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, keukenzout, 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 hooggeconcerteerde pekel 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 watervrije anhydriet. In de kalium-magnesiumzouten vinden complexe veranderingen plaats die in detail in specialistische handboeken worden beschreven.

Voornaamste zouten	
Anhydriet	$CaSO_4$
Gips	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$
Bischofiet	$MgCl_2 \cdot 6H_2O$
Carnalliet	$KClMgCl_2 \cdot 6H_2O$
Haliet	NaCl (steenzout)
Kainiet	$KMgClSO_4 \cdot 2.75H_2O$
Kieseriet	$MgSO_4 \cdot H_2O$
Langbeiniet	$K_2Mg_2(SO_4)_3$
Polyhaliet	$K_2MgCa_2(SO_4)_4 \cdot 2H_2O$
Soda	$Na_2CO_3 \cdot 2H_2O$
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 Mesozoicum 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 2.500 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. Puinwaaiers 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 ingressies 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 afzettingsomstandigheden 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 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 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 verbreidingsgebied. Deze zouten bestaan vooral uit sylviet en carnalliet. De Z3 en Z4 zouten zijn deels roodgekleurd - 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 pekel 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 9.
Verbreiding 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).

Afbeelding 10.
Verbreiding en paleogeografie van het Röt. Onder grote delen van Nederland en de offshore komt het Rötzout 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 Mesozoische 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.

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 Rötzout 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 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).

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 verbreiding 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., Balukhovsky, 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 Ubersichtsdarstellung des 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).