

# Plooien en breuken: een kwestie van buigen of barsten

door P. Floor en drs. W.C.P. de Vries

Met de aardkorst wordt de dunne, letterlijk "steenharde" laag aangeduid die de buitenste schil vormt van de aardbol. De term "korst" werd vroeger letterlijk opgevat, de buitenste harde steenlaag zou de dunne gestolde korst vormen van een vloeibare aarde. Dat de aardbol vloeibaar was werd afgeleid uit de vulkanische activiteit.

Tegenwoordig weten we dat de aarde geenszins vloeibaar is, als geheel reageert de aardbol als een massieve stalen bal. Waarschijnlijk bevinden zich diep in de aardbol bepaalde lagen die ietwat plastisch zijn en eigenschappen vertonen die doen denken aan die van een vloeistof, dit betreft in ieder geval een gedeelte van de kern van de aardbol. Het vulkanisme is slechts een uiting van lokale hitteopeenhopingen, waardoor de aardkorst of de bovenzijde van de aardmantel op sommige plaatsen kan gaan smelten.

De aardkorst lijkt stevig, opgebouwd uit een hard en bros gesteentepakket. Toch vertonen de gesteenten duidelijk de sporen van beïnvloeding door krachten die zowel van buitenaf op de gesteenten inwerken, als van binnenuit. De van buiten werkende krachten zorgen voor de afbraak van de gesteenten en het transport van het verweringsmateriaal, dit zijn de **exogene** krachten. De krachten die van binnen, uit de diepere delen van de aardkorst, op deze laatste inwerken zijn de **endogene** krachten. De resultaten van deze krachten zien we in de deformatie van de gesteenten: de gesteentelagen werden op veel plaatsen verplooid en gebroken. De oorspronkelijke positie, vorm en oriëntatie van de gesteenten en gesteentepakketten zijn onder invloed van de endogene krachten veranderd.

De endogene krachten hebben vaak tot de verbeelding van de mensen gesproken. De onmogelijkheid om de krachten, die de soms zeer indrukwekkende structuren veroorzaken, waar te nemen en te kunnen bevatten leidde vaak tot het verzinnen van bovennatuurlijke verklaringen. Zo meenden de oude Grieken dat plooi- en breukvorming gevolgen waren van de strijd tussen Goden en Titanen. De moderne verklaring spreekt weliswaar minder tot de verbeelding, maar de grote variatie in de structuren, die soms leiden tot spectaculaire landschapsvormen, blijft een diepe indruk maken. Dit zijn redenen om de endogene krachten en hun effecten op de gesteenten van de aardkorst nader te gaan bekijken.

## De opbouw van de aarde

De kennis over de inwendige structuur van de aarde is in de laatste decennia op spectaculaire wijze toegenomen dank zij de snelle ontwikkeling van de techniek.

Het zwaartekrachtsveld van de aarde is tot in details bekend. Variaties in de waarde voor de zwaartekracht geven aan dat er zich in de aardkorst gesteenten met verschillend soortelijk gewicht bevinden. Het magnetisch veld van de aarde geeft ons informatie over het bewegingspatroon van de materialen in de aardkern. Door het temperatuurverloop in de gesteenten kunnen de plaatsen worden opgespoord waar het warmtetransport uit de diepere gedeelten van de aardkorst plaats vindt. Door de studie van de weg die aardbevingsgolven door de aardbol

afleggen is een gedetailleerd beeld verkregen over de opbouw van de aardbol.

De studie van de aardbevingsgolven ofwel van de seismische trillingen heeft tot resultaat gehad dat men weet dat de aardbol is opgebouwd uit een aantal lagen, waarvan de materialen verschillende eigenschappen hebben. Van deze eigenschappen der gesteentematerialen in de verschillende lagen is de dichtheid, ofwel het soortelijk gewicht, goed af te leiden uit het gedrag van de seismische trillingen. Daaruit wordt dan een mogelijke samenstelling van het materiaal in een bepaalde laag van de aardbol afgeleid. Zie tabel I.

	toestand	volume	temperatuur	gemiddelde dichtheid
korst	vast	± 0,8%	tot ± 1000°C	2,8
mantel	vast	± 83%	1000-4000°C	4,5
kern	binnenkern vast, buitenkern vloeibaar	± 16%	4000°C	10,7
gehele aarde				5,5

Definitie dichtheid: het aantal kg per dm<sup>3</sup> van een stof (men vergelijkt deze met water, dat een dichtheid van 1 heeft)

Opmerkelijke punten zijn:

- een spronggewijs toenemen van de dichtheid van de verschillende niveaus. De aardkorst bestaat gedeeltelijk uit materiaal met een soortelijk gewicht van 2.7 (granietisch materiaal) en van 3.0 (bazaltisch), terwijl het bovendeel van de mantel een dichtheid bezit van rond de 3.4 (ultrabasisch gesteente). De grote sprong in de dichtheid bij de overgang naar de kern is opvallend: van 5.5 in de diepere gedeelten van de mantel tot haast 10 aan de buitenrand van de kern, waarna de dichtheid toeneemt tot rond de 16 in het centrum van de aardbol.
- het toenemen van de temperatuur (en de druk) naar de diepte toe.

De verklaring van de laagvormige opbouw van de aarde wordt gezocht in het eerste ontstaan van de aardbol, die tijdens bepaalde fasen in zijn vorming een gasvormig en een vloeibaar stadium heeft gekend. Tijdens deze fasen is er een scheiding opgetreden, waarbij het zware materiaal zich concentreerde in de kern en de lichte gesteentematerialen boven kwamen drijven. Laagvorming op kleinere schaal werd mogelijk veroorzaakt doordat kristallen met een hoog soortelijk gewicht, die in een vroeg stadium uitkristalliseerden, naar de bodem zakten en daar lagen

van een bepaalde samenstelling vormden.

De hoge temperatuur van de diepere delen van de aarde werd vroeger wel beschouwd de "restwarmte" te vertegenwoordigen uit de periode van de veel hetere stadia der vroege aardgeschiedenis. Dit zou wel inhouden dat de aarde in de loop van de geologische geschiedenis zou zijn afgekoeld. Er is echter geen enkele aanwijzing uit bv. de vroegere en huidige vulkanische activiteit waaruit een afkoelen van de aarde kan worden afgeleid.

De warmtebron van de aarde heeft de afgelopen miljarden jaren haar activiteit op eenzelfde wijze voortgezet en deze warmtebron is dus niet gebonden aan een bepaalde fase van de aardgeschiedenis. De warmte is waarschijnlijk voor een groot gedeelte afkomstig uit het verval van radioactieve elementen. Deze elementen, zoals uranium, zijn aanwezig in vele mineralen van zowel de diepere delen van de aarde alsook van de aardkorst.

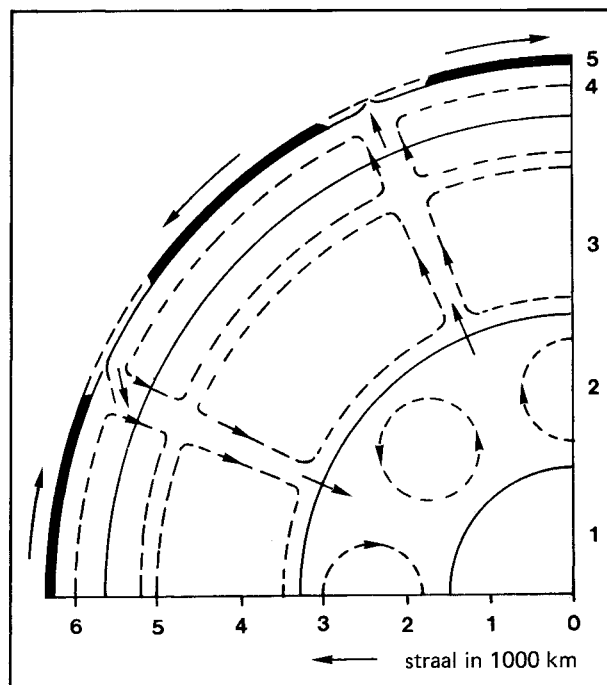
Relatief grote hoeveelheden warmte worden geproduceerd in de diepere delen van de aardbol. Deze warmteproductie geeft mogelijk aanleiding tot het op bepaalde punten opstijgen van de verhitte gesteenten aan de onderzijde van een bepaalde laag van de aardbol. Daar de gesteentelaag zijn warmte aan de bovenzijde weer doorgeeft aan het materiaal van de volgende laag, koelt het gesteente daar af en zal door zijn grotere zwaarte de neiging hebben om naar beneden weg te zakken. Op deze wijze kan dan een, zij het uiterst langzame, beweging ontstaan. Deze beweging is te vergelijken met die van water in een pannetje dat op het gas wordt verwarmd, of met de circulatie van de lucht in een kamer die door een kachel, of een cv-radiator, wordt verwarmd.

Een dergelijke kringloop wordt convectiestroming genoemd. Afb. 1.

In het begin van dit verhaal werd gesteld, dat het overgrote gedeelte van de gesteenteseries waaruit de aardbol is opgebouwd op geen enkele wijze als vloeibaar aangeduid kan worden. Toch zou er volgens de hypothese van het warmtetransport door middel van convectiestromen een "stromende" beweging van de gesteenten van de aarde mogelijk moeten zijn.

Dat een plastische beweging, min of meer vergelijkbaar met de wijze van stroming van een (taai) vloeistof, ook mogelijk is in vast materiaal dat onder omstandigheden ver onder zijn smeltpunt verkeert, heeft een geheel nieuwe tak van wetenschap ons geleerd. Deze wetenschap is die der rheologie. De beweging van een vaste stof die zich ver onder zijn smeltpunt bevindt en welke beweging een plastische vervorming als resultaat geeft, heet een rheid beweging. Een voorbeeld is de beweging van de gletsjer, die soms prachtige plooipatronen kan tonen die vergelijkbaar zijn met die van een stromende vloeistof.

Voor het in gang zetten en in stand houden van een dergelijke rheid beweging is slechts een, relatief gezien, geringe kracht benodigd, die echter gedurende een lange tijd moet worden gehandhaafd. Vooral deze tijdfactor is van overheersend belang. Tijd is echter een factor die in de geologie ruimschoots voorhanden is. Het zal duidelijk zijn dat een hogere temperatuur van het (gesteente-)materiaal gemakkelijker kan leiden tot plastische bewegingen. De convectiestromen in de verschillende lagen van de aardbol treden op tot in de hoogste niveaus van de mantel en de bewegingen in het bovendeeel van de mantel oefenen grote invloed uit op het bovenste dunne laagje: dat van de aardkorst. De mantelbewegingen doen in de aardkorst krachten optreden die horizontaal gericht zijn. Deze horizontale of "gerichte" krachten kunnen bepaalde gedeelten van de aardkorst in elkaar drukken door compressiebewegingen. Door de compressie worden stroken van de aardkorst in elkaar gedrukt en deze zullen zich dus gaan versmallen. Andere stroken van de aardkorst zullen



Afb. 1. Schematische weergave van de doorsnee van de aarde, met daarin getekend het mogelijke verloop van de convectie. De pijlen geven de richting van de bewegingen aan. 1. binnenkern (vast); 2. buitenkern (vloeibaar); 3. binnenmantel (vast); 4. buitenmantel (merendeels vast); 5. korst (vast).

uit elkaar worden getrokken doordat er krachten optreden die in tegengestelde richtingen werken: de rekkrachten. Daarnaast komt het voor dat stukken van de aardkorst langs elkaar heen schuiven door schuin gerichte compressiekrachten.

Deze "gerichte" krachten werken op de gesteenten in naast de zogenoemde alzijdige- of gesteentedruk. De alzijdige druk ontstaat door het gewicht van de bovenliggende gesteentekolom, dus de gesteentemassa die tussen een bepaald gesteente en de aardoppervlakte aanwezig is. Deze alzijdige druk is overal in de aardkorst aanwezig en de grootte van deze druk neemt toe met de diepte. De verhouding tussen de verschillende krachten en de snelheid waarmee deze worden toegepast, gecombineerd met het type gesteente en de omstandigheden waaronder dit verkeert (zoals de temperatuur), bepalen of het gesteente zal buigen (plooien) ofwel zal barsten (breken). Wordt een bepaalde, relatief geringe kracht gedurende een lange tijd uitgeoefend, dan zal het materiaal door de rheid beweging fraaie plooistrukturen kunnen gaan vertonen. Is de kracht groter, dan zal de reactie van het gesteente sneller zijn en de beweging sneller moeten verlopen. Een gesteente dat zich diep in de aardkorst bevindt en dus van hogere temperatuur is zal de snellere beweging op plastische wijze kunnen opvangen en zich plooien; bevindt het gesteente zich echter op hoger niveau in de korst dan zal de mogelijkheid tot een soepele, plastische deformatie minder groot zijn of kunnen ontbreken en zal breuk gaan optreden. Afb. 2.

Er wordt onderscheid tussen gesteenten gemaakt op basis van hun mogelijkheden zich naar de deformerende krachten te voegen. De groep die zich gemakkelijk naar het krachtenveld kan richten en relatief gemakkelijk zal kunnen plooien is die der incompetent gesteenten. Daarnaast worden de hardere en brossere gesteenten,

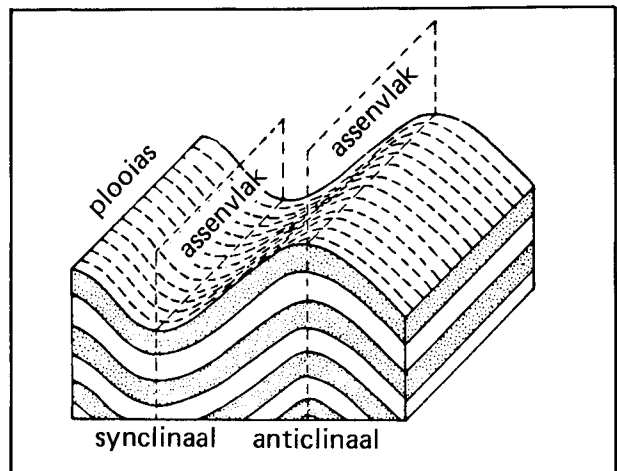
die eerder breukvorming dan plooiing te zien geven, de competente gesteenten genoemd. Een kwartsiet behoort tot de competente gesteenten, een schalie of mergel tot de incompetentente.

Deformatie van een gesteentepakket kan het gemakkelijkst worden gezien aan een serie sedimentaire gesteenten, zoals zandsteen of schalie. Sedimenten hebben in het algemeen twee karakteristieke eigenschappen die deze observaties gemakkelijk maken: een sediment toont laagvorming, de zogenaamde gelaagdheid; en: de gelaagdheid is oorspronkelijk altijd horizontaal geweest. Hellende lagen van sedimentaire gesteenten geven dus aan dat het pakket onderworpen is geweest aan krachten die verschillen in beweging hebben gegeven. Een schuinstaand pakket lagen geeft aan dat het ene punt van de serie verder of sneller werd opgeheven dan het andere punt. Plooiën in een gesteenteserie geven aan dat het pakket onderworpen werd aan samendrukkende krachten; breuken kunnen aangeven dat de aardkorst uit elkaar werd getrokken.

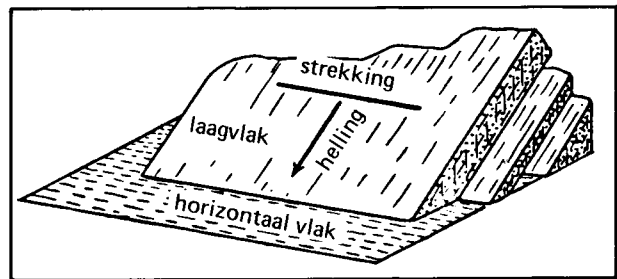
### Typen van plooiën

Een plooi is een golving in het gesteentepakket. Plooiën kunnen een groot aantal verschillende vormen tonen; deze verschillende vormen hebben bepaalde namen gekregen. De naamgeving van een bepaald type plooi is gebaseerd op een aantal kenmerken waarvan we er een aantal zullen noemen.

*Afb. 2. Plooistructuur (antiform), hoogte 80 m, breedte 60 m, in gneisachtige gesteenten; te zien bij de stuwdam in het Lago di Vogorno, Val Verzasca, omgeving Locarno (Italiaanse Alpen). Foto P. Stemvers.*



*Afb. 3. Vertikaal assenvlak en horizontale plooiias bij een rechte, symmetrische plooi (naar Holmes).*



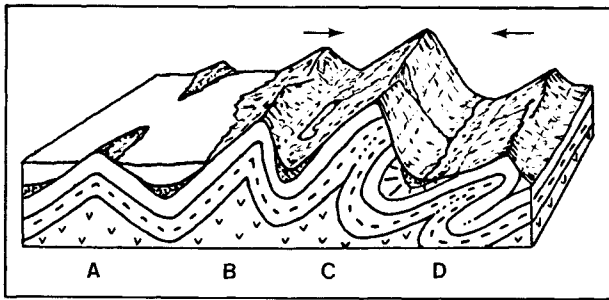
*Afb. 4. Helling en strekking bij laagvlakken. Door deze twee factoren wordt de ligging van een laagvlak bepaald: de helling t.o.v. een horizontaal vlak, de strekking t.o.v. het noorden (naar Holmes).*

De kenmerken van een plooi zijn natuurlijk het beste te bestuderen in een ontsluiting, bv. een groeve of weginsnijding, waarvan de wand een zo recht mogelijke hoek maakt met de richting van de gesteentelagen (de strekking).

Wanneer een laagpakket geplooid is en daarbij is opgeplooid tot een boogvorm dan wordt deze boogvormige plooi een anticlinaal genoemd. Bij een anticlinaal hellen de beide zijden van de boog van elkaar af, zij hellen van het hoogste punt van de structuur af.

De term anticlinaal behoeft daarbij nog een verdere uitleg. Bij een dergelijke plooi zal in de kern een oudere laag optreden dan in het hoogste punt of aan de zijkanten (afb. 3). Het is mogelijk om een anticlinale plooi vorm te vinden waar de ouderdommen van de lagen niet te bepalen zijn. Hierbij moet dan ook worden gedacht, dat de structuur niet de in afbeelding 3 getoonde eenvoudige plooi is, maar een onderdeel van een ingewikkelde structuur zodat in de kern niet de oudste lagen, maar de jongste lagen van het gesteentepakket aanwezig zijn. In het geval van onzekerheid over de ouderdommen van de gesteenten van de plooi wordt dan de term antiform gebruikt. Pas nadat de ouderdomsrelaties zijn vastgesteld kan worden besloten of de structuur inderdaad een anticlinaal is.

Is het laagpakket naar beneden geplooid tot een kom- of trogvorm, dan hellen de zijkanten naar elkaar toe. Analooq aan het gestelde ten aanzien van de antiform, wordt hier gesproken van een synform tot de ouderdomsrelaties zijn vastgesteld. Bevindt de jongste laag zich in de kern van de plooi dan heet deze structuur een synclinaal (afb. 3).



Afb. 5. Schematisch blokdiagram om de verschillende plooiotypen te verduidelijken. A. een rechte, open plooi (symmetrisch); B. iets hellende, dichte plooi (asymmetrisch); C. overhellende, dichte plooi; D. liggende, isoclinale plooi, de flanken zijn ongeveer evenwijdig.

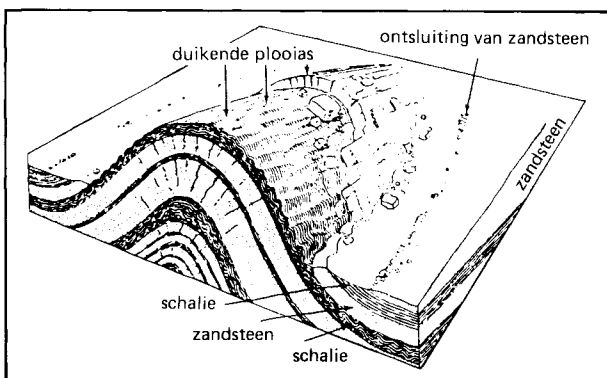
Een schuine/overkijpte/liggende plooi geeft aan dat een beweging in één bepaalde richting sterker was dan in een andere richting. Bij symmetrische plooien hoeft dit niet het geval te zijn geweest.

De twee zijkanten van een plooi, ofwel de twee delen van de plooi die een minder sterke kromming tonen, heten de flanken. Het scharnierpunt is dat punt van de ombuiging van de geplooiden lagen dat de sterkste kromming toont; het scharnier van de plooi is gewoonlijk een lijn. Het vlak dat door de plooistructuur kan worden getrokken en dat de hoek tussen de flanken zo goed als mogelijk is midden-door deelt heet het assenvlak. De snijlijn tussen dit assenvlak en de ombuiging van een laag van de plooi is de as van de plooi, ook genoemd de plooi-as. Van het assenvlak kunnen de positie en de stand duidelijk worden bepaald door de helling en de strekking van het vlak (afb. 4). Op een geologische kaart wordt echter veelal alleen de plooi-as aangegeven.

Typen van plooien worden onderscheiden door de stand van het assenvlak, de richting van de plooi-as en de stand van de flanken. Afb. 5.

— Een plooi met vertikaal assenvlak en een horizontale plooi-as is een rechte plooi (5A). Staat het assenvlak niet vertikaal dan wordt gesproken over een hellende plooi (5B,C). Is de helling van het assenvlak zeer groot, dus ligt deze vrijwel horizontaal, dan is de structuur een liggende plooi (5D). Bij een liggende plooi worden onderscheiden: een bovenste flank of bovenzijde, waarin, in het geval van een liggende anticlinaal, een normale gesteenteeven-

Afb. 6. Een duikende anticlinaal. De verschillende gesteentesoorten hebben een ongelijke weerstand tegen erosie (naar Menard).



volging optreedt van oud onder naar jong boven, en een onderliggende flank of omgekeerde vleugel. Deze toont een op zijn kop liggende gesteenteserie ofwel een overkijpte serie.

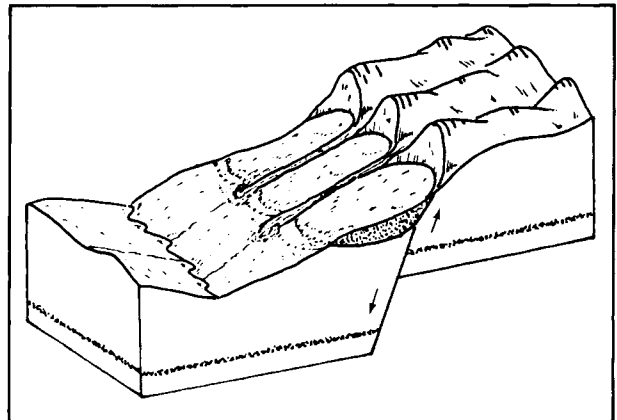
— Zijn de flanken van een plooi van gelijke grootte dan heet de plooi symmetrisch, dit ter onderscheiding van een asymmetrische plooi met flanken van ongelijke grootte.

— De plooi-as is veelal niet horizontaal, doch helt. Bij een duidelijke hellingshoek van de plooi-as wordt gesproken over een duikende plooi. Bij een duikende plooi zullen de lagen op een bepaald punt van de ene flank naar de andere flank omlopen, hier "sluit" de duikende plooi zich (afb. 6). Een plooi kan naar twee kanten duiken. Een bepaald type van de naar twee zijden duikende anticlinaal heet een dome. Een naar twee kanten oprijzende synclinaal kan trog, schoteltrog of bekken worden genoemd.

— De grootte van de hoek tussen de flanken geeft een hele rij van namen: open, dicht, tot isoclinaal. Bij het laatstgenoemde plooi-type zijn de flanken evenwijdig aan elkaar.

— De vorm van de ombuiging van de plooi kan rond zijn of scherp. In het laatstgenoemde geval spreekt men van chevron- of zig-zag plooien.

Voorbeelden van de diverse plooiotypen zijn in de vele plooingsgebergten van West-Europa goed te vinden. Verscheidene afbeeldingen ervan zijn opgenomen in o.a. de Gea-nummers Zwitserse Alpen en Engeland (1984 nr. 1 en 1985 nr. 1).

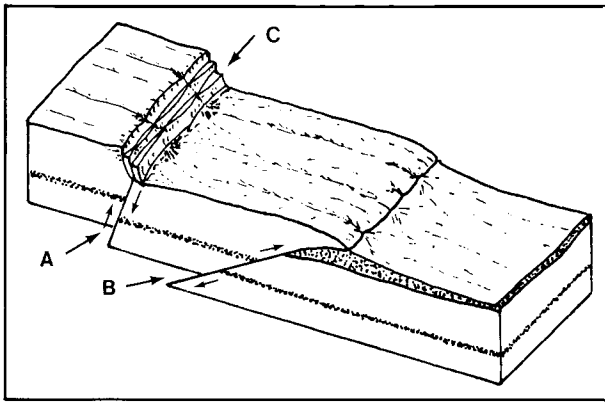


Afb. 7. Schematisch blokdiagram van een afschuiving.

## Breukvorming

Veel gesteenten, en daarbij vooral harde, competente gesteenten als zandsteen en kalksteen, vertonen vaak een samenstel van barsten. Dit systeem van barsten is veelal ontwikkeld in verschillende richtingen, doch vrijwel altijd staan de barsten loodrecht op het laagvlak van het gesteente. Dit barstensysteem toont vaak twee duidelijk ontwikkelde richtingen, deze kunnen soms fraai loodrecht op elkaar staan. Deze barsten heten diaklazen.

Langs de diaklazen is geen of vrijwel geen beweging opgetreden, gesteentestructuren zoals de laminatie (een fijne gelaagdheid) lopen ongestoord door. De diaklazen zijn soms gevuld met kwarts (in zandige gesteenten) of calciet (in kalksteen). De verwerking vindt in de diaklazen een prachtig aangrijpingspunt. De indrukwekkende verticale kolommen van bv. Monument Valley in Arizona ontstaan door de verwerking langs het diaklaassysteem in het gesteente.



Afb. 8. Opschuiving (A) en overschuiving (B).

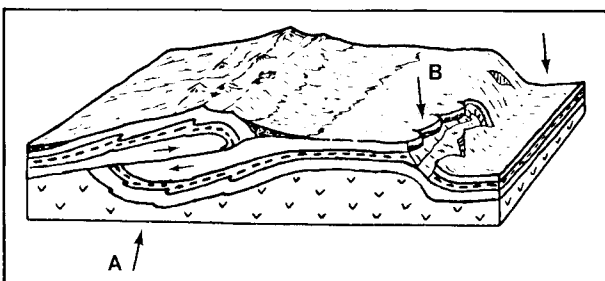
Een breuk is een barst in het gesteentepakket waarlangs de formaties aan weerszijden ten opzichte van elkaar zijn verplaatst, dit in tegenstelling met de diaklaas. Er zijn breuken bekend waarlangs verticale bewegingen hebben plaatsgevonden van 10 of 15 kilometer en er zijn breuken waarlangs horizontale bewegingen van vele honderden kilometers zijn aangetoond. Deze bewegingen ontstaan nooit in één keer; bij aardbevingen die worden veroorzaakt door een plotselinge beweging langs een breukvlak bedraagt de beweging veelal niet meer dan enkele centimeters of decimeters tot maximaal enkele meters.

De richting van een breukvlak wordt, zoals bij ieder vlak, bepaald door zijn helling en strekking (zie afb. 4). De richting van de beweging die langs het breukvlak heeft plaatsgevonden is veelal niet zo gemakkelijk te bepalen en in veel gevallen moet de geologische opbouw van een uitgestrekt gebied worden bestudeerd om een uitspraak te kunnen doen over de netto beweging: de "slip", ofwel de ware verplaatsing. Het mooiste is natuurlijk als er ter weerszijden van de breuk geologische structuren worden gevonden die na terugschuiving aan elkaar zouden passen.

## Breuktypen

Er komen twee hoofdtypen van breuken voor. In het ene type is de richting van de beweging langs het breukvlak evenwijdig aan de hellingsrichting van het breukvlak en vindt de beweging dus plaats in verticale richting. De andere mogelijkheid van beweging is in horizontale richting, evenwijdig aan de strekking van het breukvlak. Beide hoofdtypen van breuken worden weer onderver-

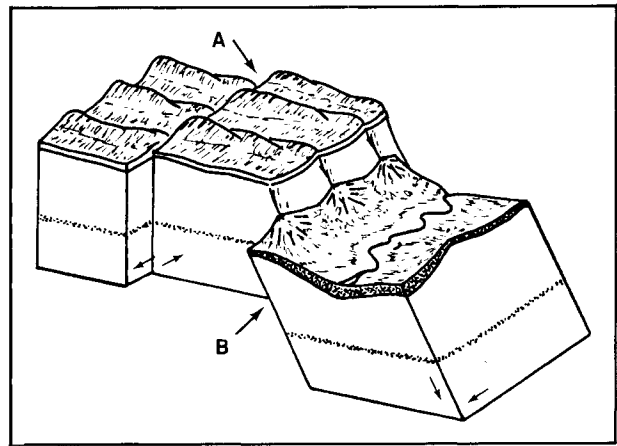
Afb. 9. Plooioverschuiving (A). Door de plooiing van gesteenten ontstaan o.a. rekspleten, waar de erosie gemakkelijk aangrijpingspunten vindt.



deeld in twee soorten. Bij het eerste type met de "hellen- de verplaatsing", de "dip slip" breuken, kan het blok boven het breukvlak relatief naar beneden zijn gezakt ten opzichte van het onderste blok; daarbij heeft de beweging dan plaats gevonden in de richting van de helling van het breukvlak. In dit geval spreken we van een afschuiving. Is de beweging tegengesteld aan de richting van de helling van het breukvlak dan is het bovenste blok opgeheven ten opzichte van het onderste blok en heet de breuk een opschuiving.

## Afschuiving

Bij een afschuiving treedt verlenging op van het gedeelte van de gesteenteserie die aan de breukbeweging heeft deelgenomen. De afschuiving en de resulterende verlenging wordt dan ook veroorzaakt door rekrachten die op dit gedeelte van de aardkorst hun invloed uitoefenden. De helling van het breukvlak van de afschuiving is veelal steil,  $45^\circ$  of meer. Aan het aardoppervlak komt een recent



Afb. 10. A: Linkslaterale horizontaalverschuiving. B: Afschuiving met horizontale component, ook wel horizontale transversaalverschuiving genoemd.

actieve afschuiving tot uiting als een steile rand, die vaak over een vrij grote afstand te volgen is: de breuklijntrap. Afb. 7.

Indien afschuivingen in meerdere aantallen voorkomen dan ontstaat een zogenoemde horst- en slenk-structuur. Deze komt ook voor in Zuidoost-Nederland, b.v. de Peelhorst en de Centrale Slenk. Sommige van de breuken van het slenksysteem van Brabant en Limburg zijn in het terrein te zien, bv. in het noorden van Zuid-Limburg (storing van Heerlerheide).

## Opschuiving

Bij de opschuiving vindt verkorting plaats, de opschuiving wordt veroorzaakt door compressiekrachten. De hoek die het breukvlak van een opschuiving met het horizontale vlak maakt is veelal minder dan  $45^\circ$ . Afb. 8A. Indien het breukvlak een zeer kleine helling tot een vrijwel horizontale ligging heeft dan wordt gesproken van een overschuiving. Afb. 8B. Een overschuiving kan ontstaan als een breuk; een andere mogelijkheid is dat de ombui-

ging van een liggende plooi breekt en de normale, bovenliggende vleugel op eigen gelegenheid verder gaat bewegen. Dan wordt gesproken over een plooioverschuiving. Afb. 9. Wordt het overschuivingsbedrag groot, in de orde van 5 kilometer of meer, dan wordt gesproken over een dekblad.

De Alpen worden gekarakteriseerd door het voorkomen van grote dekbladen, die soms enorme overschuivingsbedragen laten zien. In de Oostenrijkse Alpen zijn dekbladen bekend met overschuivingsbedragen van enkele honderden kilometers.

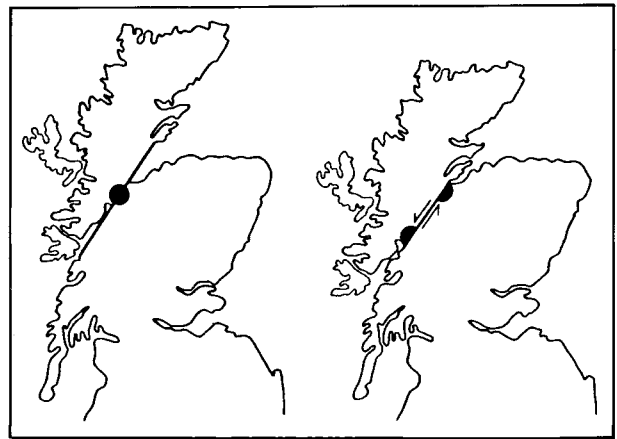
### Transversaalbreuken

De breuken met een bewegingsrichting evenwijdig aan de strekking van het breukvlak, de "strike slip" breuken, heten horizontale transversaalverschuivingen, ofwel ook kortweg horizontaalverschuivingen. Bij deze breuken bewegen stukken van de aardkorst langs elkaar heen. Ook de transversaalbreuken worden in twee soorten verdeeld, al naar gelang van de relatieve beweging van de twee blokken ten opzichte van elkaar. Staan we aan de ene kant van de breuk en verloopt de beweging van het blok aan de andere zijde van de breuk naar rechts, dus verplaatst het blok aan de andere kant zich naar rechts ten opzichte van het aardkorstgedeelte waarop we staan, dan is dit een dextrale- of rechts-laterale horizontale transversaalverschuiving. Beweegt het blok aan de overzijde van de breuk zich naar links dan betreft het een sinistrale- of links-laterale horizontaalverschuiving. Afb. 10.

Er zijn horizontaalverschuivingen bekend met spectaculaire waarden van bewegingsafstand en lengte van de breuk. Een bekende breuk is de San Andreas-breuk in Californië. De lengte van deze breuk bedraagt meer dan 1400 kilometer. De beweging langs de breuk bestaat reeds gedurende een zeer lange periode, de totale verplaatsing sinds Bovenjurassische tijd, dus over rond 140 miljoen jaar, bedraagt 550 kilometer. De gemiddelde snelheid ligt op het ogenblik op 5 centimeter per jaar!

Een der grote aardbevingen langs de San Andreas-breuk was die in 1906 waarbij San Francisco grotendeels werd verwoest. De schok betrof een beweging langs een deel der breuk die maximaal 7 meter bedroeg.

Het gedeelte ten westen van de breuk, die in noord-noordwestelijke – zuid-zuidoostelijke richting door Californië loopt, beweegt ten opzichte van het Noord-amerikaanse continent naar het noordwesten. De beweging van het continent is, ten opzichte van het westelijk deel, naar het zuidoosten, dus naar rechts. De breuk is dan ook een rechts-laterale transversale horizontaalverschuiving.



Afb. 11. Kaartje van de Great Glen-horizontaalverschuiving – een linkslaterale, waarlangs het gehele NW-deel van Schotland in ZW-richting is verplaatst. Links: vermoedelijke ligging van de granodiorietintrusie vóór de verschuiving; rechts: tegenwoordige situatie.

Een ander voorbeeld is de Great Glen-breuk die van het noordoosten naar het zuidwesten dwars door Schotland loopt. De sinistrale beweging langs de breuk vond plaats aan het einde van het Devoon en begin van het Carboon. Het verschuivingsbedrag bedraagt 105 kilometer en is te bewijzen aan het voorkomen van twee granietmassieven aan weerszijden van de breuk. Aan de noordzijde ligt de Strontian-graniet en aan de zuidkant de Foyers-graniet, die eenzelfde pluton vertegenwoordigen. Deze intrusie stamt uit de Caledonische fase van gebergtevorming in het Siluur. Afb. 11.

De breuk wordt getypeerd door een honderden meters brede zone van gebroken gesteente. Deze zone van breukbreccies is natuurlijk een plaats waar de erosie zijn werk gemakkelijk kan uitvoeren. In het gevormde dal bevinden zich een aantal langgerekte meren, onder meer Loch Ness.

### Enige literatuur

- A.J. Pannekoek en L.M.J.U. van Straaten (red.), *Algemene Geologie*; Wolters/Noordhoff, Groningen, 4e druk, 1984.
- D.G. Smith (red.), *Cambridge encyclopedie van de aardwetenschappen*; Romen, Bussum, 1983.
- B.G. Escher, *Grondslagen der Algemene Geologie*; Wereldbibliotheek N.V., Amsterdam-Antwerpen, 7e druk, 1948.
- A. Holmes, *Principles of physical geology*; Nelson, Londen, 1966.
- Diverse auteurs, *The Dynamic Earth* (themanummer *Scientific American*), sept. 1983, vol. 249, nr. 3.
- C. Biermann, *De bouw en ontwikkeling van de Zwitserse Alpen*; *Gea*, vol. 17 (1984) nr. 1.

## Het ei van Columbus

### Nogmaals: houder voor micromounts

**Materiaal:** Synthetisch schuim (piepschuim) of ander isolatie- of verpakkingsmateriaal, voor A en B (zie tekening);

A. ± 20 mm dikte, 90 x 90 mm,

B. ± 5 mm dikte, 120 x 120 mm;

een plastic schaalpje van de banketbakker voor sinaasappelgebak, voor C.

