

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 In Noordoost-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-rose 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	CaSO_4	Orthorhombisch
Gips	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Monoklien
Polyhaliet	$\text{K}_2\text{MgCa}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Triklik
Haliet	NaCl	Kubisch
Kieseriet	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Monoklien
Sylviet	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

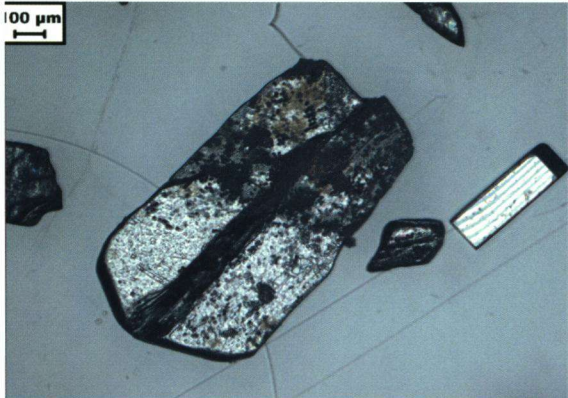
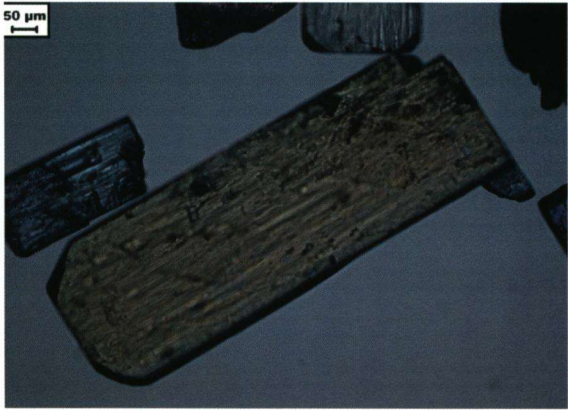
Tabel 1. Samenstelling en kristalstructuur van de meest voorkomende zoutmineralen in de zoutafzettingen van Nederland.

Structuur en microstructuur

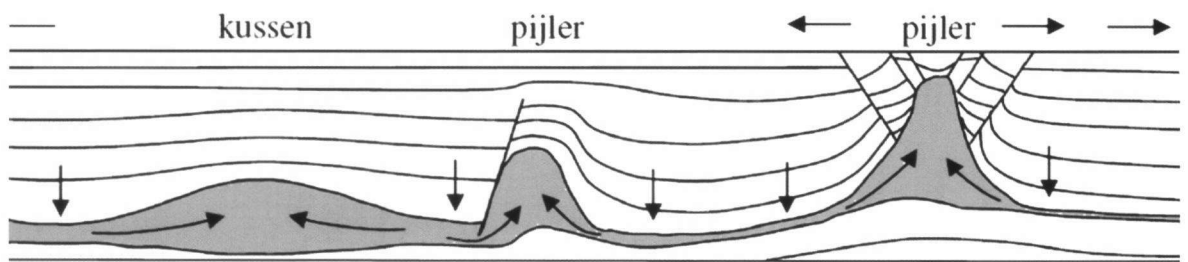
Steenzout van zowel de Zechstein als de Röt Formatie komt voor in relatief ongestoorde lagen met diktes tot enkele honderden meters. In het noordoosten van Nederland zijn er echter veel aanwijzingen voor een langzame, horizontale stroming of vloeï van het zout in het sedimentaire gesteentepakket. Deze 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 verbreïding van kilometers en zoutdiktes van honderden meters tot meer dan 3 km. Intern vertonen dergelijke structuren complexe patronen van plooïing 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 halokinese genoemd.

Op kleinere schaal toont steenzout ook veel bewijs van de processen die hebben geleïd 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 vermaleren en vervolgens de haliet in water op te lossen. Het polyhalietkristal vertoont tweeling.

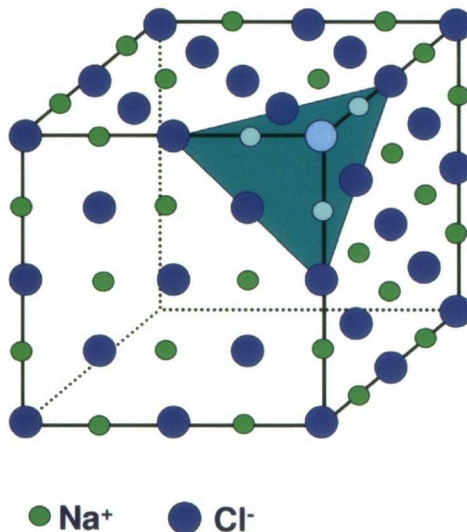


Afbeelding 3.

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 kristalgrootte 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/cm³), 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⁺) en chloor (Cl⁻) waaruit haliet is

opgebouwd, en het relatief lage gewicht van deze ionen. Het kristalrooster van NaCl bestaat uit een samenpakking van Na⁺ionen (natrium atomen die één elektron hebben verloren) en Cl⁻ionen (chloor 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?

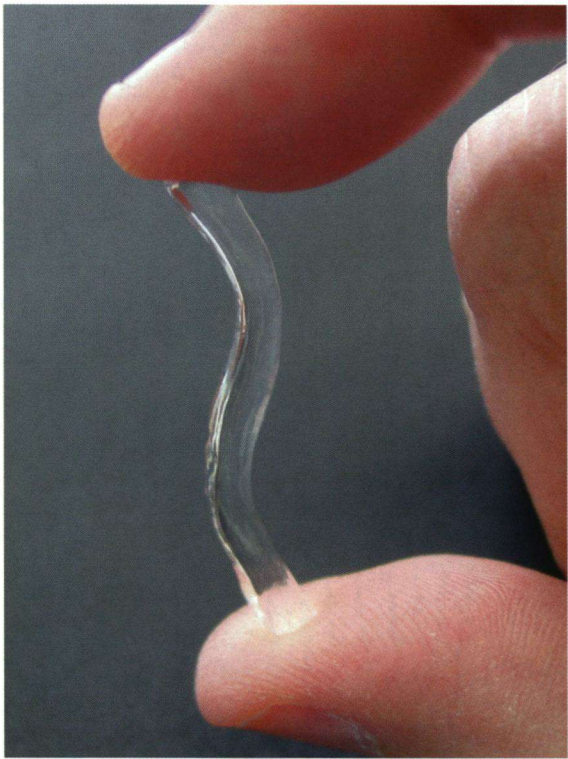
De meest opvallende eigenschap van steenzout is misschien wel de uitzonderlijke plastische vloeïbaarheid van het mineraal (viscositeit). Op een geologische tijdschaal, maar ook tijdens de zoutwinning in de oplosmijnen, toont steenzout de neiging om als een dik-stroperige vloeïstof te stromen, terwijl 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 stroop¹? 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

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

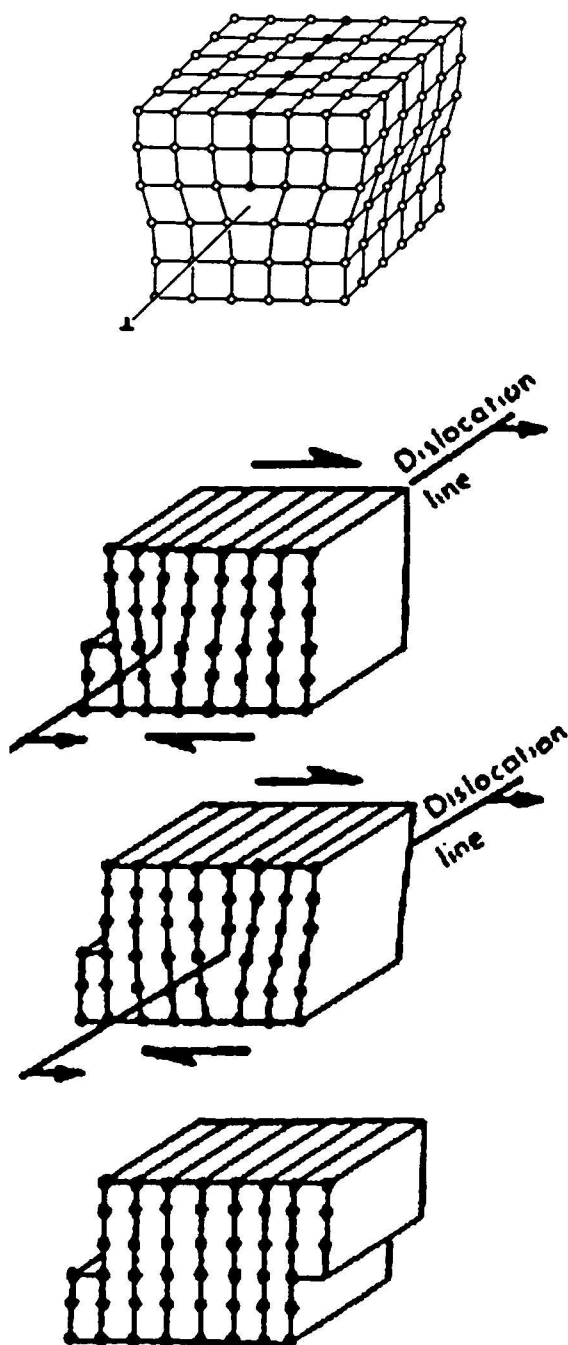


Afbeelding 5. Onder stromend water kan een staafvormig kristal haliet van enkele cm in lengte makkelijk tussen de vingers gebogen worden.



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 vloe 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 pekkel of een rij belletjes vol pekkel. Als we steenzout onder mechanische spanning zetten, door drukken of buigen, lost het zout langzaam op in het water of in pekkel 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 vloe 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 vloe 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 vloe op een manier die vergelijkbaar is met het gedrag van een dikke, stopperige of superviscose vloeistof. 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 dichtvloeien 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 vloeistoffen 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

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 opgehoopt 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 verbuiging 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.

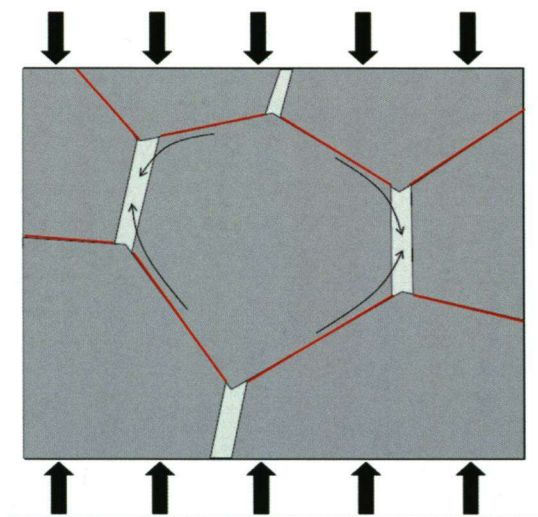
De oplosbaarheid en lage doorlatendheid van steenzout zijn de eigenschappen die oplosmijnbouw mogelijk maken. Steenzout kan opgelost worden uit grote cavernes (holtes) zonder dat de pekels doordringt in omliggend poreus gesteente. Het plastisch vloeigedrag van het steenzout betekent verder dat oploscavernes 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 weergave 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 CO₂ 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!