



▲ Afb. 1. Mooie erosievormen op het eiland Gavdos (ten zuiden van Kreta), Griekenland. Het gaat hier om eolische zandstenen (door wind ontstaan) uit het Pleistoceen. Foto: A. van Roekel.

## Algemene geologie

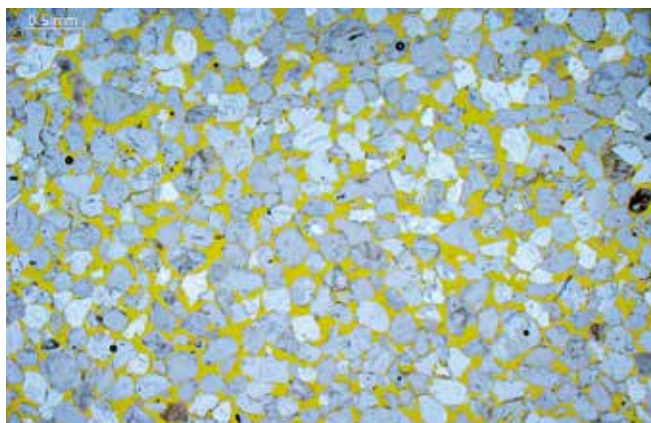
# Zandsteen: waarom het interessant is

door **Josje Kriest (redactie Gea)**

redactie.kriest@gea-geologie.nl

**Zandsteen oogt niet erg sexy: geen mooie mineralen of kristallen, en vaak ook geen mooie fossielen. We schrijven er weinig over in Gea. Maar sedimenten zijn voor geologen wel degelijk belangrijk én interessant.**

In vele Gea-artikelen worden sedimentaire afzettingen zoals zandsteen, conglomeraat etc. genoemd. De lezers weten ongetwijfeld wat voor gesteenten het zijn: verhard zand of grind. Van de GEA-Werkgroep Zand weten we dat zand veel verschillende mineralen kan herbergen, en dat bijv. zandkorrels verschillende kleuren, vormen van afronding en sortering kunnen vertonen. Een enorme variatie, en onder de microscoop soms prachtig mooi. En natuurlijk vertonen sommige zandstenen fraaie erosievormen (afb. 1).

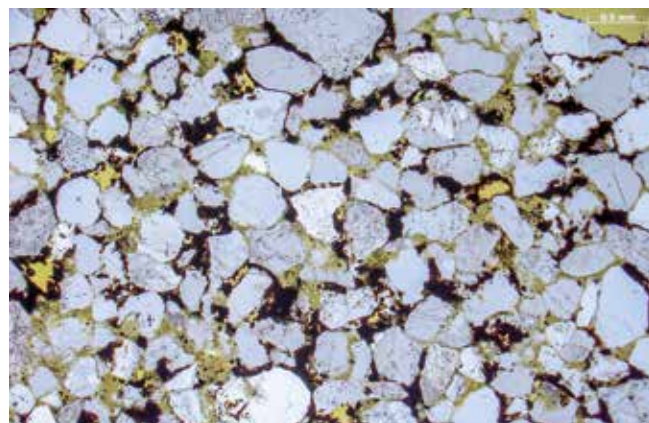


Maar waarom is dat materiaal van belang voor sedimentologen en de industrie waarin ze werken en wat onderzoekt men er zoal aan? Een zandsteen blijft een zandsteen, toch? Blijkbaar speelt er meer. Dat heeft alles te maken met hun eigenschappen, die weer het gevolg zijn van de ontstaansgeschiedenis.

In dit artikel ga ik in op de eigenschappen van met name zandsteen, de verschillende plaatsen waar het is ontstaan (de afzettingmilieus), iets over het herkennen van die herkomst en waarom dat voor een geoloog belangrijk en bruikbaar is.

### Eigenschappen van zandsteen

Een sediment is het erosieproduct van gesteente. Wind, water of ijs erodeert een gesteente en het losse materiaal



▲ Afb. 2. A. Microfoto van Bentheimer zandsteen van de Isterberg; tussen de witte en grijze korrels zijn de poriën te zien tegen de gele ondergrond. B. Bentheimer zandsteen uit de groeve Freilichbühne, met donkere hematiet als cement tussen de lichtgekleurde kwartskorrels. Foto's: T.G. Nijland, met toestemming.



▲ Afb. 3. Afwisseling van sediment in de rivier de Durance in de Provence, Frankrijk: grind en keien, met (linksonder) zand. Foto: P. Lavaurs, publiek domein.



▲ Afb. 4. Afwisseling van gesteenten in een versteende rivierafzetting uit het Carboon met zandsteen en conglomeraat: Cantabrië, Spanje. Foto: J. Kriest.

dat hierdoor ontstaat, wordt vervoerd en neergelegd door water (of wind) als sediment. We denken dan aan zand, klei, grind (of grovere keien en zelfs rotsblokken), maar ook aan kalkresten. Als die afzettingen in miljoenen jaren begraven raken onder nieuwe lagen, komen ze onder druk te staan, en verharderen tot steen.

Sedimentaire gesteenten hebben bepaalde eigenschappen, die bijv. voor de olie- en gasindustrie, maar ook voor de waterwinning van belang zijn, want in sedimentaire gesteenten kan water, gas of olie zijn opgeslagen. De eigenschappen van een bepaald sedimentair gesteente zijn afhankelijk van de ontstaansgeschiedenis. Voor de water- en brandstofindustrie zijn met name twee eigenschappen heel belangrijk: porositeit (de ruimte tussen korrels) en permeabiliteit (de verbinding van de ruimtes tussen korrels).

In dit artikel staat het voorbeeld van zandsteen centraal, dus gesteente dat bestaat uit aan elkaar gekitte zandkorrels met een grootte tussen 1/16 en 2 mm. In een zandsteen zijn zandkorrels op elkaar gestapeld en tussen die korrels zitten 'poriën' (afb. 2A). In een zandsteen zit gemiddeld 10–20% porositeit. In de poriën kan olie, gas of water zitten en ze vormen daarmee een reservoir voor vloeistof- of gasopslag binnen het gesteente. Soms zit er ook klei in die poriën, of bijv. stukjes schelp. Of zelfs

achtergelaten materiaal ('cement') uit het omringende grondwater dat allerlei mineralen meevoert (afb. 2B). Dan zijn de poriën minder ruim en zit er voor de mens minder 'nuttige' reservoerruimte in. Ook kan de verbinding tussen de poriën slecht tot zelfs geblokkeerd zijn. Dat is vervelend, want om de vloeistof of het gas uit het gesteente te krijgen, moeten de poriën goed verbonden zijn met elkaar: de permeabiliteit (doorlatendheid). Mochten er in een permeabele zandsteen slecht doorlatende kleilagen of kleilagen zitten, dan schaaft dat de algehele permeabiliteit enorm. De porositeit en permeabiliteit is dus niet bij alle zandstenen even goed, want de omgeving – het afzettingsmilieu – waarin het sediment is neergelegd, speelt een grote rol.

Sediment, zoals zandsteen, kan zijn afgezet in rivieren, aan de kust, in de diepere zee op de continentrand ('continental slope'), in de woestijn of onder nog andere condities. Als we weten hoe een afzetting gevormd is, kan het iets vertellen over de te verwachten nuttige eigenschappen van het gesteente.

### Afzettingen in water - Rivieren en kust

Sedimentaire afzettingen in rivieren kunnen grote variatie vertonen. De ligging van de rivieren t.o.v. het zeeniveau speelt daarbij een belangrijke rol. In de bovenloop van rivieren (in de bergen) heeft water een hoge energie, terwijl in de benedenloop het energieniveau veel geringer is. Dat resulteert in een ander soort afzettingen. De bedding van bergbekken ziet er bijv. uit zoals op afb. 3: met veel keien, afgezet in snelstromend water, met hier en daar wat zand of klei. Met noemt dit 'vlechtende rivieren'. Het materiaal kan er (verhard, en in een rotswand) uitzien als in afb. 4: een spannende afwisseling van verschillende typen sediment.

In Nederland en ander laagland zien rivieren er anders uit: brede rivieren met veel uitgebreide pakketten zand en klei, hoewel er ook grind en keien liggen, zoals bijv. te zien is in de grindgroeves bij de Maas in Limburg. De afwisseling van gesteenten is vaak wat minder groot: er is meer continuïteit in de afzettingen dan bij de vlechtende rivieren in het bergland. Zand wordt vaak afgezet tijdens overstromingen, onmiddellijk naast de rivier op de oeverwallen. Klei, een fijner en lichter materiaal, wordt bij het doorbreken van een oeverwal (of dijk!) verderop neergelegd, op het land achter de oeverwal, waar



▲ Afb. 5. Eb op het strand van Borkum, Duitsland. De golfrifbels zijn goed te zien. Foto: Amanda 77 via Wikimedia Commons CC BY-SA 3.0.



▲ Afb. 6. Zandafzetting vindt plaats op de steile kant van een woestijnduin (hier aan de linkerkant van de duinen) en vormt lange 'foresets'. Sossusvlei, Namibië. Foto: A. Groenendijk.

de stroomsnelheid is afgenomen. In de buitenbochten van rivieren treedt erosie op. In de binnenbochten daarentegen, waar de stroming

minder snel is, wordt grind of zand neergelegd. Het zijn nu 'meanderende rivieren' geworden. De tot zandsteen verharde zandlichamen kunnen een aparte vorm hebben: een wig of lensvorm. Maar individuele zandlichamen kunnen ook samengesteld worden tot plaatvormige pakketten (sheets).

Aan zee zien we vaak het vlakke strand en zandbanken met een ribbelig oppervlak (afb. 5). Wie met een schep een gat graaft in het zand, ziet misschien wel (scheve) laagjes in de wand, zoals je dat ook ziet in de duinen. Soms zit daar ook schelpengruis in. Dit zand komt aan de kust via de rivieren uit het achterland, waarna de zeestromen (en de wind) het zand vervoeren naar elders en hier en daar aan of nabij de kust deponeren. Zo is het zand dat in de Waddenzee zorgt dat de eilanden steeds nieuw materiaal krijgen aangevoerd, om de door golfslag verdwenen sedimenten aan te vullen, vooral afkomstig van Rijn en Maas: het wordt noordwaarts langs de kust getransporteerd. Overigens kan een strand ook keien bevatten, bijv. aan de voet van een klifkust.

Ook in de diepzee komt wel zand voor. Het zand wordt losgewoeld van de rand van het continent (de 'continental slope') en in beweging gezet richting dieper water door een aardbeving. Of het is daar neergelegd door een rivier die haar zandlading via een diepe geul (canyon) van de monding naar de diepzee vervoert. Het vervoer van zand naar de diepzee kan soms catastrofaal gebeuren, zoals in 1929, toen bij Newfoundland zo'n met zand beladen stroming (een turbidiet of troebelingsstroom)



▲ Afb. 7. Versteende foresets van duinzanden uit de Jura (Navajo Sandstone) in Zion National Park, VS. Foto: A. Groenendijk.

een belangrijke onderzeese telefoonkabel vernielde. De aanjager van deze turbidiet was een aardbeving van kracht 7.2, zo'n 100 km verderop.



▲ Afb. 8. Scheve gelaagdheid in Devonische rivierafzettingen, Zuid-Wales. Foto: J. Kriest.

### Afzettingen door wind - Woestijn

Woestijnzanden ontstaan met behulp van de wind. De wind vervoert het zand en legt het neer in vlaktes of in duinen. Bij duinen wordt het zand op de steile kant, waar de wind minder sterk is, neergelegd (afb. 6) als hele lange 'foresets'. In verharde vorm komt dat er uit te zien zoals in afb. 7. De wind zorgt voor een goede sortering van de zandkorrels, en de stapeling van korrels is dusdanig dat porositeit en permeabiliteit bij woestijnafzettingen bijna maximaal zijn. Woestijnzanden vormen daarom vaak een goed reservoir. Het Groninger gas zit in woestijnafzettingen. Overigens kunnen ook in andere gebieden dan woestijnen duinen voorkomen, zoals langs de kust en in de buurt van rivieren. In Nederland vind je ook zulk verstoven zand langs rivieren: rivierduinen.

### Het herkennen van de verschillende afzettingsmilieus

Hoe zie je nu aan gesteenten of er sprake is van bijv. een kustafzetting of rivierafzetting, als het beide om zandsteen gaat? Bij het 'determineren' van het soort afzetting gaat het o.a. om interne structuren, de afwisseling met andere typen gesteenten en het soort contact tussen die verschillende typen.

### Structuur

Wanneer sediment wordt afgezet, zal de waterstroming (of het verwaaien) voor afzetting in heel specifieke laagjes zorgen. Vaak zijn dat scheve laagjes, maar niet altijd; er zijn heel veel variaties. Het gaat te ver om die allemaal te behandelen in dit artikel, maar het artikel in Gea van De Vries (1995) geeft meer informatie. Die scheve laagjes zijn, ook na het verharderen van het gesteente, zichtbaar (afb.8).

Ook andersoortige structuren, zoals fossielen of kruipsporen, kunnen een indicatie geven over de oorsprong van het gesteente. Zo zijn er in kustafzettingen vaak schelpresten en kruipsporen zichtbaar, omdat in zee en op de zeebodem veel leven voorkomt (afb. 9). In tegen-



▲ Afb. 9. Kruipsporen bij Penha Garcia, Portugal. Het gaat om kruipsporen (de kokervormige streepjes), genaamd Cruziana, ontstaan in een ondiepe zee tijdens het Paleozoïcum. Foto: J. Kriest.

stelling tot ondiep mariene sedimenten bevatten rivierafzettingen echter weinig fossielen. Anderszins kunnen rond rivieren wel ‘mudcracks’ gevonden worden: fossiele barsten in kleien die ontstaan zijn ten tijde van droge periodes.

Overigens treden sommige structuren zowel in continentale (rivier)afzettingen op, als in mariene sedimenten (kust en ondiepe zeeën). Dus met het kijken naar sedimentaire structuren zijn we er nog niet.



◀ Afb. 10. Geulinsnijding: het bovenliggende conglomeraat is de opvulling van een riviergeul die in de onderliggende klei- en zandstenen is ingesneden. Valjunquera, Spanje. Foto: J. Kriest.

### Afwisseling

Behalve naar de eigenschappen van het gesteente zelf, kijkt men ook naar de afwisseling met *andere typen gesteenten*, ofwel de omringende gesteenten. Want binnen een bepaald afzettingsmilieu komen vaak dezelfde combinaties van gesteenten voor. Zo zul je bij rivierafzettingen naast veel zandsteen en klei ook vaak conglomeraat tegenkomen, met afgeronde keien. En ook steenkool (versteende plantenresten) is er te vinden; iets dat je bij mariene afzettingen weinig zult tegenkomen.

### Contact

Daarnaast is het *contact* tussen de verschillende typen gesteenten van belang. Het kan een scherp contact zijn, bijv. als het ene sediment zich heeft ingesneden in het onderliggende. Iets dat gebeurt als een riviergeul oudere

afzettingen erodeert, waarna er nieuw materiaal (vaak keien of grind) wordt neergelegd (afb. 10). Het contact kan echter ook heel geleidelijk verlopen, bijv. wanneer een rivieropvulling begint met keitjes en grind, waarna er bovenop – als de waterstroom afneemt in kracht – zand en zelfs klei wordt afgezet. Je krijgt eerst een conglomeraat met daar bovenop zandsteen en vervolgens klei, allemaal met geleidelijke overgangen. We spreken van ‘fining upward’ (afb.11). Dit fenomeen kan overigens zowel in rivieren als in zee optreden.



◀ Afb. 11. Fining upward: een geleidelijke opeenvolging van afzettingen die naar boven toe steeds fijner (minder grof) worden, met van beneden naar boven keien, grind, zand. Baranco de Esquinzo, Fuerteventura. Foto: A. Groenendijk.

### Voorspellen

De structuren en relatie met omringende gesteenten geven dus een indicatie van het afzettingsmilieu van de zandsteen. Maar andersom kan de kennis van het afzettingsmilieu van een gesteente juist interessant zijn, omdat de mogelijke aanwezigheid van andere gesteenten voorspeld kan worden.

Zo gaan riviersedimenten soms gepaard met de aanwezigheid van steenkool. Want rond rivieren kwamen vaak plantrijke gebieden voor, met de mogelijkheid tot veenvorming, wat op den duur door inkoling steenkool heeft opgeleverd. In het geologisch verleden heeft deze steenkool gas gegenereerd dat in zandstenen kan zijn opgeslagen. Dit is in Groningen gebeurd: de tropische regenwouden van het Carboon zijn verkoold en die hebben gas gegenereerd dat in de er boven op liggende woestijnzanden (uit het Perm) van het Groninger veld is opgeslagen. Dat gas kan in dit geval niet ontsnappen, omdat bovenop die zandsteenlagen een ondoorlatende zoutlaag ligt. Bij kust- en andere mariene sedimenten kunnen ook organisch rijke afzettingen aanwezig zijn, maar dan vooral van dierlijk leven, zoals plankton. Dat plankton, mits gevangen/opgeslagen in gesteente, zou in de geologische toekomst olie kunnen genereren.

### Metten is weten, maar soms moet je er naar raden

Kennis over hoe een afzetting gevormd is, kan iets vertellen over de te verwachten nuttige eigenschappen van het gesteente. Zo vormen woestijnzanden vaak een goed reservoir voor olie, gas of water. Natuurlijk kunnen we eigenschappen als porositeit en permeabiliteit ook gewoon meten indien een gesteentemonster beschikbaar is. Overigens zegt zo'n monster niet alles. Afb. 12 toont een groevewand van een kustafzetting. Er is een behoorlijke variatie te zien op een heel klein oppervlak. Metingen van de gemiddelde porositeit en permeabiliteit op een

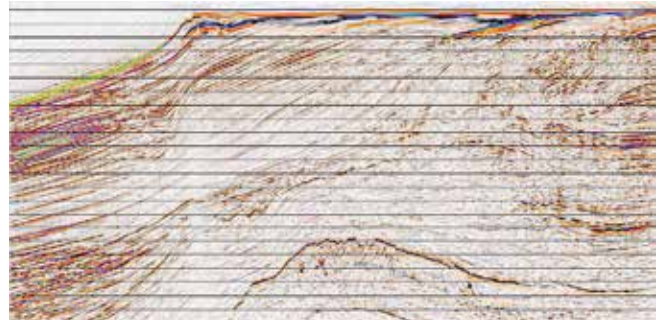
1) Het fenomeen ‘coarsening upward’ bestaat ook; een geleidelijke overgang naar boven toe van fijner naar grover materiaal.



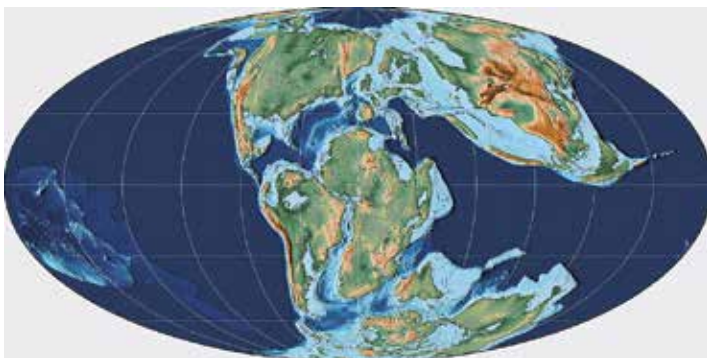
▲ Afb. 12. Ontsluiting van kustafzettingen bij Orcombe, Zuid-Engeland, uit de Jura-tijd, met name bestaande uit zandsteenlagen. Vergelijk de oranje banen links en rechts: hoewel er maar enkele meters tussen zitten, is er een behoorlijke variatie te zien binnen dit pakket. Links zijn twee gladde zandsteenlagen te zien, mogelijk vrij fijne zandsteen, terwijl die rechts ontbreken. Rechts zijn in alle lagen scheve structuren te zien, links niet overal. De verschillende typen zandsteen kunnen verschillende porositeit- en permeabiliteiteigenschappen hebben. Foto: L. van Geuns.

plek links geeft ongetwijfeld andere waarden dan een meting aan de rechterkant, een paar meter verderop, vanwege de andere samenstelling van gesteenten. Over grote afstanden zal de variatie alleen maar meer zijn. Als er geen of weinig gesteentemonsters beschikbaar zijn, worden andere methoden gebruikt, zoals seismiek<sup>1</sup>. Voor gesteentelagen in de ondergrond die op seismiek zijn herkend (afb. 13), is er überhaupt geen monster beschikbaar, tenzij er een boring is gezet. En dat adviseren geologen pas, als men denkt een nuttig gesteente te zullen vinden, want boren is duur.

onbekend terrein. Men kijkt dan naar de geologische geschiedenis van het gebied en de klimaatzones waarin het gebied heeft gelegen in de verschillende era. Dat geeft een indicatie van de vroegere afzettingsmilieus. Mocht er helemaal niets bekend zijn, dan kan plaattektoniek nog een beetje informatie geven. Zoals over klimaatzones, en de aanwezigheid van (binnen)zeeën en grote gebergtekets. De nauwe tropische binnen-zee tussen Afrika en Zuid-Amerika tijdens het Krijt (afb. 14), suggereert aan geologen dat er in het Krijt



▲ Afb. 13. Voorbeeld van een seismische weergave van de ondergrond. De lijntjes geven grensvlakken aan tussen verschillende gesteentelagen. Welke gesteenten dat zijn, is niet te zien, hoewel de vorm van bepaalde structuren een afzettingsmilieu suggereert van een geplooidde en gelaagde ondergrond met een hobbelig erosievlak (mogelijk karst) dat gekanteld is, waarna er een steeds verder met sediment uitbouwende delta, continentale helling of continentaal plat overheen is gelegd. Maar alleen een boring kan zekerheid geven. Afb.: E. van de Graaff.



▲ Afb. 14. Paleogeografische kaart van de continenten tijdens het Krijt (105 Ma). De nauwe zeearm tussen Afrika en Zuid-Amerika heeft door de geringe circulatie gezorgd voor een zuurstofarme zee, waarin organisch materiaal bewaard is gebleven in het bodemsediment. Het heeft (veel later) olie gegenereerd, waar nu de olievelden van Suriname mee gevuld zijn. Kaart: C. Scotese, met toestemming.

Dus maakt men op basis van kennis en ervaring een inschatting van de te vinden gesteentes, inclusief hun herkomst (afzettingsmilieu) en eigenschappen, alvorens te gaan boren en bemonsteren. Hoe schat men zo iets in? Mochten er al eerder boringen zijn uitgevoerd in het gebied, dan vergelijkt men de resultaten van de eerdere boring met datgene dat nu te 'zien' is op seismiek. Het blijft een inschatting, maar een redelijk gegronde inschatting. Maar soms bevindt men zich in geologisch

veel organisch materiaal kan zijn geweest dat niet verteerd is wegens te geringe zuurstof in dit besloten zeegebied, en dat is opgeslagen in het bodemsediment. Dat zou in later tijden een oliemoe-dergesteente kunnen vormen, wat onder gunstige omstandigheden (zoals de aanwezigheid van goed reservoirgesteente) een olieveld zou kunnen doen ontstaan. Het idee blijkt te kloppen. Kijk maar naar de olievondsten in Suriname, gevoed door organisch rijk gesteente uit het Krijt.

Soms moeten er dus t.b.v. industrie of waterwinning op grond van (beperkte) feitenkennis en jarenlange ervaring inschattingen worden gemaakt van te verwachten sedimentaire gesteenten en hun eigenschappen. Op basis van die inschattingen en de juiste geologische omstandigheden (maar dat is een ander verhaal) kan besloten worden tot een boring naar olie, gas of water of het opstarten van een mijn voor de winning van ertsen. Klinkt als een vage basis? Tja, een geoloog moet leren leven met onzekerheid.

### Meer lezen

- W.C.P. de Vries. (1995). Wat gebeurt er met zand? *Gea*, 28(2), 37-46. Lees online via <https://natuurtijdschriften.nl/pub/414987>.
- [www.geologievannederland.nl/zwerfstenen/beschrijvingen/zandsteen](http://www.geologievannederland.nl/zwerfstenen/beschrijvingen/zandsteen).

1) Bij seismiek wordt de ondergrond bestudeerd d.m.v. trillingen. De trillingen worden aan het aardoppervlak veroorzaakt, welke in de ondergrond doordringen, waar ze terugketsen bij de overgang tussen verschillende gesteentelagen. De teruggekette trillingen worden aan het oppervlak opgevangen en bewerkt, waarna er een beeld ontstaat van de ondergrond. Zo krijgt men een idee van hoe en waar verschillende gesteentelagen liggen die bijv. variëren in dichtheid, maar niet van wát voor soort gesteentes dat zijn.