstrueerd om mogelijke vervormingen van het keileem ondervlak door glaciële processen uit te sluiten.

Uit het profiel blijkt dat zowel het reliëf aan maaiveld als de onderkant van de keileem boven de dome 3 - 4 meter hoger ligt. De bovenkant van de keileem lijkt niet sterk geërodeerd, de dikte bedraagt nog rond 3 meter.

Voor een meer ruimtelijk beeld van de opwelling van het keileem ondervlak zie afbeelding 7. We veronderstellen dat de opwelling of deformatie van de keileem na afzetting hiervan tijdens de landijsbedekking of na afsmelten van het landijs ontstaan is.

Het is onduidelijk of er een relatie is tussen de dome en het aan het oppervlakte liggende drainagepatroon. Wat opvalt is dat er weinig denudatie van de keileem opgetreden is en dat de dekzandlaag hier dun is. De sedimentatie hiervan heeft geen invloed uitgeoefend op het hiervoor aanwezige reliëf.

### De dome bij Anloo

De bovenkant van de zoutdome onder Anloo ligt veel dieper dan de dome bij Drouwen/Gasselte, namelijk op 550 meter. De zoutdikte van de dome is ongeveer 2000 meter. De dome is onderdeel van een veel groter zoutkussen,

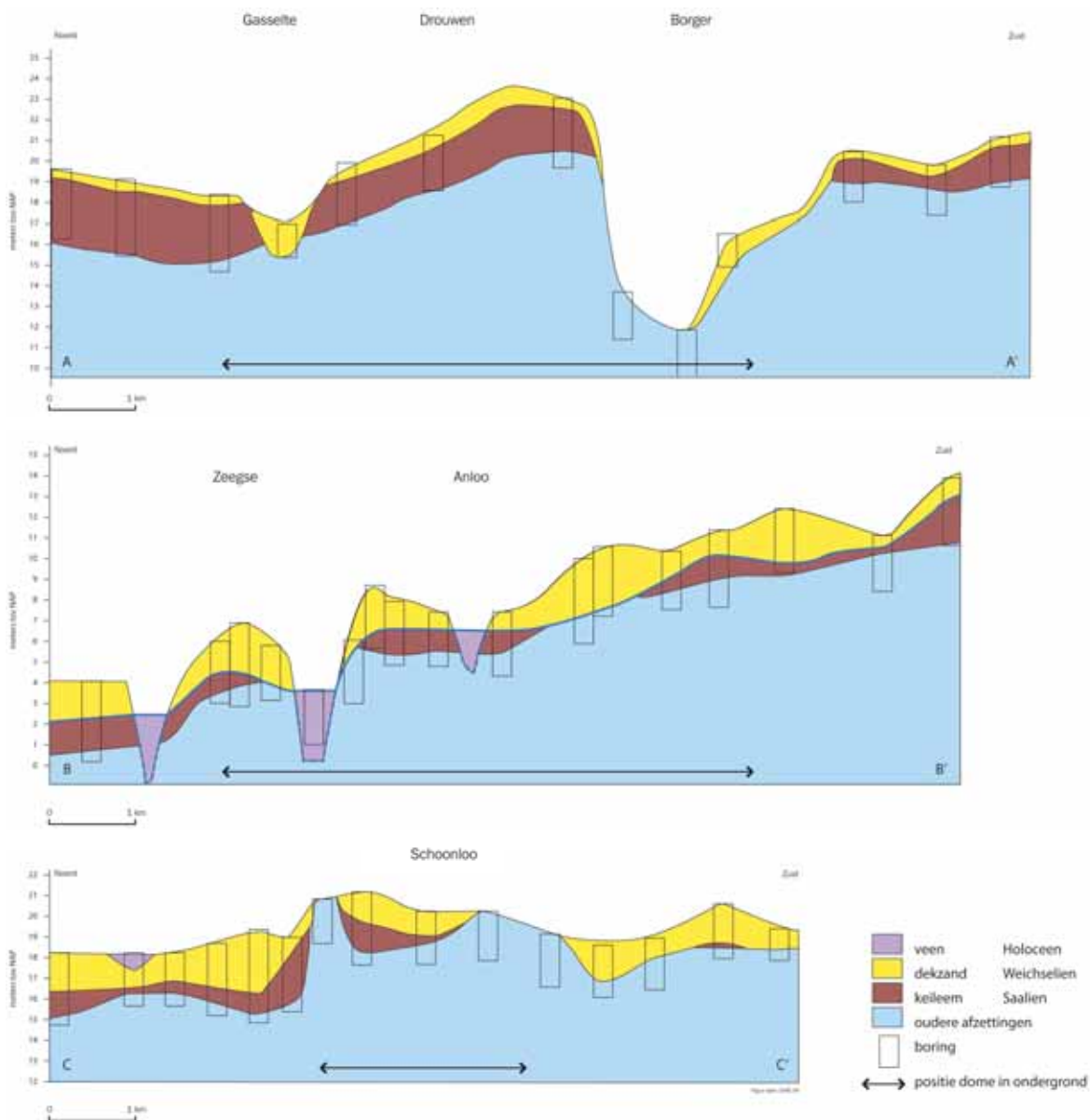
Het hoogtebeeld boven de dome laat zien dat er geen duidelijk waarneembaar hoogteverschil is te zien dat

in relatie zou kunnen staan met de onder liggende dome (Afb. 5). Dit komt door de sterke versnijding van het gebied- het ligt meer stroomafwaarts- en door de sedimentatie van dekzand. Wat wel opvalt is dat de 10-meter hoogtelijn en het reliëf aan de oostzijde van de Hondsrug weer naar het oosten geschoven lijkt te zijn, net als bij de dome Gasselte/Drouwen. In dit geval bedraagt de verplaatsing ongeveer 500 meter. Ook hier lijkt een relatie met de onderliggende dome waarschijnlijk.

Uit het profiel (Afb. 6) blijkt dat er geen duidelijke opwelling van het keileem ondervlak zichtbaar is zoals dat bij Gasselte/Drouwen het geval is. Mogelijk ligt dat vlak 1 meter hoger, maar door de sterke erosie van de keileem is dit niet duidelijk.

### De dome van Schoonloo

De bovenkant van deze dome ligt hier erg ondiep: 121 meter beneden het maaiveld. De dome heeft een zoutdikte van circa 2.000 meter. Uit het hoogtebeeld is geen duidelijke terreinverhoging boven de dome waarneembaar (Afb. 5). Wel is de glaciale rug, die parallel aan de Hondsrug loopt, nog goed zichtbaar. Dit glaciale/denudatiereiliëf bleef dus dominant. Uit een profiel (Afb. 6) blijkt duidelijk dat de keileem boven de dome hoger ligt, maar dat het hierbij



Afbeelding 6. Ondiepe profielen over de domes Gasselte/Drouwen, Anloo en Schoonloo. Ligging van de profielen zie afbeelding 5.

behorende reliëfverschil later grotendeels is uitgewist door de sedimentatie van dekzand. Het ondervlak van de keileem is plaatselijk mogelijk meer dan 5 meter omhoog gekomen, vooral aan de randzones boven de dome. Hier is de keileem ook geheel afwezig. De randzone boven de dome lijkt dus meer omhoog gekomen te zijn dan het centrale deel.

Zoals gezegd is de keileem, die boven de domes van Anloo en Gasselte/Drouwen nog vrijwel geheel of grotendeels aanwezig is (buiten de beekdalen), hier voor een deel afwezig en ook dunner. Omdat deze in de wijde omgeving wel voorkomt, is het aannemelijk dat

het ontbreken en de geringere laagdikte het gevolg is van erosie/denudatie in verband met opheffing door de onderliggende dome.

De dome bij Schoonloo is de enige waarboven Midden-Pleistocene rivierzanden (Formatie van Urk) dagzomen die in de directe omgeving op 35 meter -NAP voorkomen. Ook dagzomen Laat-Tertiaire rivier zanden (Formatie van Scheemda), terwijl smeltwaterafzettingen uit het Elsterien (Formatie van Peelo) boven de dome ontbreken (Bosch, 1990; Ter Wee, 1979). Er moet dus in het verleden nogal wat opheffing hebben plaatsgevonden.

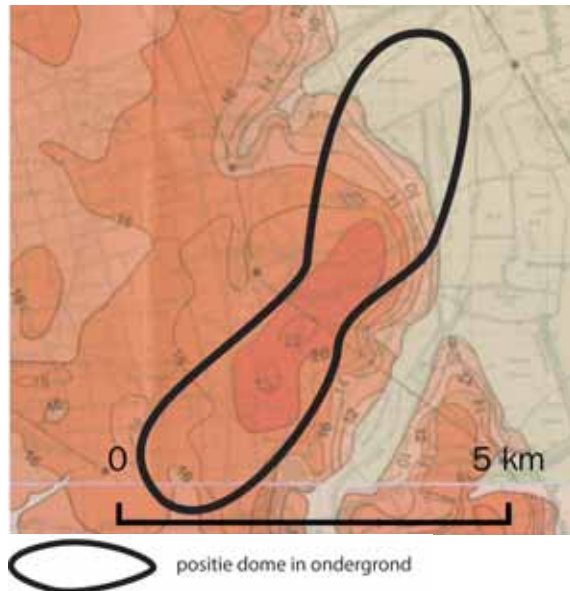
Uit afbeelding 8 blijkt dat er boven de dome bij Schoonloo een mooi radiaal drainage patroon aanwezig is, dat in relatie lijkt te staan met de onderliggende dome (Mulder, 1950; Ter Wee, 1979; De Gans, 2006). Ook dit suggereert dat het gebied boven de dome tijdens de ontwikkeling van het dalsysteem in het Weichselien hoger heeft gelegen.

### Bewegingen boven de domes

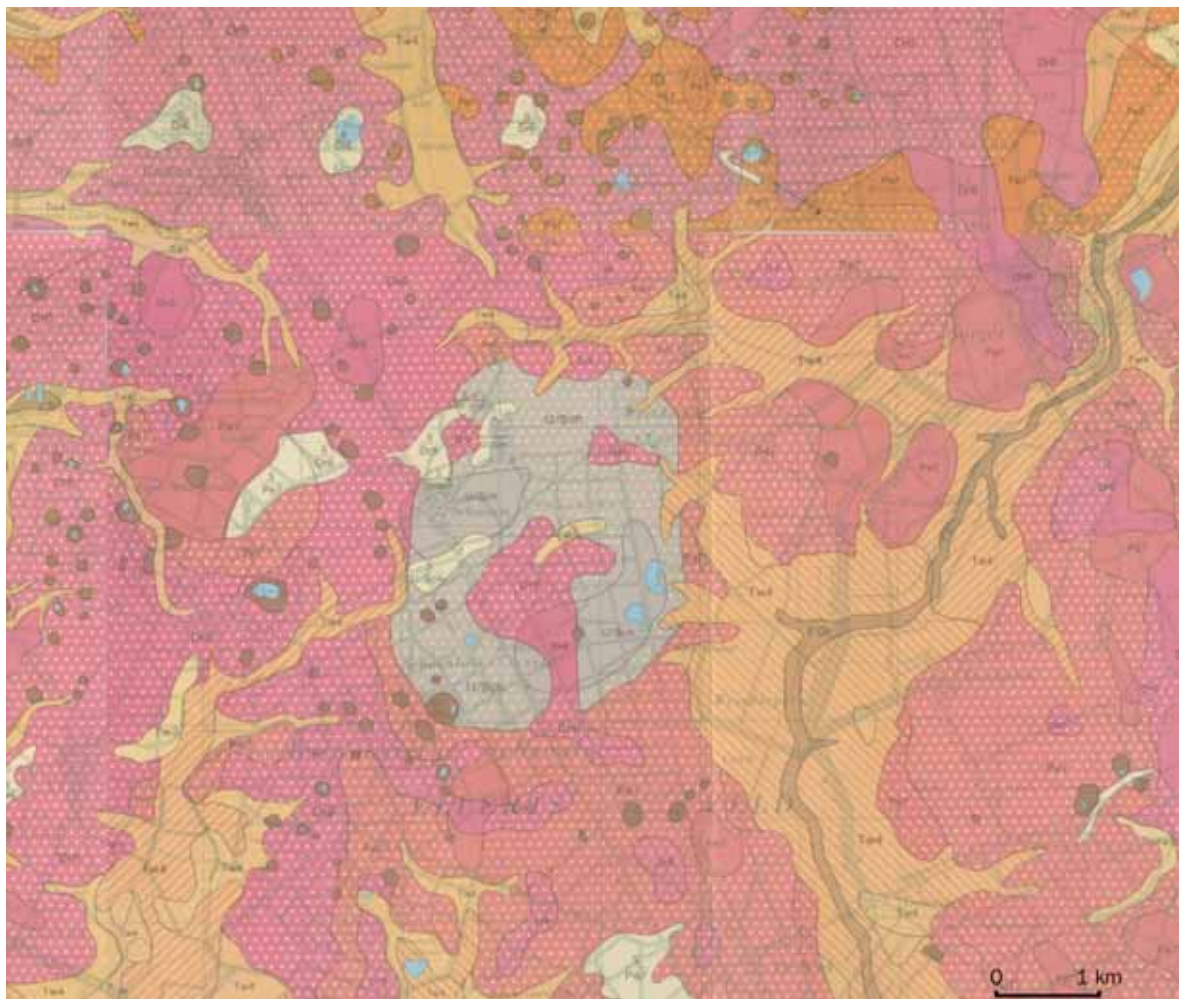
Uit het voorgaande blijkt er boven één dome duidelijk sprake te zijn van een verhoging van het maaiveld (Gasselte/Drouwen). Bij de andere twee domes is dat door erosie/denudatie of sedimentatie van dekzand minder duidelijk. Opwelling van het keileemondervlak als gevolg van bewegingen in de dome is veel duidelijker. De waarden liggen maximaal in de orde van grootte van 5 meter. Bij Anloo is het minder duidelijk maar hier is de verhoging mogelijk 1 meter.

Hoewel het aantal gegevens gering is, lijkt het erop dat hoe dieper de top van de dome ligt, hoe minder ophoging heeft plaatsgevonden.

Afbeelding 7. Detail van de Bijkaart 'Onderkant van de afzettingen ouder dan de Formatie van Drente' (Bosch, 1990). De opwelling van het keileem ondervlak boven de dome is goed zichtbaar.



Afbeelding 8. Geologische kaart rondom Schoonloo met radiaal drainage patroon (U/Sch: dagzomende Formaties van Urk en Scheemda; Tw 4: beekdalen uit Weichselien; Dr: Formatie van Drente; Pe: Formatie van Peelo; naar Bosch, 1990; Ter Wee, 1979).



De verhoging heeft naar onze mening plaatsgevonden na sedimentatie van de keileem waarbij we aannemen dat eventueel reliëf dat voor de sedimentatie van de keileem aanwezig is geweest, door de ijsbeweging is afgevlakt.

Bij Schoonloo en Gasselte/Drouwen is er dan in ca. 150.000 jaar een opheffing van 4 - 5 meter geweest, dat wil zeggen ongeveer 0,03 mm/jaar. Wanneer we er bij Schoonloo van uit gaan dat ook het ondervlak van de smeltwaterafzettingen uit het Elsterien hier boven en direct naast de dome op een gelijke diepte heeft gelegen, dan heeft er een opheffing van circa 40 meter plaatsgevonden in een periode van ongeveer 300.000 jaar. Dat wil zeggen ongeveer 0,1 mm/jaar. Geluk en Wildenborg (1988) komen met inachtneming van opgetreden compactie uit op een stijging van 0,2 - 0,25 mm/jaar sinds het begin van de afzetting van de Formatie van Urk. Het lijkt er dus op dat bij Schoonloo de ophoging boven de dome in het Kwartair is afgenomen. Hoewel dit maar één gegeven is zou dit verband kunnen houden met het feit dat in de loop van het Kwartair de hoeveelheid aangevoerd sediment in Noord-Nederland is afgenomen en de druk op het onderliggende zoutpakket steeds meer zal zijn gestabiliseerd. Ook Gripp (1952) suggereert dat zoutvloeien en de opheffing in domes in eerste instantie het gevolg is geweest van tektoniek/orogenese en later door overdruk vanuit het bovenliggende gesteentepakket. Die overdruk zou tegen het einde van het Kwartair gestabiliseerd zijn. Uit onze gegevens blijkt ook dat er tijdens en/of na de opheffing vooral boven de dome van Schoonloo denudatie van meerdere meters is opgetreden. Bij de opwelving boven de dome van Drouwen/Gasselte lijkt er veel minder denudatie opgetreden te zijn, los van de versnijding door een beekdal. Tenslotte blijkt er alleen boven de dome bij Schoonloo duidelijk sprake te zijn van een gerelateerd radiaal drainagie patroon

### De waterscheiding tussen Drentsche Aa en Beilerstroom

Op de waterscheiding tussen Beilerstroom en Drentsche Aa komen een aantal zoutdomes voor in de ondergrond: Hooghalen, Schoonloo en Gasselte/Drouwen (Afb. 9).

Aangezien de toppen van deze domes relatief ondiep liggen, lag het maaiveld boven deze domes tijdens de dalvormende processen waarschijnlijk enkele meters hoger. Zoals De Gans (1981) al opperde lijkt daarom een relatie tussen deze domes in de ondergrond en de ligging van de waterscheiding voor de hand te liggen (Afb. 4 en 9). De opheffing boven de dome van Schoonloo was zoveel groter dan boven de andere domes, dat de scheiding verplaatst is en hier juist ten noorden van de dome is komen te liggen.

### Landijs, permafrost en steenzout

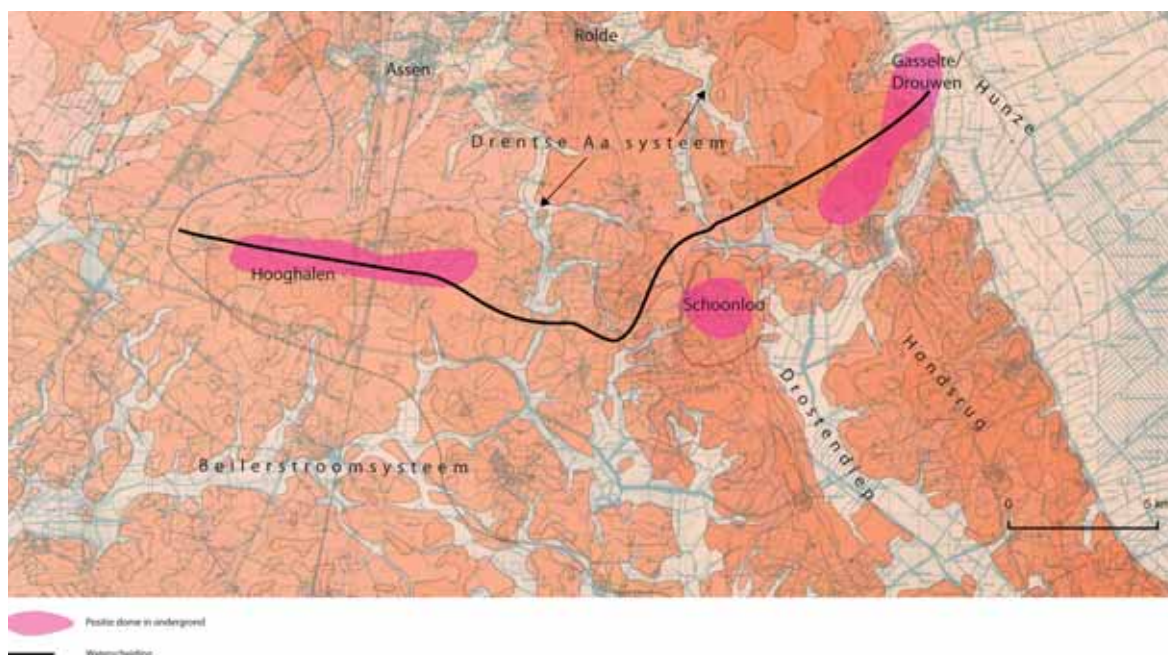
Gripp (1952) heeft beargumenteerd dat zoutdomes in het Laat-Pleistoceen zowel als gevolg van een landijsbedekking als door de aanwezigheid van een permafrost omhoog gekomen zijn.

De dikte van het landijs in Noord-Nederland tijdens het Saalien zou volgens modelberekeningen uitkomen op 2.500 meter. Maar dit getal is mogelijk aan de hoge kant (De Mulder et al., 2003). Een dikte van 1000 meter lijkt ons realistischer. Hoe dan ook, dergelijke dikke landijsmassa's oefenden een enorme druk uit op de onderliggende gesteenten.

Volgens Gripp (1952) zouden vooral door deze extra druk zoutdomes zijn gaan stijgen waarbij het resulterende reliëf de ijsbeweging heeft beïnvloed. We menen echter dat indien er een extra opheffing van het landschap zou hebben plaatsgevonden voor of onder een oprukkend ijsfront in het Saalien, de resulterende terreinvormen zouden zijn uitgewist onder het landijs.

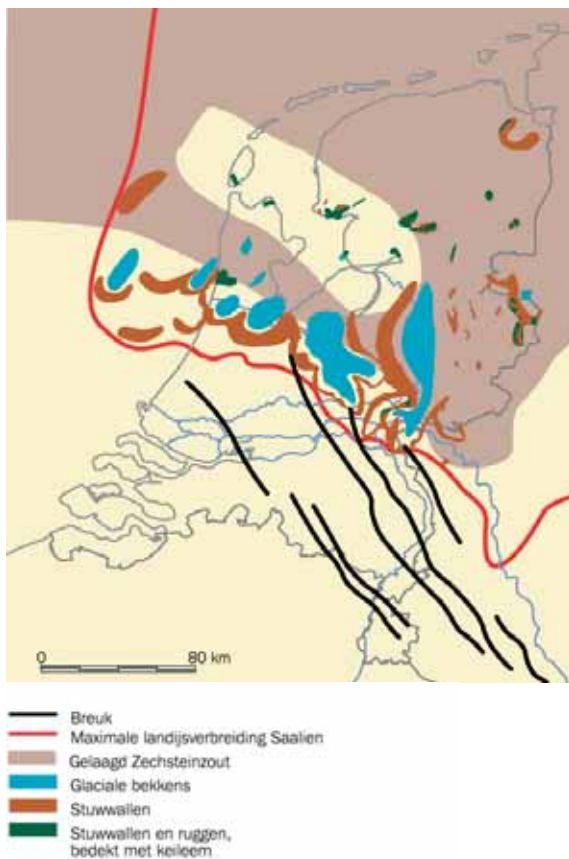
Volgens Gripp kan ook een permafrost van invloed zijn geweest omdat onder die omstandigheden door stagnatie van grondwaterstromingen de subsosie (vrijwel) tot staan kan zijn gebracht. In dat geval zou de opheffing vooral in (delen van) het Weichselien hebben plaatsgevonden. Dat komt overeen met onze veronderstelling dat de opheffing en deformatie van de laag keileem na het afsmelten van het landijs heeft plaatsgevonden en de opheffing daarom vooral gedurende het Weichselien heeft plaatsgevonden.

Tenslotte kun je je afvragen of het voorkomen van steenzoutlagen in de ondergrond van invloed kan zijn geweest op de landijsbedekking in het Saalien. Wanneer je de kaartbeelden van het voorkomen van steenzout-



Afbeelding 9. Kaartbeeld van de waterscheiding tussen Drentsche Aa en Beilerstroom met de ligging van de domes. Weergegeven is de hoogteligging van de bovenkant van de afzettingen ouder dan de Formatie van Drente (naar Bosch, 1991 en Ter Wee, 1979).

Afbeelding 10.  
Zechstein zoutvoor-  
komens en glaciale  
verschijnselen.



lagen en ijsrandverschijnselen (de glaciale bekkens en stuwwallen in Midden-Nederland enerzijds en de overreden en gedrumliniseerde kleine stuwwallen in Noord-Nederland anderzijds) vergelijkt (Afb. 10) dan valt op dat de laatste voorkomen waar het steenzout afwezig is (het Texel IJsselmeer Hoog) en de eerst genoemden op de overgang van dit 'hoog' naar het zuidelijker gelegen gebied waar het steenzout zeer dun is.

Je kunt je hierbij afvragen of een uit het noorden of noordoosten komend ijsfront in het Saalien voldoende druk kan hebben uitgeoefend op het diep liggende steenzout om verplaatsing tot gevolg te hebben, en of de beschikbare reactietijd voldoende zal zijn geweest om van invloed op het reliëf aan de oppervlakte te zijn geweest. In dat geval zou een 'glacial bulge' effect als gevolg van het zoutpakket in de ondergrond mogelijk versterkt kunnen zijn. Bij het bereiken van het Texel IJsselmeer Hoog zou een landijspakket dan meer frictie ontvangen aan de basis en in eerste instantie kleine stuwwallen hebben gevormd die weer overreden zijn gedurende een latere fase waarbij meer zuidelijk (achter het Texel Hoog) grote stuwwallen en diepe glaciale bekkens zijn gevormd. Deze mening wordt min of meer ondersteund door de waarnemingen van Gripp (1952) die constateert dat uitvloeiing van gletschertongen van het landijs in Noord-Duitsland tijdens het Weichselien vooral daar plaats vond waar ondergrondse zoutvoorkomens afwezig zijn.

Volgens de Gans et al. (1987) zou ook het voorkomen van breuken in de ondergrond, in relatie met de steenzout voorkomens, van invloed kunnen zijn geweest op de vorming van de grote Midden Nederlandse stuwwallen en glaciale bekkens.

### Conclusies

Van de drie onderzochte gebieden boven zoutdomees op het Drents Plateau lijkt er bij twee lokaties (Gasselte/Drouwen en Schoonloo) een duidelijk relatie te zijn tussen een onderliggende zoutdomee en een aan de

oppervlakte liggende terreinverhoging of drainage patroon. De relatie blijkt in beide gevallen ook uit verhogingen of opwelling van de basis van de keileem. In een derde geval (Anloo) zijn deze relaties niet zo duidelijk.

De conclusie lijkt dat deze relaties alleen voorkomen wanneer de top van de domee op een diepte van minder dan 400 meter ligt.

Aan de ophoging van sedimenten boven de domee bij Schoonloo is af te leiden dat de mate van opheffing sinds het Saalien geringer is dan de opheffing in de voorgaande perioden.

De langzame opheffing van het landschap boven een zoutdomee werd in Nederland vaak enerzijds weer teniet gedaan door erosie en denudatie, anderzijds door sedimentatie van dekzand. Terreinverheffingen als gevolg van zouttektoniek kwamen waarschijnlijk niet ver uit boven een waarde van 5 meter.

Gezien de ligging van domees bij Hooghalen, Schoonloo en Gasselte/Drouwen lijkt een relatie met de hierboven liggende waterscheiding tussen het Drentsche Aa systeem enerzijds en Beilerstroom / Drostendiep systeem anderzijds waarschijnlijk.

Mogelijk was er een relatie tussen de bewegingen in de domees en een permafrost gedurende het Weichselien maar dit is vooralsnog niet aantoonbaar.

Een mogelijk relatie tussen glaciale vormen/processen en zoutvoorkomens lijkt de moeite van een nadere studie waard te zijn.

### Verantwoording

De heer Roel Savert was zo vriendelijk de figuren te tekenen. Guido van Oyen vervaardigde de gedetailleerde hoogtebeelden (AHN).

### LITERATUUR

- Bosch, J.H.A. (1990). Toelichtingen bij de geologische kaart van Nederland 1:50.000. Blad Assen West (12W) en Blad Assen Oost (12O). Rijks Geologische Dienst.
- De Gans, W. (1981). The Drentsche Aa valley system. A study in Quaternary geology Proefschrift Vrije Universiteit.
- De Gans, Wim (2006). Geologieboek Nederland /ANWB.
- De Gans, Wim, Groot, Thomas de & Zwaan, Henk (1987). The Amsterdam Basin, a case study of a glacial basin in The Netherlands. In: J.J.M. van der Meer (red) Tills and Glaciotectonics. Balkema. pp. 205 - 216.
- De Mulder, E.F.J., Geluk, M.C., Ritsema, I.L., Westerhoff, W.E. & Wong, Th. (2003). De ondergrond van Nederland. Wolters Noordhoff.
- Geluk, M.C. & Wildenburg, A.F.B. (1988). Geologische inventarisatie en ontstaansgeschiedenis van zoutvoorkomens in Noord- en Oost-Nederland. Band 1 en 2. OPLA fase 1. RGD nummer 10568. Rijks Geologische Dienst.
- Gripp, K. (1952). Inlandeis und Salzaufstieg. Geologische Rundschau 40. pp. 74 - 81.
- Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond (2004). Nederlands Instituut van Toegepaste Aardwetenschappen/ National Geological Survey. Utrecht.
- Mulder, A.J. (1950). De zoutpijler van Schoonloo. Geologie en Mijnbouw 12/6. pp. 169 - 176.
- Ter Wee, M.W. (1979). Toelichtingen bij de geologische kaart van Nederland 1:50.000. Blad Emmen West (17W) en Blad Emmen Oost (17O). Rijks Geologische Dienst.



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 pekkel 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.

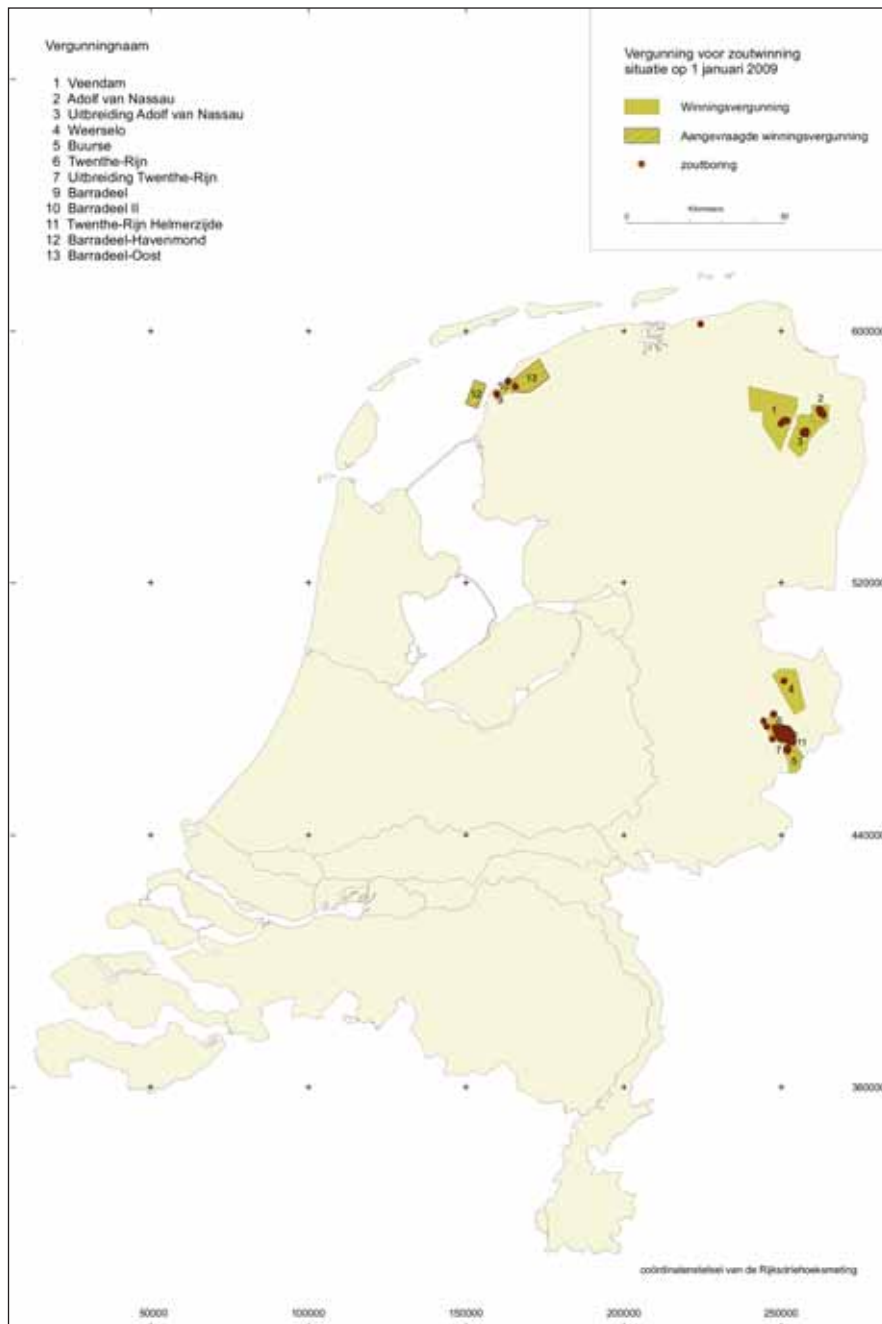
Geïmporteerd ruw zout werd in zoutziederijen, die zich in zoutketen bevonden, geraffineerd, deels voor binnenlands

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 pekkel 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 20<sup>e</sup> 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 winnings-  
vergunningen  
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)<sup>1</sup> verleend aan de N.V. Koninklijke Nederlandse Zout-industrie (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

behelp 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

<sup>1</sup> 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.

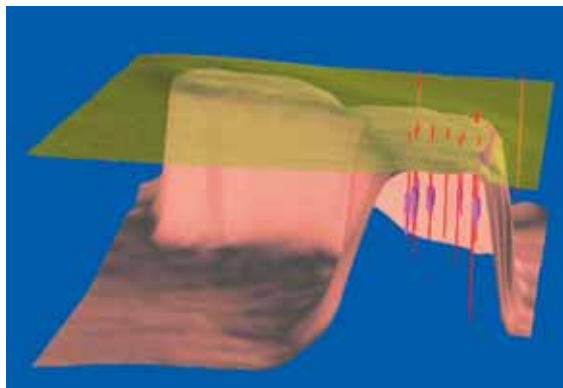
## Oplosmijnbouw

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 pekels verzadigd is (zo weinig mogelijk water bevat). Bij de winning van steenzout lossen ook nog andere evaporietmineralen op. Hier is vooral anhydriet -  $\text{CaSO}_4$  - te noemen maar ook andere (kalium- en magnesium-) mineralen kunnen verstoringen veroorzaken. De bijmengingen worden tijdens het oplossen of naderhand in het productieproces (de pekeldzuivering) verwijderd. In dat verband wordt gesproken van ruwe en gezuiverde of voedingspekels. In een volgende stap wordt het water door verdamping uit de pekels 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 magnesiumzout 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 magnesiumchloridepekels ( $\text{MgCl}_2$ ) magnesiumoxide ( $\text{MgO}$ ) 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 ingedampd. 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



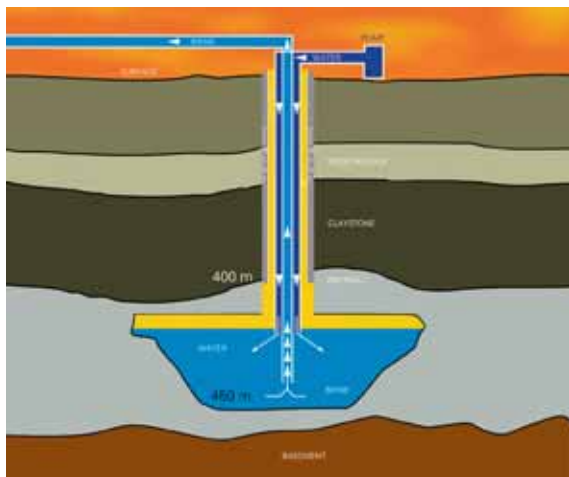
en waar het steenzout oplost, wordt hier gesproken van ongecontroleerde winning. Omdat het steenzout vooral aan de top van de zoutlaag oplost werden de bovenliggende formaties op grote schaal ondermijnd. Dit leidde tot bodemdaling aan het maaiveld; voorbeelden hiervan zijn in het buitenland (Frankrijk, 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 pekels met een zoutgehalte van ca. 310 gr/l, wat ongeveer overeenkomt met het tienvoudige van de concentratie in zeewater. Daarbij ontstaat een met pekels 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 pekels 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 pekels wordt onderin de caverne onttrokken (verdrongen). Het voordeel van deze methode is dat de pekels 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 pekels, 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 pekels bovenin de caverne verdrongen. Bij deze methode is de ruwe pekels 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 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.).

Afbeelding 3. Doorsnede van een caveerne in de gelaagde Hoofd-Röt evaporiet (Twenthe-Rijn). Het vlakke dak van de caveerne 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 caveerne hangt af van de schoendiepten - de diepten waarop de buizen zijn ingebracht - van de injectie- (oploswater) en productiebuizen (ruwe pekkel), de circulatie, de productiesnelheid uitgedrukt in m<sup>3</sup>/h ruwe pekkel, de specifieke oplosnelheid 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 pekkel (1.200 gr/l) ontwikkelt een caveerne 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 caveerne een vloeistof (of een gas) geïnjecteerd die een soortelijke massa heeft die kleiner is dan die van water (pekkel). Dit wordt de blanket- of kussenvloeistof (-gas) genoemd. Het blanket mag geen steenzout oplossen, bovendien mag de vloeistof niet mengen met water of pekkel 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 caveerne 'bescherm't. Gewoonlijk wordt hiervoor diesel- of huisbrandolie met een soortelijke massa van 800 gr/l gebruikt maar er kan ook gecompriëerde 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 uitloggen van de caveerne 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 caveerne vindt plaats door het regelmatig uitvoeren van sonarmetingen in de caveerne. 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 caveerne - beter gezegd: van het zout rond een caveerne - 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 caveerne ontstaan, met behulp van een vereenvoudigd en geïdealiseerd model van de ondergrond, berekend

en geïntegreerd. Bij de uitgangssituatie - voordat de caveerne 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 caveerne worden vermindert en dat zich een min of meer homogeen spanningsveld rond een caveerne ontwikkelt. Dit laatste is een voorwaarde voor de hierboven genoemde integriteit en stabiliteit van cavernes.

De pekkelproductie 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 pekkel gewonnen uit twee typen cavernes. Bij het oude type wordt de caveerne vanuit drie boringen, die op 40 m afstand van elkaar staan, ontwikkeld. Bij het nieuwe type wordt de caveerne vanuit één, centrale boring uitgelooft. 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 caveerne in verticale en horizontale richting uitgelooft. De toelaatbare hoogte van een caveerne 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 Röt-zout 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 pekkel 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 caveerne blijft een veiligheidspijler, bestaande uit steenzout, staan. Deze pijler wordt ook wel veiligheidsdak genoemd. Zonder dit veiligheidsdak kan het dak van de caveerne 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 caveerne 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 pekels 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 caveerne ruim beneden deze laag blijft. Contact van de pekels in de caveerne met de carnallitische laag zou tot een zo sterke verontreiniging van de pekels leiden dat de caveerne 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 caveerne tot gevolg. Dit effect wordt nog versterkt door het drukverschil van 28 MPa tussen de pekeldruk in de caveerne (hydrostatische druk 34 MPa) en de ter plaatse heersende lithostatische druk (gesteentedruk 62 MPa). De hoge temperatuur beïnvloedt de oplosbaarheid van het steenzout niet maar heeft een groot effect op de oplosnelheid.

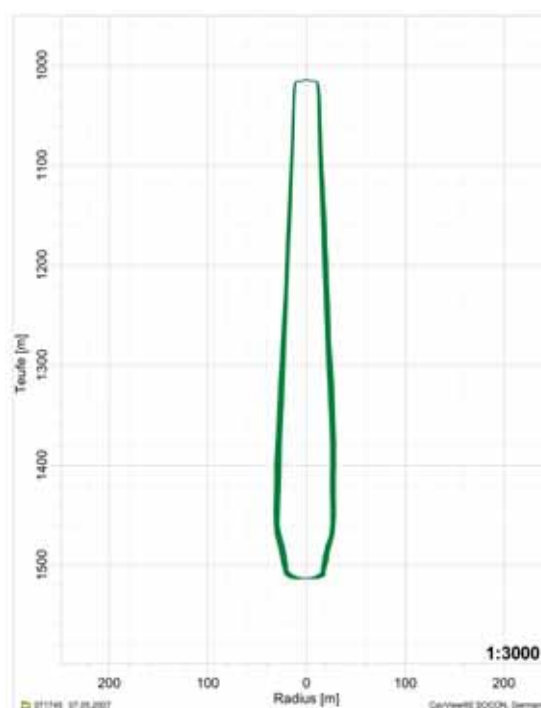
Onder normale omstandigheden duurt het gewoonlijk één tot twee jaar voordat zich een voldoende grote holruimte heeft ontwikkeld om verzadigde pekels te kunnen produceren; uit de diep gelegen cavernes kan echter binnen enkele maanden verzadigde pekels worden gewonnen. Hoewel de winning op grote diepte 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 evenwichtssituatie ontstaat waarbij de volumetoename van de caveerne door het oplossen van het zout gecompenseerd wordt door de volumeafname door volumeconvergentie van de caveerne: het volume van de caveerne neemt niet meer toe (ca. 400.000 m<sup>3</sup>). Er bestaat daarmee een directe relatie tussen de hoogte van de productie en de optredende bodemdaling aan het maaiveld.

Een volumetoename van 230.000 m<sup>3</sup> 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 caveerne 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

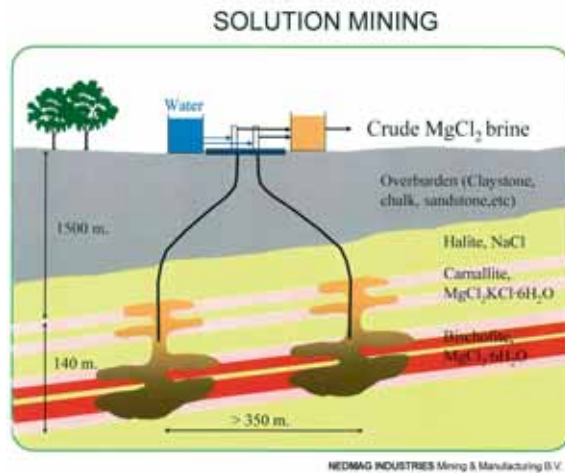
De winning van kalium- en magnesiumzouten wijkt sterk af van die van steenzout. Deze zouten - bischofiet (MgCl<sub>2</sub>•6H<sub>2</sub>O) en carnalliet (KCl•MgCl<sub>2</sub>•6H<sub>2</sub>O) - worden uitsluitend gewonnen in gelaagde en kussenvormige afzettingen (in diapieren zijn deze zoutlagen sterk 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 pekels 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 pekels veel rijker



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

Afbeelding 5. Stratigrafie en ontwikkeling van cavernes in de Veendam winningsvergunning. 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 ( $500 \text{ kg/m}^3 \text{ MgCl}_2$  versus  $300 \text{ kg/m}^3 \text{ NaCl}$ ) en doordat bischofiet meer kristalwater dan vaste stof bevat ( $850 \text{ kg H}_2\text{O/m}^3$  en  $750 \text{ kg MgCl}_2/\text{m}^3$ ) terwijl steenzout  $2,168 \text{ kg NaCl/m}^3$  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 pekkel gevulde holruimte ( $1.350 \text{ kg/m}^3$  bij verzadiging voor bischofiet) gebracht.

Door het verschil in soortelijke massa stijgt het water turbulent naar boven waarbij intensieve menging met de aanwezige pekkel ontstaat. Het pekkelwater mengsel is bijna verzadigd voor  $\text{MgCl}_2$  wanneer het de steenzoutbank bereikt en kan daardoor slechts een geringe hoeveelheid  $\text{NaCl}$  oplossen. Praktisch betekent dit dat de steenzoutbank als blanket functioneert. De licht onderverzadigde pekkel 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 pekkel 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 pekkel gevulde holruimten in de diepe ondergrond. Het ligt voor de hand er over na te denken of deze holruimten - of speciaal voor dit doel uitgeloopte 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 uitgeloopt 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 gecompriëerde lucht - zijn denkbaar.

### Economische aspecten

In Nederland wordt jaarlijks ca. 5,5 miljoen ton  $\text{NaCl}$  (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  $\text{MgCl}_2$  geproduceerd. De belangrijkste toepassing - 75% - is de productie van magnesiumoxide ( $\text{MgO}$ ) dat gebruikt wordt bij de fabricage van vuurvaste stenen voor de metallurgische en cementindustrie. De rest wordt verkocht als pekkel 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](http://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](http://www.solutionmining.org) en [www.saltinstitute.org](http://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.

JAAP BREUNESE

TNO Bouw en Ondergrond, Postbus 80015, 3508 TA, Utrecht, 030 2564507

jaap.breunese@tno.nl

# ZOUTWINNING EN BODEMDALING BIJ HARLINGEN (BARRADEEL)

Bodemdaling ten gevolge van mijnbouw haalt met enige regelmaat de pers in Nederland. De uitdaging is om de winning van delfstoffen op een verantwoorde en beheersbare wijze in te passen in de natuur- en leefomgeving. Hoe dit kan worden gerealiseerd, wordt in dit artikel geïllustreerd aan de hand van een praktijkgeval; namelijk de winning van steenzout in het gebied Barradeel nabij Harlingen in Friesland. De winning bij Barradeel heeft nieuwe kennis opgeleverd voor de mijnbouwtechniek (diepste zoutmijn ter wereld) en voor het geomechanisch gedrag van steenzout bij hoge temperatuur in de ondergrond. Die kennis is essentieel gebleken voor het begrijpen van de relatie tussen zoutwinning en bodemdaling en daarmee voor het beheersen van de bodemdaling binnen de met belanghebbenden afgesproken grenzen.

Eind 1995 is in het gebied Barradeel nabij Harlingen in Friesland de winning van steenzout begonnen. Nederland produceert ca. 5 Mt steenzout per jaar en is een van de grootste exporteurs van zout ter wereld. De zoutwinning in Friesland levert met ca. 1 Mt per jaar een flinke bijdrage aan de nationale productie. Daarnaast is dit ook een interessante 'casus' voor wat betreft de relatie tussen zoutwinning en bodemdaling. In de beginperiode van die winning lag het tempo van de bodemdaling in de orde van 4 centimeter per jaar, gemeten in het diepste punt van de dalingskom. Dat tempo is hoger dan dat van de daling boven de grote gasvelden Groningen en Ameland (in de orde van 1 centimeter per jaar) en is ca 100-maal sneller dan de natuurlijke bodemdaling in het gebied. Het is dan ook

begrijpelijk dat de lokale bevolking en bestuurders zich zorgen maakten over de mogelijke gevolgen op korte en op lange termijn voor de waterhuishouding in het gebied.

## Zoutwinning bij Barradeel

In Harlingen was de groothandel Frima Zout B.V. gevestigd. Dit bedrijf kocht zout in van Nederlandse producenten en verkocht dit door aan klanten in binnen- en buitenland. De ligging van dit bedrijf in



Afbeelding 1. Vergunninggebieden Barradeel (cavernes BAS-1 en -2) en Barradeel II (cavernes BAS-3 en -4).



Afbeelding 2. Fabriek Frisia Zout B.V.

een havengebied was geen toeval: transport per schip van grote hoeveelheden zout (ca. 1 miljoen ton per jaar) maakt een belangrijk deel uit van de totale vervoerscapaciteit naar afnemers. In de jaren 90 van de vorige eeuw kwam Frima tot de conclusie dat de doorverkoop van zout onvoldoende garanties bood voor de continuïteit van het bedrijf. Het bedrijf besloot daarom om haar 'eigen zout' te gaan winnen. En wat lag er meer voor de hand dan om dat zout zo dicht mogelijk bij de fabriek te gaan winnen? Deze strategie leidde tot de aanvraag van de concessie Barradeel, die werd verleend in 1991 (Afb. 1).

De 'groothandel' werd omgetoverd in een fabriek (Afb. 2), die de te winnen pekkel kon indampen tot commercieel verhandelbare hoeveelheden zout met een capaciteit van ca 1,2 miljoen ton per jaar.

De productie van het 'eigen zout' begon in november 1995 vanuit de caverne BAS-1. Enkele maanden later startte de productie uit een tweede caverne BAS-2, ondergronds gelegen op een afstand van ca. 400 meter van BAS-1. Het bedrijf Frima Zout werd in 2000 overgenomen door Frisia Zout B.V., een dochteronderneming van de European Salt Company (Esco). De bedrijfsmatige continuïteit van de Frisiafabriek vereist een omzet in de orde van 1,2 miljoen ton zout per jaar. De afgelopen winter kende een lange periode van afwisseling tussen vorst en dooi. De vraag naar strooizout voor ons wegennet was daarom bijzonder groot. De Frisiafabriek heeft aan een belangrijk deel van die zoutvraag kunnen voldoen: op hoogtij-dagen werden 250 vrachtwagens gevuld.

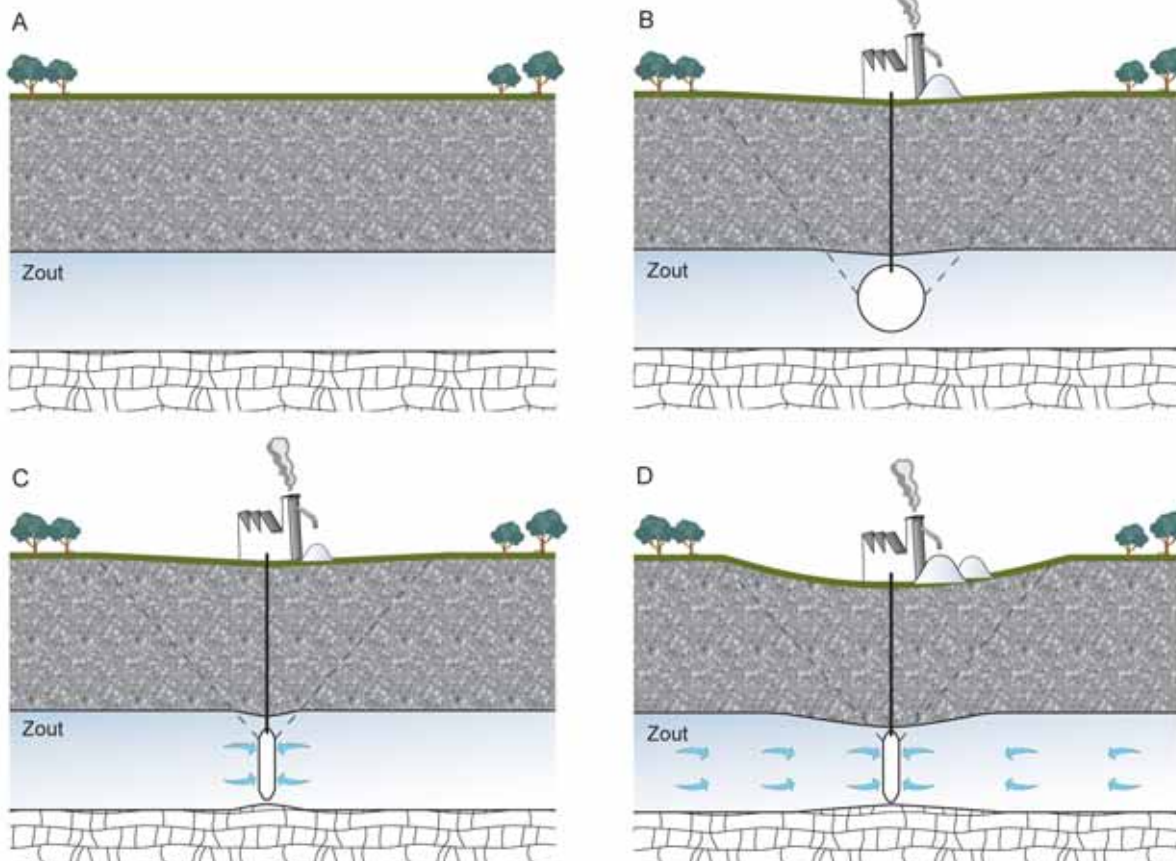
Afbeelding 3. Doorsnede zoutcaverne. Ter vergelijking de verhouding tot afmetingen van de Eiffeltoren



### Geologische setting

Zoals uit het voorafgaande mag blijken, werd de keuze voor het winnen van zout door Frima niet geologisch bepaald, maar door logistiek. Het is dan ook toeval dat dit een van de diepste oplosmijnen ter wereld werd. De huidige provincie Friesland ligt op een stabiel geologisch platform (het Frieslandplatform), waar geen zouttektoniek van betekenis heeft plaatsgevonden en waar dan ook geen grote zoutstructuren bestaan (zie het artikel van Geluk in dit nummer). Het zout wordt bij Barradeel gewonnen uit een tektonisch ongestoorde zoutformatie. Een gunstig aspect hiervan is dat de zuiverheid van het zout relatief groot en goed voorspelbaar is: in gebieden met sterke zouttektoniek zijn de diverse lagen sterk geplooid en verbroken geraakt.

Afbeelding 4. Cartoon van toestroming van steenzout naar de caverne.



### Ontwikkeling Barradeel zoutcavernes

Het maken van holtes in een zoutformatie met behulp van oplossen heeft veel weg van glasblazen. Hierbij fungeert de put als blaasroer met een lengte van 3 km.



Door de circulatiesnelheid van het water te variëren kan de oplossnelheid worden gestuurd, en door het injectiepunt van zoet water te verleggen kan een caverne van de gewenste vorm worden gemaakt, bijvoorbeeld bolvormig, conisch of cilindrisch (zie ook het artikel van Paar in dit nummer; Afb. 3). De gewenste vorm wordt mede bepaald door de eis dat het 'dak' van de caverne mechanisch stabiel moet zijn en dus beperkt is in zijn 'overspanning'.

Voorafgaande aan de start van de zoutwinning bij Barradeel werd een ontginningsplan opgesteld. De verwachting was dat het onttrekken van steenzout grote cavernes zou doen ontstaan met een volume vrijwel gelijk aan dat van de gewonnen hoeveelheid zout. Dit is ook de praktijkervaring bij zoutmijnbouw op geringere diepte (ca. 1 km) elders: door het drukverschil tussen zoutformatie (lithostatische druk) en de druk in de caverne (vrijwel hydrostatisch) of mijngang (vrijwel atmosferisch) worden de ruimten in het zout wel iets dichtgedrukt, maar niet meer dan enkele (volume) procenten per jaar.

Het ontginningsplan voorzag in een meetprogramma: naast het continu monitoren van pekelpductie en druk aan de putmond zou ook jaarlijks de interne geometrie van de beide cavernes worden bepaald met echometrische techniek ('sonar'). Frima plande een cumulatieve zoutproductie van ca. 1 miljoen ton op die eerste locatie en verwachtte dan ook een caverne te zullen maken, die jaarlijks zou groeien met 0,5 miljoen m<sup>3</sup> (1 m<sup>3</sup> steenzout weegt ca. 2 ton). Echter, tot verrassing van alle betrokkenen bleken de beide Barradeelcavernes na ca 1 jaar productie niet verder meer te groeien en te blijven steken op een totaalvolume van 0,5 mln. m<sup>3</sup> (0,3 voor BAS-1 en 0,2 voor BAS-2), overigens met een hoogte van ca 300 meter en een doorsnee van ruim 50 meter altijd nog genoeg om een Eiffeltoren in te herbergen (Afb. 3).

De conclusie was dat de holtes zichzelf aanzienlijk sneller dichtdrukken (in vaktermen: 'convergeren') dan verwacht. In feite was er in korte tijd een dynamisch evenwicht ontstaan tussen het via oplossen onttrokken volume zout en het volume, dat in reactie daarop toevloei (Afb. 4). Gedurende hun actieve productielevens hebben de beide Barradeelcavernes ca. 10 maal hun eigen interne volume aan steenzout geleverd.

## Bodemdaling

Hoewel voorafgaande aan de start van de zoutwinning vrijwel geen bodemdaling werd verwacht (in totaal 1 tot maximaal 8 cm in het diepste punt over vele tientallen jaren), werd toch een jaarlijkse meting van de opgetreden hoogteverschillen op zogenaamde peilmerken gepland. Dit is een voorschrift uit de Mijnbouwwetgeving.

Echter, binnen 2 jaar na productiestart bleek uit de metingen, dat de bodemdaling ca. 20-maal sneller verliep dan aanvankelijk was verondersteld. Dit kon niet anders worden verklaard dan door een navenant snellere convergentie van de cavernes (macroscopisch) veroorzaakt door een veel hogere kruipsnelheid van het steenzout (Afb. 4). Met de kennis en gegevens van dat moment (1998) werd geconcludeerd, dat de hoge temperatuur in de diepe Barradeelcavernes (bijna 100oC) daar debet aan was: dergelijke hoge temperaturen komen niet voor in de ondiepere

zoutmijnbouw, waar de eerste prognose voor Barradeel op was gebaseerd.

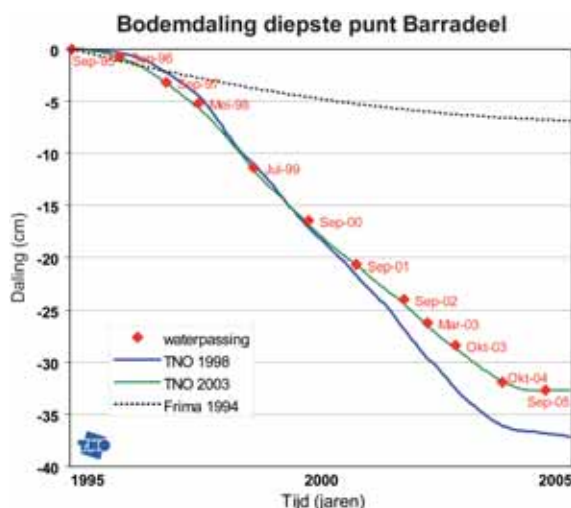
In overleg met de instanties, die verantwoordelijk zijn voor de dijkbewaking en de waterhuishouding, werd een limiet van 35 cm gesteld aan de bodemdaling in het diepste punt binnen het Barradeel gebied. Deze limiet bepaalde op zijn beurt de hoeveelheid steenzout die uit de beide cavernes gewonnen zou kunnen worden. Vanaf dat moment werd het zaak om de ontwikkeling van de bodemdaling op de voet te volgen en het prognosemodel bij te stellen op basis van jaarlijkse nieuwe gegevens (Afb. 5). In 2002 bleek, dat het in 1998 opgestelde prognosemodel een wat sterkere bodemdaling (ca. 20%) voorspeld had dan door de metingen werd bevestigd. Dit was aanleiding om het prognosemodel bij te stellen, nu in neerwaartse richting. De grondslag voor die bijstelling kwam uit de waargenomen verhouding tussen het convergentievolume (zoals bepaald uit productiegegevens en de echometrie) en het diepste punt van de dalingskom (bepaald uit geodetische metingen): die verhouding verschoof in de tijd.

## Monitoring en beheersing

Sinds de start van de zoutwinning wordt de bodemdaling in het Barradeelgebied jaarlijks bepaald via een netwerk van peilmerken (Afb. 6). Bovendien wordt de daling op de mijnbouwlocatie Barradeel (in de buurt van het diepste punt) continu gemonitord met behulp van een GPS-antenne als 'vinger aan de pols' (Afb. 7). Het prognosemodel wordt periodiek geijkt met de nieuw beschikbaar gekomen gegevens. Zoals de grafiek laat zien, is de bodemdaling in het diepste punt van de dalingskom vrijwel tot stilstand gekomen. Bedacht moet worden dat de meetinstrumenten geen onderscheid kunnen maken naar de bron van de bodemdaling. Zo is het op de Barradeellocatie gemeten signaal een optelsom van de 'naijl' van BAS-1 en BAS-2 en een 'overspraak' van de BAS-3-caverne. Naast deze aan zoutwinning te relateren daling zou er mogelijk een kleine bijdrage kunnen zijn van de naburige gaswinning of overige, niet aan mijnbouw gerelateerde, bodembeweging. In het prognosemodel wordt alleen de bodemdaling ten gevolge van de zoutwinning gerepresenteerd, de andere mogelijke bijdragen nog niet.

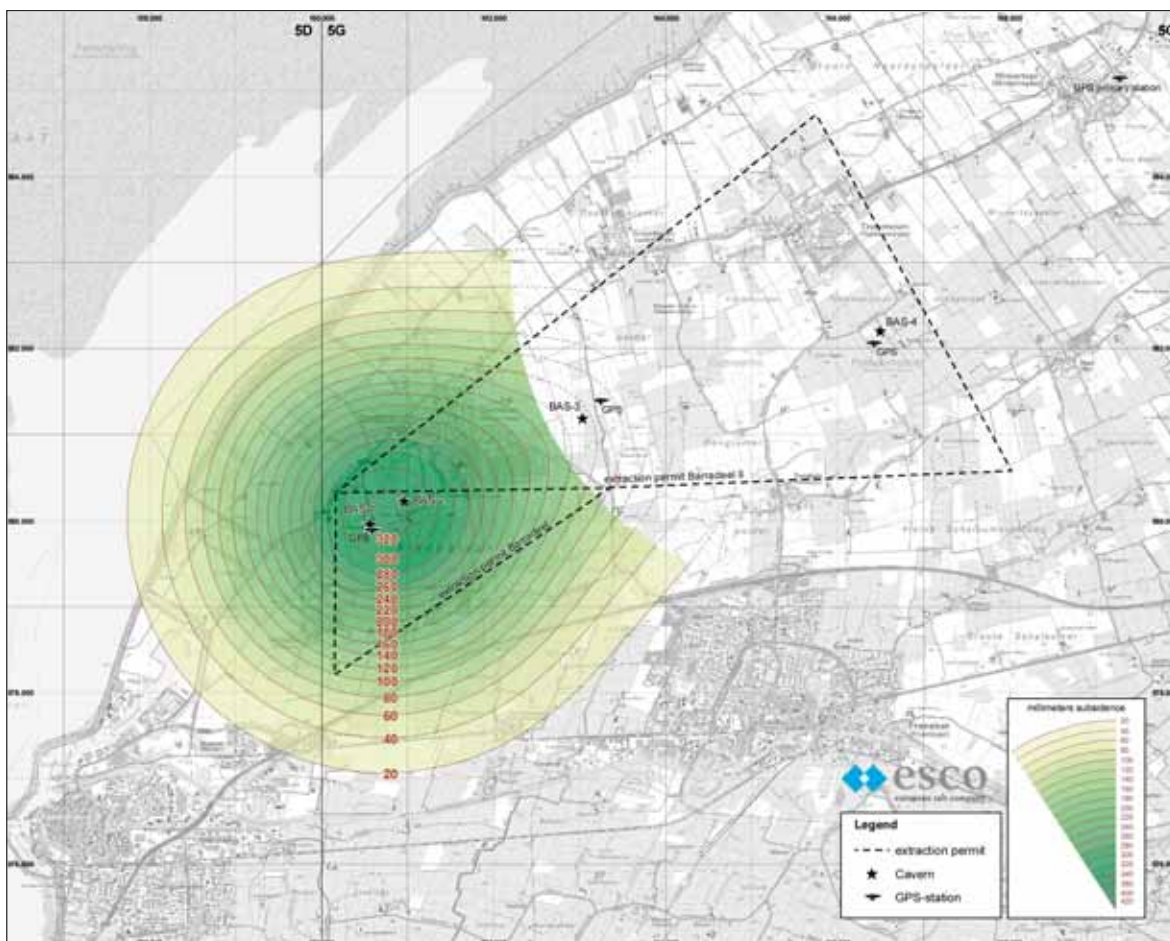
## Toekomst

De historie van de Barradeelconcessie heeft geleerd, dat hoge eisen worden gesteld aan de voorspelbaarheid

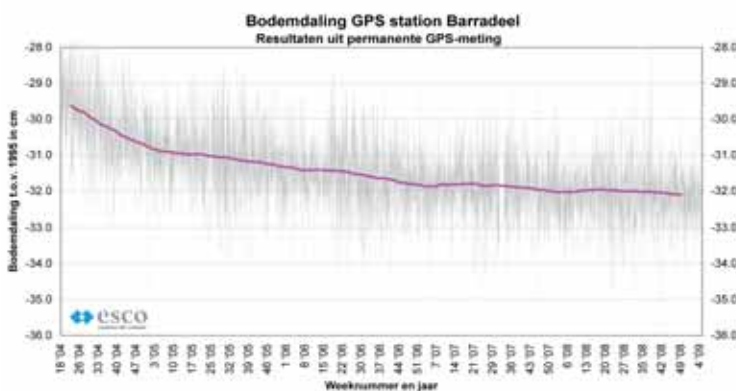


Afbeelding 5.  
Prognoses in de tijd.

Afbeelding 6.  
Bodemdalingskom  
bij Barradeel en de  
locaties van de peil-  
merken.



Afbeelding 7.  
Grafiek bodemdaling  
tegen tijd; leveling  
en GPS.



en beheersbaarheid van de bodemdaling. Geotechnisch gezien is aangetoond, dat het mechanisme achter de bodemdaling tijdig is onderkend, vooral dankzij adequate monitoring van de daling en tijdige aanpassing van modellen daarop. Dit is een cruciale voorwaarde voor de beheersbaarheid van de bodemdaling. In zekere zin kan het Barradeelproject worden gezien als een voorbeeld avant la lettre van het 'kraan'-principe. Dit principe wordt sinds 2006 toegepast op de gaswinning van onder de Waddenzee, waar de beheersing van het tempo van de bodemdaling binnen veilige natuurgrenzen centraal staat.

De productie uit de eerste cavernes BAS-1 en -2 is inmiddels gestaakt, omdat de limiet van de bodemdaling in het diepste punt (35 cm) vrijwel is bereikt. Op dit moment draait de fabriek op de productie uit de cavernes BAS-3 en BAS-4 in het vergunninggebied Barradeel II.

De bodemdaling ten gevolge van de winning uit die cavernes gedraagt zich in lijn met wat het prognosemodel daarvoor aangeeft. Maar ook de productie uit

die cavernes is aan een dalingslimiet - en dus aan tijd - gebonden. Frisia Zout heeft daarom kort geleden het voornemen bekend gemaakt om nieuwe cavernes aan te leggen onder de Waddenzee voor de kust bij Harlingen. Op grond van de in dit artikel beschreven ervaringen mag worden verwacht, dat ook de bodemdaling ten gevolge van die eventuele nieuwe winning goed voorspelbaar zal zijn.

#### LITERATUUR

Breunese, J.N., Eijs, R.M.H.E. van, Meer, S. de & Kroon, I.C., 2003.

Observation and prediction of the relation between salt creep and land subsidence in solution mining. The Barradeel case. Solution Mining Research Institute (SMRI) Richmond, Texas, USA: SMRI.

Frisia Zout B.V., 2009. Bodemdaling door zoutwinning in de Barradeel en Barradeel II winning-vergunninggebieden. Gebaseerd op de nauwkeurigheidswaterpassing van september 2008 en de GPS-resultaten tot eind januari 2009. Frisia Zout B.V. (gepubliceerd via [www.nlog.nl](http://www.nlog.nl)).

# NEDERLANDSE GEOLOGISCHE VERENIGING

De Nederlandse Geologische Vereniging werd opgericht in 1946. Het doel van de vereniging is het wekken van belangstelling voor de geologie in de ruimste zin, alsmede het uitdragen van kennis en het kenbaar maken van het belang van dit vakgebied (artikel 2 van de statuten). De vereniging is geregistreerd onder nummer 40203091 bij de Kamer van Koophandel voor Centraal Gelderland te Arnhem.

## INTERNET

De vereniging en afdelingen zijn te vinden onder: <http://www.geologischevereniging.nl>.

## LIDMAATSCHAP

Het lidmaatschap kan per eerste van een kwartaal ingaan. De contributie bedraagt ingaande 1-1-2010 | € 30,00 voor leden | € 15,00 voor jeugdleden | € 6,00 voor gezinsleden | € 45,00 voor buitenlandse leden | per jaar. Zie website voor contributiebedragen bij andere ingangsdatum dan 1 januari. Aanmelding vindt plaats via de ledenadministrateur of inschrijfformulier op <http://www.geologischevereniging.nl/lidmaatschap.php>. Hier staan tevens de contributiebedragen bij andere ingangsdatum dan 1 januari. U ontvangt het formulier automatische incasso voor de inning contributie. Na terugontvangst wordt u als lid ingeschreven.

Opzegging van het lidmaatschap dient schriftelijk te geschieden vóór 1 december voorafgaand aan het eerstvolgende kalenderjaar. Tussentijdse annulering is niet mogelijk.

Abonnementen, adres-, e-mail-, telefoonnummerwijzigingen, overlijden, opzeggingen e.d. doorgeven aan de tijdelijke ledenadministrateur Thomas Kuipers | Dukdalf 1 | 1273 KG Huizen | tel. 035 5262601 | e-mail: [ledenadministratie@geologischevereniging.nl](mailto:ledenadministratie@geologischevereniging.nl)

## BESTUUR

voorzitter | Kwaadeindstraat 75 | 5041 JK Tilburg | tel. 013-5423910 | [jvermee@xs4all.nl](mailto:jvermee@xs4all.nl)  
secretaris | Bongerd 180 | 8212 BK Lelystad | tel. 0320-242881 | [paulvanolm@hotmail.com](mailto:paulvanolm@hotmail.com)  
penningmeester | Ferd. Bolstraat 25 | 8932 JL Leeuwarden | tel 058 2138964 | [jellletalma@12move.nl](mailto:jellletalma@12move.nl) | ING-nummer 1182107 (niet voor contributies)  
vice - voorzitter | Vogelzand 2225 | 1788 GB Den Helder | tel 0223-646583  
bestuurslid | Vlindreef 17 | 9403 JV Assen

## RAAD VAN ADVIES

Voorzitter | Bert Roebert | Harp 17 | 2121 VX Bennebroek | [bert.roebert@hetnet.nl](mailto:bert.roebert@hetnet.nl)

## WETENSCHAPPELIJKE ADVISEURS

Prof. dr. G.J. Boekschoten, dr R. Fraaije, prof. dr. J.E. van Hinte, prof. dr. J.H.F. Kerp en prof. dr. A.J. van Loon.

## ERELEDEN

F.C. Kraaijenhagen | Caumerbeeklaan 49 | 6416 EZ Heerlen  
H.W. Oosterink | Hortensialaan 64 | 7101 XH Winterswijk

## AFDELINGSSECRETARIATEN

B. Hummel | Het Schild 43 | 8341 RV Steenwijkerwold | tel. 0521-589253 | [aliberthum@hetnet.nl](mailto:aliberthum@hetnet.nl)  
Mw. E. Luinge | De Regenboog 2 | 7513 KC Enschede | [ngv\\_twente@hotmail.com](mailto:ngv_twente@hotmail.com)  
Kees Mak | Kerkhoflaan 35 | 6721 EX Bennekom | tel. 0318-415527 | [keesmak@hetnet.nl](mailto:keesmak@hetnet.nl)  
J.J. Eijkman | Zuilenesstraat 7 | 7101 BA Winterswijk | 0543-514976 | [hans-fien@kpnplanet.nl](mailto:hans-fien@kpnplanet.nl)  
Nico Zethof | Pruiemengaarde 9 | 3992 JK Houten | 030-2767618 | [nico.zethof@hetnet.nl](mailto:nico.zethof@hetnet.nl)  
S. de Jong | Rozenlaan 33 | 1834 EJ Sint Pancras | tel. 072-5642994 | [ngv.afd.westfriesland@gmail.com](mailto:ngv.afd.westfriesland@gmail.com)  
Thijs van Berlo | Gasthuisring 10 | 5041 DS Tilburg | tel. 06 28601556 | [thijsvanberlo@yahoo.com](mailto:thijsvanberlo@yahoo.com)  
Mevr. J. de Kwaadsteniet-Weerens | Sint Servaasstraat 11 | 6099 AD Beegden | tel. 0475-572963 | [kwaadjore@home.nl](mailto:kwaadjore@home.nl)  
M. Doumen | Op 't Bergske 23 | 6373 XD Landgraaf | tel. 045-5322685 | [mdoumen@planet.nl](mailto:mdoumen@planet.nl)  
Eise Boonstra | Noord 15 | 2931 SJ Krimpen aan de Lek | 0180-515244 | [bodeko@planet.nl](mailto:bodeko@planet.nl)

## WERKGROEP

Esschebaan 152 | 5062 BG Oisterwijk | tel. 013-5282987 | [georgebrouwers@planet.nl](mailto:georgebrouwers@planet.nl)

## BIBLIOTHEEK

C. Ehlers | B. Stegemanstraat 37 | 7101 AR Winterswijk | tel. 0543-515420 | [c.ehlers@chello.nl](mailto:c.ehlers@chello.nl)

De bibliotheek (met vele honderden titels, waaronder gidsen en tijdschriften) is voor leden gratis te raadplegen. Alleen verzendkosten van boeken dienen door de lezer te worden betaald. Tevens service voor het opzoeken van vindplaatsen, speciale artikelen, enz. Fotokopieerdienst tegen kostprijs.

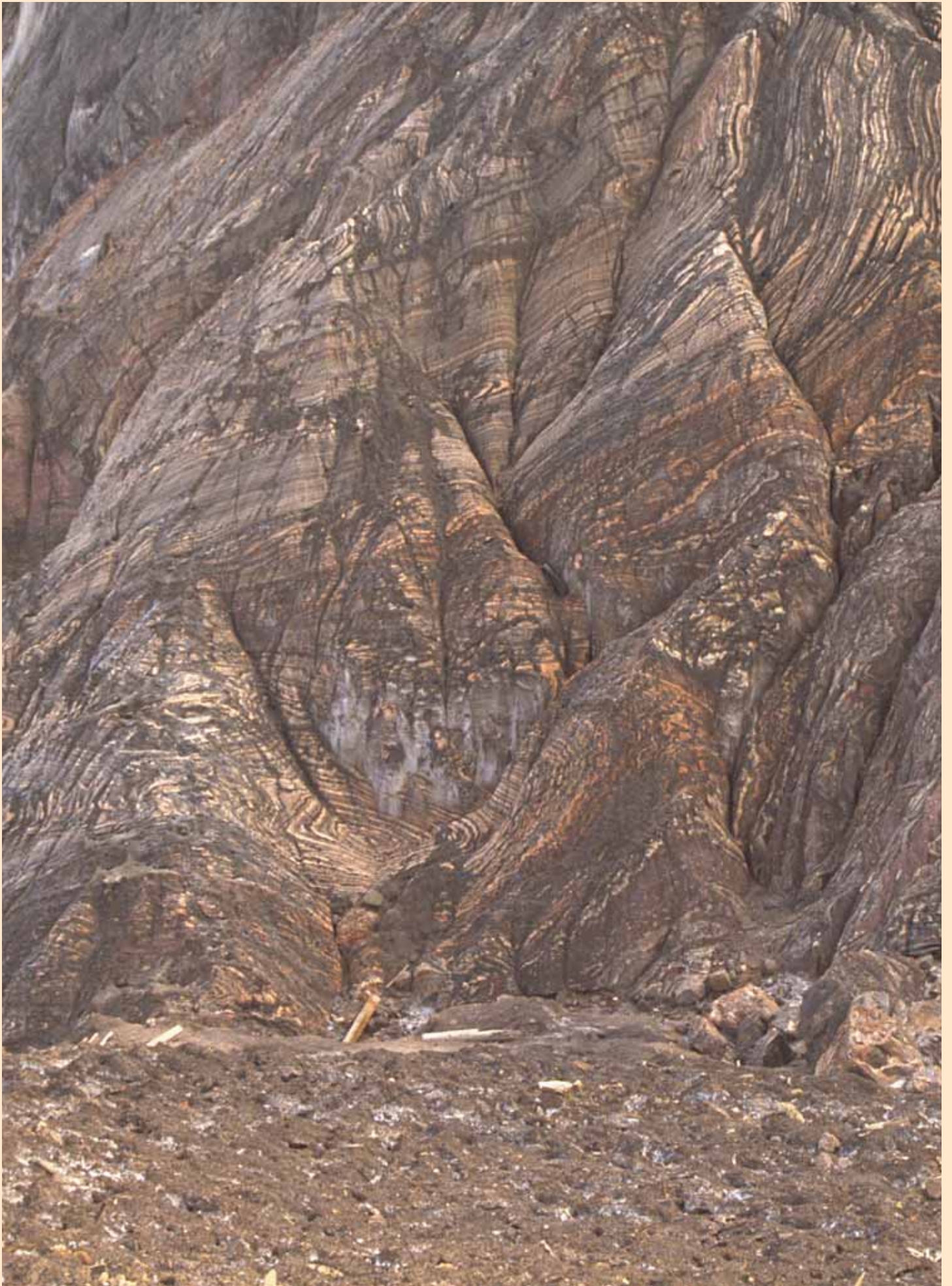
J. Vermeë  
P.W. van Olm  
J. Talma

Mevr. L.R.E.P. Smit  
W. Schuurman

Zwolle  
Twente  
Gelre  
Winterswijk  
Utrecht  
West-Friesland  
Midden-Brabant  
Kring Echt  
Limburg  
MaasWaarden

Cephalopoden

Bibliotheclaris



Plooivorm in de Cardona diapier (Spanje).