

Plooiën en breuken

door drs. W.C.P. de Vries

Inleiding

Met de aardkorst wordt de dunne, letterlijk 'steenharde' laag aangeduid die de buitenste schil vormt van de aardbol.

De aardkorst lijkt stevig, opgebouwd uit een hard, bros en volledig onbuigzaam gesteentepakket. Toch vertonen de gesteenten duidelijk de sporen van beïnvloeding door krachten, die zowel van buitenaf op de gesteenten inwerken, als van binnenuit.

De vanbuiten werkende krachten zorgen voor de afbraak van de gesteenten, zij vormen onder meer het landschap. Dit zijn de **exogene krachten**.

De krachten die vanbinnen, uit de diepere delen van de aarde, op de aardkorst inwerken zijn de **endogene krachten**. De resultaten van de endogene krachten zien we in de deformatie van de gesteenten: aan verplooid en gebroken gesteentelagen. De oorspronkelijke positie, vorm en oriëntatie van de gesteenten en gesteentepakketten zijn onder invloed van de endogene krachten veranderd.

De endogene krachten hebben tot de verbeelding van de mensen gesproken. De onmogelijkheid om de krachten, die de soms zeer indrukwekkende plooistructuren van keiharde gesteenten veroorzaakten, 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 mede aanleiding geeft tot de vorming van spectaculaire landschapsvormen, blijft een diepe indruk maken.

Prachtige plooistructuren die in gesteenten te zien zijn werden, net als het vulkanisme, wel verklaard door aan te nemen dat de aarde vroeger veel heter was, dat daardoor de gesteenten plastisch waren en aldus als een dikke vloeistof konden stromen en verplooiën.

De processen die duizend miljoen jaar geleden gesteenten hebben verplooid zijn echter volledig vergelijkbaar met die welke tien miljoen jaar geleden inwerkten op de gesteenteformaties van de aardkorst; gesteenten worden in het algemeen niet plastisch.

Plooiën in gesteenten ontstaan in de meeste gevallen door compressiekrachten. De aardkorst wordt gedeformeerd doordat deze in continentale botsingszones in horizontale richting in elkaar wordt gedrukt. Of bij een dergelijke beweging gesteenten zullen breken of buigen is voornamelijk afhankelijk van de snelheid waarmee de botsingsbewegingen gepaard gaan.

De 'Rheid'-beweging

Het is mogelijk voor vast materiaal, dat ver onder zijn smeltpunt verkeert, om op een plastische wijze te bewegen, min of meer vergelijkbaar met de wijze van stroming van een (taai) vloeistof. Dit gedrag, dat geldt voor alle materialen op aarde, heeft een nieuwe tak van wetenschap, de *Rheologie*, ons geleerd.

Bij alle materialen is een vaste toestand en een vloeibare fase te onderscheiden, waarbij de vaste fase wordt getypeerd door het feit dat een bepaalde vorm altijd gehandhaafd blijft. Daarnaast hebben veel vaste materialen toch een zekere vervormingsmo-

gelijkheid. Wordt een bepaalde kracht op een voorwerp uitgeoefend dan kan dit vervormen, waarbij de oorspronkelijke vorm terugkeert als de kracht wordt opgeheven. Een ijzeren staaf kan vele malen worden gebogen, waarbij hij iedere keer weer terugkeert in zijn oorspronkelijke stand. Deze beweging valt in het gebied van de zogenoemde *elastische deformatie*. Als de spanning op de ijzeren staaf hoger wordt opgevoerd, zal er op een bepaald moment een permanente buiging optreden; dit is het gebied van de *plastische deformatie*. Wordt de kracht te snel en te sterk aangewend dan treedt *breuk* op.

De mogelijkheid tot plastisch deformeren komt echter bij weinig materialen voor, het is een typerende eigenschap van metalen. Als een gesteente wordt verbogen zal het in het algemeen, na een uiterst geringe mogelijkheid tot elastisch gedrag, direct overgaan in breuk.

De rheologie leert dat voor alle materialen geldt, dat er een plastische deformatie door een vloeïende beweging mogelijk is, waarbij het materiaal onder zijn smeltpunt verkeert en in zijn bereik van de elastische deformatie is. Dit is de **Rheid**-beweging. Voorbeelden komen in de natuur overal voor: een gesteente met mooi gelijkmatig rondgebogen lagen, of de gletsjer waar het keiharde ijs soms prachtige plooi patronen kan tonen, die vergelijkbaar zijn met die van een stromende vloeistof. Ijs geeft daarbij de meest duidelijke demonstratie van het feit dat vloeïing en plooiing optreedt zonder dat het materiaal plastisch wordt. Ijs gaat bij één bepaalde temperatuur direct over van de vaste in de vloeibare fase.

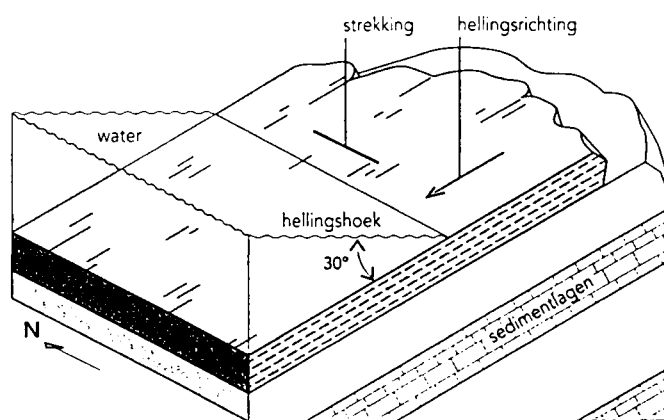
Voor het in gang zetten en in stand houden van een dergelijke Rheid-beweging is slechts een, relatief gezien, geringe kracht benodigd, die niet sterker mag zijn dan die welke voor de elastische deformatie nodig is. Deze kracht dient dan echter gedurende een lange tijdsperiode te worden gehandhaafd.

De Rheid-beweging is beperkt tot het elastische gebied. Het verschil met de elastische beweging daarbij is echter, dat de spanning op het voorwerp zo lang wordt vastgehouden dat het voorwerp niet terugkeert in zijn oorspronkelijke positie. Dan is dus in het gebied van de elastische deformatie toch een plastische vervorming opgetreden door zogenoemd viskeus vloeien. De Rheid-beweging is dus een permanente deformatie door een vloeïende beweging in het elastische gebied van het materiaal. Een Rheid-beweging treedt op als een relatief geringe kracht gedurende een voldoende lange tijd wordt uitgeoefend. Deze tijdsduur is afhankelijk van het materiaal. De benodigde tijdsduur om een elastische deformatie permanent te maken is de Rheid-factor, deze wordt uitgedrukt in seconden. Voor ijs is dit 10^6 sec., ofwel ongeveer 12 dagen. Voor de gletsjer houdt dit in de praktijk in dat een massa ijs na 12 dagen onder zijn eigen gewicht gaat vloeien zonder te breken. De vloeïende beweging van het gletsjerijs wordt dus aangedreven door de zwaartekracht; als de ijsbeweging eenmaal in gang gezet is zal deze ook gelijkmatig doorgaan als de omstandigheden niet veranderen. De Rheid-factor voor gips is twee jaar, voor steenzout vele jaren en vele miljoenen jaren voor gesteenten aan het aardoppervlak. Tijd is in de geologie echter ruimschoots voorhanden. Is de kracht groter, dan zal de reactie van het materiaal sneller moeten zijn en de beweging sneller moeten verlopen. Gaat de beweging sneller dan de Rheid-beweging toelaat dan treedt er breuk op.

In de praktijk worden gesteenten in twee groepen onderscheiden op basis van hun mogelijkheden zich te voegen naar de defor-

merende krachten. De groep die zich gemakkelijk kan richten naar het krachtenveld in de aardkorst en relatief gemakkelijk viskeus kan plooien is die der zogenoemde *incompetente* gesteenten. Daarnaast worden de hardere en brossere gesteenten, die naar verhouding eerder breukvorming te zien geven dan plooïing, de *competente* gesteenten genoemd. Een kwartsiet behoort tot de competente gesteenten, een schalie, gipslaag of mergel tot de incompetente.

Deformatie van een gesteentepakket kan het gemakkelijkst worden gezien aan een serie sedimentaire gesteenten, zoals zandsteen, kalksteen of schalie. Sedimenten hebben in het algemeen twee karakteristieke eigenschappen die deze observaties gemakkelijk maken: een sediment bestaat veelal uit lagen; de lagen zijn oorspronkelijk horizontaal neergelegd. 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. Plooïen in een gesteenteserie geven aan dat het pakket onderworpen werd aan samendrukkende krach-



Afb. 1. Bepaling van helling en strekking van een laag. De helling is de hoek met het horizontale vlak; in dit voorbeeld helt de laag 30° naar het westen. De strekking is de richting van de snijlijn van het te meten laagvlak en het horizontale vlak; de richting wordt gemeten ten opzichte van de magnetische noordpool en daarbij altijd over het oosten. In dit voorbeeld is dus de strekking noord-zuid, ofwel NO°E (het gradenteken wordt daarbij weggelaten). Helling en strekking worden op een kaart als volgt aangegeven:

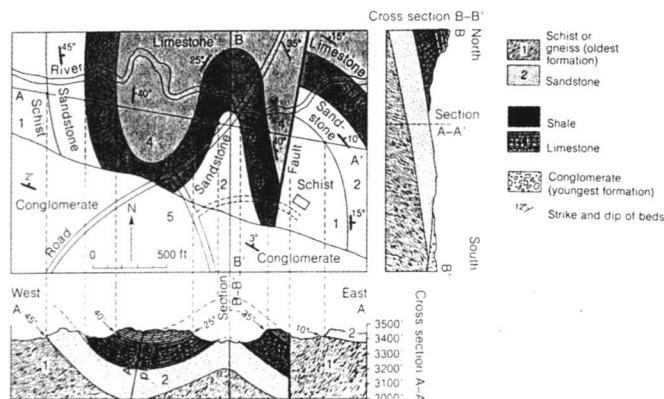


ten; breuken kunnen aangeven dat de aardkorst uit elkaar werd getrokken. De stand van een gesteentelaag is een uiterst belangrijk gegeven; daaraan kan worden vastgesteld welke bewegingen er hebben plaatsgevonden in het gesteentepakket waarvan de laag deel uitmaakt. Er kan worden achterhaald of de oorzaak van het hellen van de lagen een samendrukkende beweging is geweest, of een uiteengaande, of dat er een beweging langs een breuk heeft plaatsgevonden.

Voor het achterhalen van de oorzaak van de deformaties is het in de eerste plaats noodzakelijk dat er een systeem is dat de oriëntatie van structuren in gesteenten, zoals de stand van de laagvlakken en breukvlakken, kan vastleggen. Daarvoor worden de hellingshoek en de richting van het vlak gemeten.

Het meten van de hoek die het laagvlak van een gesteentelaag maakt met het horizontale vlak geeft de **helling** van de laag. De **strekking** van het laagvlak wordt aangegeven door de snijlijn van het laagvlak met het horizontale vlak; de richting van deze snijlijn wordt gemeten ten opzichte van het magnetische noorden en geeft de oriëntatie van de laag. Afb. 1. Het meten van

helling (*dip*) en strekking (*strike*) zijn de eerste basiswerkzaamheden aan een gesteente-ontsluiting in het veld. De zogenoemde 'helling- en strekkingstekens' komen in grote



Afb. 2. Geologisch kaartje met gesteenteformaties, de helling- en strekkingstekens en geconstrueerde verticale doorsneden (profielen).

aantallen op een geologische kaart voor, daaraan kan een belangrijk deel van de geologische structuur van het gebied worden afgelezen. Afb. 2.

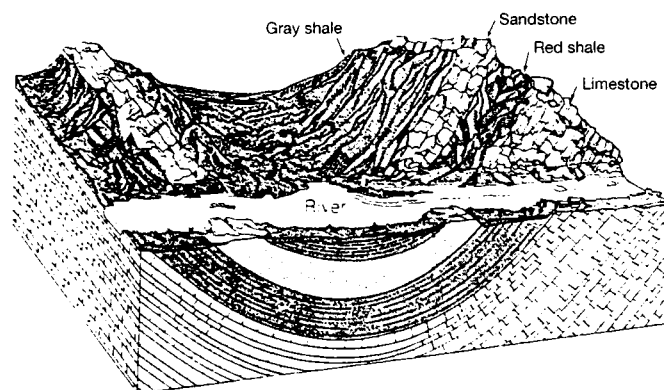
Plooïen

Een plooi is een golfing in het gesteentepakket. Plooïen 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.

De kenmerken van een plooi zijn natuurlijk het beste te bestuderen in een ontsluiting, bv. een groeve of wegnijding, 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 **anticlinale** genoemd (een geheugensteuntje: denk aan de letter A). Bij een anticlinale hellen de beide zijden van de boog van elkaar af, zij hellen van het hoogste punt van de structuur af. Foto A.

Is het laagpakket naar beneden geplooid tot een kom of trogvorm, dan hellen de zijanten naar elkaar toe; deze structuur is een **synclinale**. (Naast een associatie met 'zinken' kan ook



Afb. 3. Een zogenoemd blokdiagram van een synclinaal geplooid sedimentserie; aangegeven zijn de ontsluitingen en de interpretatie in een verticaal profiel.

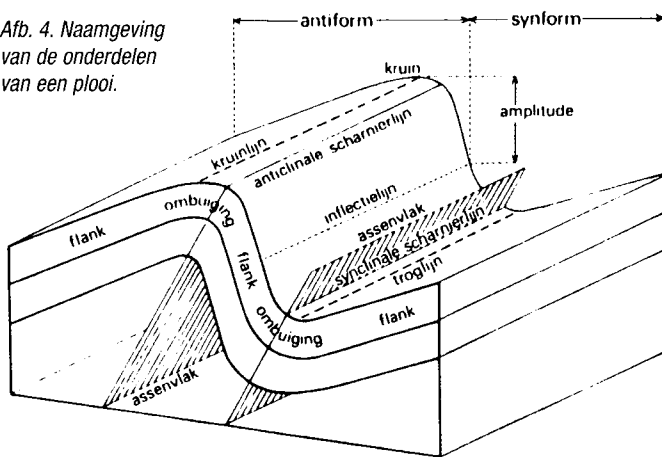
Foto A. Doorbroken anticline bij St.-Geniez, in de omgeving van Sisteron-Digne (Dauphinée, Fr.) Alleen delen van de flanken zijn door de erosie gespaard.



gedacht worden aan de letter Y; voor de anticlinale geldt dan dat deze de omgekeerde vorm is van die van de synclinale.) Voor beide plooivormen geldt dat de ouderdoms-volgorde van de geplooiden gesteenten wel bekend moet zijn: bij de anticlinale komen de oudste gesteentelagen voor in de kern van de plooï, bij de synclinale bevinden de jongste lagen zich in de kern van de plooï en vinden we naar de zijanten toe gaande steeds oudere lagen. Afb. 3.

Als er een anticlinale plooïvorm wordt gevonden waarvan de ouderdommen van de lagen niet te bepalen zijn, moet worden bedacht dat de structuur een onderdeel kan zijn van een ingewikkelde structuur, zoals in afb. 7 is voorgesteld. In de kern van de (overkipte) synclinale zijn niet de jongste, maar de oudste

Afb. 4. Naamgeving van de onderdelen van een plooï.



lagen aanwezig. De tekening van afb. 7 is een voorbeeld van een overkipte anticlinale plooï.

In het geval van onzekerheid over de ouderdommen van de gesteenten van een plooï wordt de term **synform** gebruikt. Pas nadat de ouderdomsrelaties zijn vastgesteld kan worden besloten of de structuur inderdaad een synclinale is. Analoog aan het gestelde ten aanzien van de synform, wordt ook gesproken van een **antiform** in het geval van een schijnbare anticlinale.

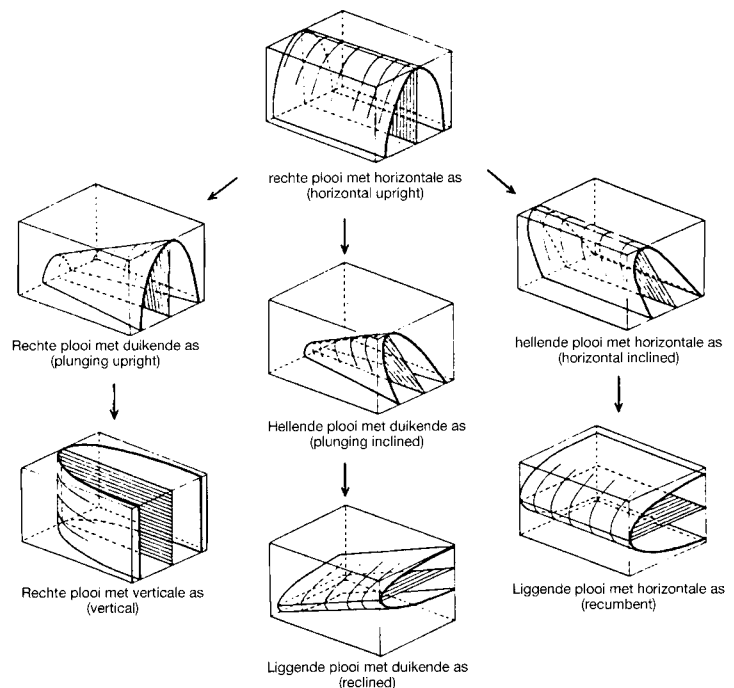
De twee zijanten van een plooï, ofwel de twee delen van de plooï die een minder sterke kromming tonen, heten de **flanken**. Het **scharnierpunt** is dat punt van de ombuïging van de geplooiden lagen dat de sterkste kromming toont. Het vlak dat door de plooïstructuur kan worden getrokken en dat de hoek tussen de flanken zo goed als mogelijk is middendoor deelt heet het **assenvlak**. De snijlijn tussen dit assenvlak en de ombuïging van een laag van de plooï is de as van de plooï, ook genoemd de

plooias. Van het assenvlak kan de positie en de stand worden aangegeven door de helling en de strekking van het vlak. Op een geologische kaart wordt echter veelal alleen de plooias aangegeven. Afb. 4.

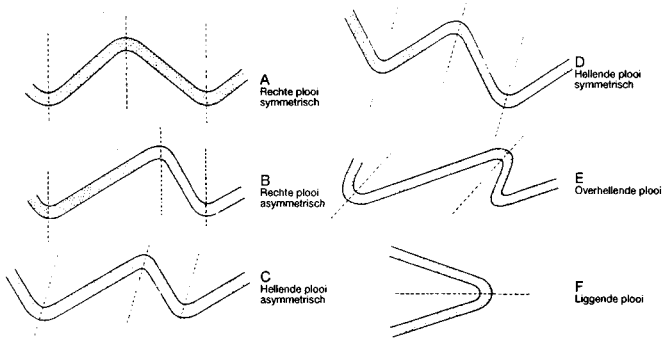
Typen van plooïen worden onderscheiden door de stand van het assenvlak, de richting van de plooias en de stand van de flanken. Afb. 5 en 6.

- Een plooï met flanken van gelijke grootte heet **symmetrisch**, dit ter onderscheid van een **asymmetrische** plooï met flanken van ongelijke grootte. Afb. 6 A en B.
- Een plooï met verticaal assenvlak en een horizontale plooias is een rechte plooï. Staat het assenvlak niet verticaal dan wordt gesproken over een hellende plooï. Afb. 6 D.
- Is de helling van het assenvlak zeer groot, ligt deze dus vrijwel horizontaal, dan is de structuur een liggende plooï. Afb. 6 F.

Bij een liggende plooï worden onderscheiden een bovenste flank of **bovenvleugel** waarin, in het geval van een liggende anticlinale, een normale gesteenteepeenvolging optreedt van oud onder



Afb. 5. Indeling van plooïen op grond van de stand van het assenvlak en de helling van de plooias (de asduiking).



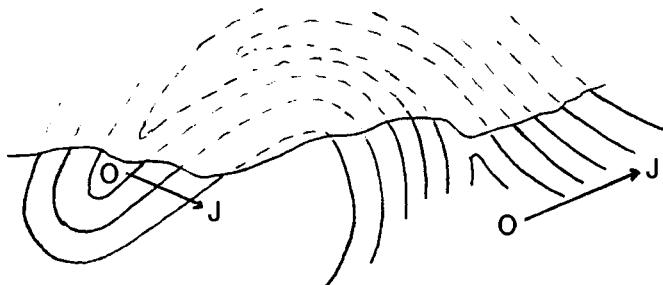
Afb. 6. Indeling van plooïen naar de stand van het assenvlak.

naar jong boven. De onderliggende flank of *omgekeerde vleugel* toont een op zijn kop liggende gesteenteserie, ofwel een *overkijpte serie*. Afb. 7.

- De plooïas is veelal niet horizontaal, doch helt. Bij een duidelijke hellingshoek van de plooïas wordt gesproken van een *duikende plooï*. Bij een duikende plooï zullen de lagen aan het aardoppervlak op een bepaald punt van de ene flank naar de andere flank omlopen, hier 'sluit' de duikende plooï zich. Afb. 8. Een plooï kan naar twee kanten duiken. Een bepaald type van de naar twee zijden duikende anticlinale heet een *dome*, een naar twee kanten duikende (of beter: oprijzende) synclinale wordt *trog*, *schoteltrog* of beter: *bekken*, genoemd.

- De grootte van de hoek tussen de flanken geeft een hele rij van namen: open, dicht, tot isoclinaal, bij welk laatstgenoemde type plooï de flanken evenwijdig aan elkaar zijn. Afb. 9.

- De vorm van de ombuiging van de plooï kan rond zijn of scherp. In het laatstgenoemde geval spreekt men van *chevronplooïen* of *zig-zagplooïen*.



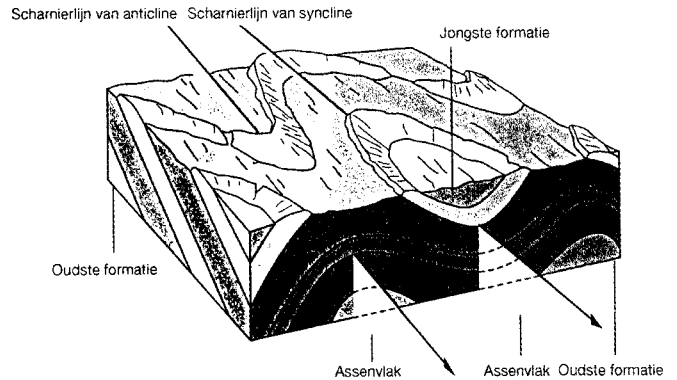
Afb. 7. De synform links is de kop van een overkijpte anticlinale (o = oudste laag; j = jongste).

Plooiïvorming: structuren die tijdens de plooiïing ontstaan

Als een pakket gesteentelagen wordt verplooid zullen de lagen over elkaar heen moeten schuiven. U kunt het bewijs zelf vinden door een boek te plooiën, dan ziet u dat de bladen aan de zijkant niet meer recht boven elkaar liggen. De schuifbeweging langs laagvlakken bij plooiïing komt tot uiting in de zogenoemde wrijfspiegels (*slickensides*). Dit is een evenwijdige streping op een bewegingsvlak, deze streping kan bestaan uit sterk uitgerekte calciet- of kwartskristallen, een asbestlaag, enz. Een wrijfspiegel komt ook voor op breukvlakken. Het schuiven van gesteentelagen genereert warmte, die meehelpt met het metamorfoserende van de plooiende gesteenteserie.

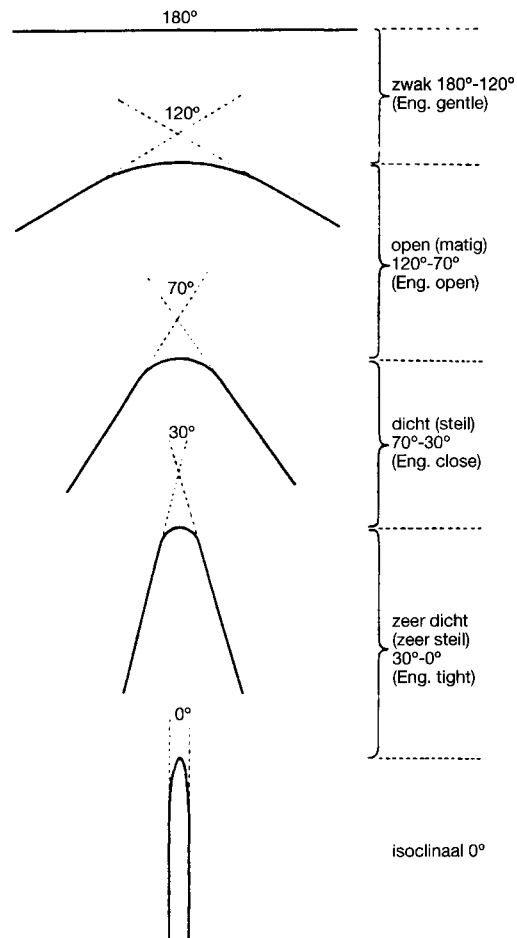
Een tweede verschijnsel dat gezien kan worden bij het buigen van een boek is, dat de plooi in de kern veel scherper is dan bovenaan de papierstapel (bij een antiform). Als u deze plooi

naar beneden en naar boven zou gaan voortzetten dan wordt de plooi naar beneden toe steeds scherper, totdat er geen ruimte meer is voor een volgende laag. Naar boven toe gaande wordt de plooi steeds minder scherp en steeds groter.



Afb. 8. Diagram van een serie duikende plooïen.

Het zal duidelijk zijn, dat er op deze wijze geen kilometers-dikke serie gesteentelagen kan worden verplooid. Deze situatie treedt op als de lagen van het geplooid pakket tijdens de plooiïing hun dikte behouden; een dergelijke plooi wordt een *afstandsgetrouwe plooi* genoemd. Afb. 10 A. Een gesteentepakket dat zich plooiït met een afstandsgetrouwe plooi komt dus in grote problemen. Vooral in de kern van de plooi is dit duidelijk: er zullen gesteentelagen breken in plaats van plooiën. Deze structuren komen voor bij verplooiïing van harde, competente, gesteenten, zoals zandsteen en kalksteen. Plooiën



Afb. 9. Indeling van plooïen naar de sluitingshoek van de flanken.



Afb. 10. A. (links) Afstandsgetrouwe plooï; B. (rechts) Vormgetrouwe plooï.

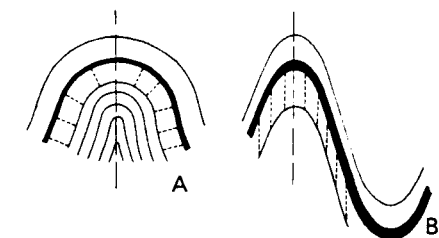
die dit soort problemen tonen zijn op vele plaatsen fraai te zien in de Ardennen en de Eifel. Foto B en C.

Er is een andere plooivorm, waarbij wél zonder problemen dikke series sedimenten kunnen worden verplooid. Dit is de *gelijkvormige plooï* of *vormgetrouwe plooï*. Afb. 10 B. Een plooï kan zich alleen naar boven en naar beneden tot in het oneindige voortzetten, als de vorm van de laagvlakken van de geplooid gesteenten altijd gelijk blijft (zie de afbeelding). Dit houdt echter in dat de flanken van de plooï dunner moeten zijn dan de plooikoppen, ofwel dat de plooïkop wordt verdikt ten opzichte van de flanken.

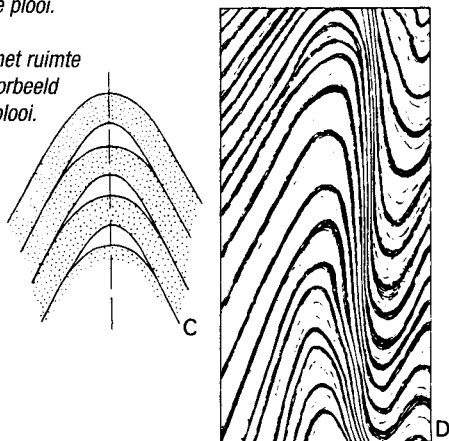
Een dergelijke structuur kan worden verwacht bij incompetent gesteenten, waar voor te stellen is dat er beweging van materiaal van de flanken naar de plooikoppen toe mogelijk is. Harde, competente gesteenten zullen zich niet zo gemakkelijk kunnen aanpassen door dikker of dunner te worden. Een mogelijkheid tot de vorming van een soort vormgetrouwe structuur is om in de plooïkopen ruimte open te laten (zie afb. 11 C). Deze situatie komt wel voor, maar in het algemeen wordt iedere ruimte door de gesteentedruk dichtgedrukt. In een geplooid pakket zijn soms kwartsaders aanwezig die de vorm hebben van de vulling van een plooïkop. Hieruit blijkt, dat er in plooïkopen soms wel ruimte kan ontstaan.

Een ideale oplossing van de overgang van een oorspronkelijk horizontale en overal even dikke laag gesteente naar een gelijkvormige plooï vertoont kleig sediment dat wordt geplooid en gemetamorfoseerd.

Een kleig sediment bestaat oorspronkelijk grotendeels uit kleimineralen. Deze zijn plaatvormig en gerelateerd aan de mica's,

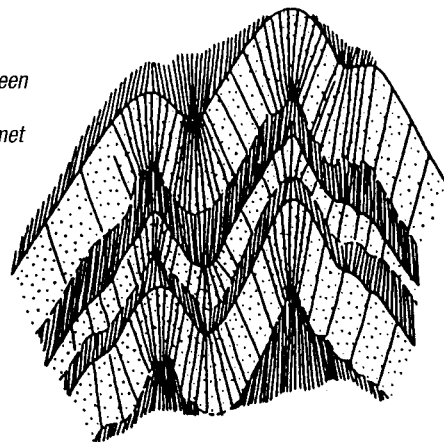


Afb. 11. A. Concentrische plooï.
B. Gelijkvormige plooï.
C. Vormgetrouwe plooï met ruimte in de plooïkopen. D. Voorbeeld van een vormgetrouwe plooï.



ofwel de glimmermineralen. Bij metamorfose ontstaan uit de kleimineralen leden van de glimmerfamilie, zoals sericiet, chloriet, muscoviet en biotiet. De gerichte druk tijdens de metamorfose heeft als resultaat dat de nieuwgevormde glimmerplaatjes zich oriënteren in een richting die loodrecht is op de drukrichting. De 'vervorming' van een overal even dikke laag tot een met verschillende dikte in de gelijkvormige plooï wordt bereikt, doordat de glimmers evenwijdig aan zichzelf gaan verschuiven. Dit kan worden voorgesteld door de laag in dunne plakjes te verdelen, loodrecht op de drukrichting, en deze plakjes ten opzichte van elkaar te verschuiven. Het verschuiven gaat langs een serie van evenwijdige breukjes, het breukvlak wordt gevormd door evenwijdig liggende glimmerplaatjes. Deze breukjes zijn in het gesteente zichtbaar als de *leisplijting*. Afb. 12.

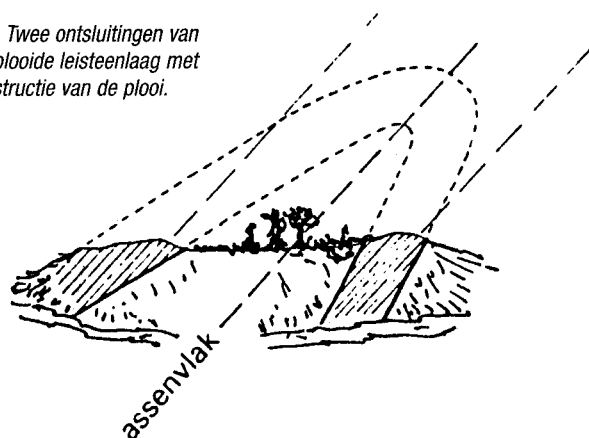
Afb. 12. Afwisseling van een gebroken zandsteenlaag (gestippeld) en leisteen met leisplijting.



De richting van de leisplijting is dwars op de richting van de samendrukkende kracht, de splijting staat ook min of meer evenwijdig aan die van het assenvlak van de plooï. Uit de oriëntatie van de leisplijting ten opzichte van het oorspronkelijke laagvlak is, ook in een kleine ontsluiting, de plaats in de plooï te vinden. Ook kan er een idee worden verkregen of men te maken heeft met een synclinale of een anticlinale plooï en over de oriëntatie van deze plooï (zie afb. 13).

Het optreden van leisplijting betekent dat er nieuwe mineralen in het gesteente zijn ontstaan, die een andere oriëntatie hebben dan de oorspronkelijke kleimineralen. Dat leisplijting en gelaagdheid samenvallen komt wel eens voor, maar het is een uitzonderlijke situatie.

Afb. 13. Twee ontsluitingen van een geplooid leisteenlaag met de constructie van de plooï.



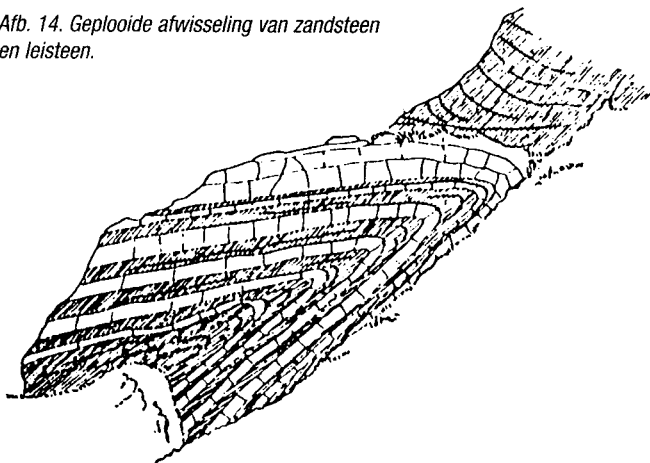
Hieruit volgt dat de *leisplijting veelal niets te maken heeft met de oorspronkelijke gelaagdheid*. Hieruit volgt ook dat bij doorgaande, steeds toenemende graad van metamorfose de gesteenten die uit de leisteen ontstaan, zoals glimmerschist en gneis, evenwijdige structuren tonen, zoals schistositeit, banding en foliatie, die in het algemeen ook geen enkele relatie hebben tot de oorspronkelijke gelaagdheid van de sedimenten.



Foto B. Het gebied van Lus-la-Croix-Haute, Jarjatte, St.-Julien-en-Beauchaine aan de N 75 (dept. Drôme en Hautes-Alpes) wemelt van prachtige voorbeelden van synclines en anticlines. Ten zuiden van Lus is deze anticline, met een Jura-kern, vanaf de hoofdweg al zichtbaar. Het verschil tussen de harde, competente lagen en de zachtere, plooibare incompetent lagen is duidelijk te zien.

Het vinden van het laagvlak in een leisteenpakket is veelal zeer moeilijk, een ideale hulp is een inschakeling van een zandsteenlaag tussen de leisteenlagen, deze geeft de gelaagdheid goed aan. Dit fenomeen is op veel plaatsen in de Ardennen en de Eifel mooi te zien. Afb. 14.

Afb. 14. Geplooiide afwisseling van zandsteen en leisteen.



Breukvorming; diaklazen en breuken

Diaklaas

Veel gesteenten, en daarbij vooral harde, competente gesteenten als zandsteen en kalksteen, vertonen vaak een samenstel van breukjes of barsten. Dit barstensysteem toont vaak twee duidelijk ontwikkelde richtingen, deze kunnen soms fraai loodrecht op elkaar staan. Deze barsten heten **diaklazen**. Langs de diaklazen heeft geen of vrijwel geen beweging plaats gevonden; gesteentestructuren zoals de laminatie, bijvoorbeeld van de kruisgelaagdheid, lopen vrijwel ongestoord door. De diaklazen zijn soms gevuld met kwarts (in zandige gesteenten) of calciet (in kalksteen).

Breuk

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 meer dan 10 kilometer en er zijn breuken waarlangs horizontale bewegingen van vele honderden kilometers zijn aangetoond. Deze verplaatsing ontstaat nooit in één keer. Per keer bedraagt een beweging veelal niet meer dan enkele centimeters of decimeters tot in een enkel geval enkele meters.

De richting van een breukvlak wordt, zoals bij ieder vlak, bepaald door zijn helling en strekking. De richting van de beweging die langs het breukvlak heeft plaatsgevonden is, vooral bij breuken met een grote verplaatsing, veelal niet zo gemakkelijk te bepalen. 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 terugschuiven aan elkaar gepast kunnen worden. Zie ook afb. 18.

Breuktypen

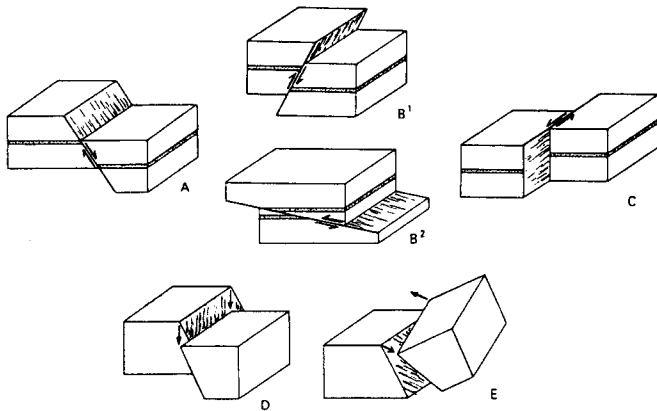
Er komen twee hoofdtypen van breuken voor. In het ene type is de richting van de beweging langs het breukvlak evenwijdig aan de hellingsrichting van het breukvlak en vindt de beweging dus plaats in verticale richting. De andere mogelijkheid van beweging is in horizontale richting, evenwijdig aan de strekking van het breukvlak. Er zijn ook breuken met een schuin verlopende bewegingsrichting.

Beide hoofdtypen van breuken worden weer onderverdeeld in twee soorten. Bij het eerste type met de 'verplaatsing in de richting van de helling', 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*. Bij een afschuiving wordt de gesteenteserie waarin de breuk zich bevindt langer. 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*. Afb. 15.

- 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 worden dan ook veroorzaakt door rekkrachten die op dit gedeelte van de aardkorst hun invloed uitoefenden. De helling van het breukvlak van de afschuiving is veelal steil, 45° of meer. Aan het aardoppervlak komt een recent actieve afschuiving tot uiting als een steile rand, die vaak over een vrij grote afstand te volgen is, de *breuklijntrap*.

Indien afschuivingen in meerdere aantallen voorkomen dan ontstaat een zogenoemde horst- en slenkstructuur. Afb. 16. Deze komt ook voor in zuidoost Nederland, bv. de Peelhorst en de Centrale Slenk. Sommige van de breuken van het slenk-



Afb. 15. Indeling van breuken: A. afschuiving; B1. opschuiving; B2. overschuiving; C. dextrale horizontaal-verschuiving; D. schuine afschuiving; E. draaiende beweging.

teem van Brabant en Limburg zijn in het terrein te zien, bv. de storing van Heerlerheide in het noorden van Zuid-Limburg.

- Opschuiving

Bij de opschuiving vindt verkorting van de aardkorst plaats; een opschuiving wordt veroorzaakt door compressiekrachten die in horizontale richting werken. De hoek die het breukvlak van een opschuiving maakt met het horizontale vlak is veelal minder dan 45°.

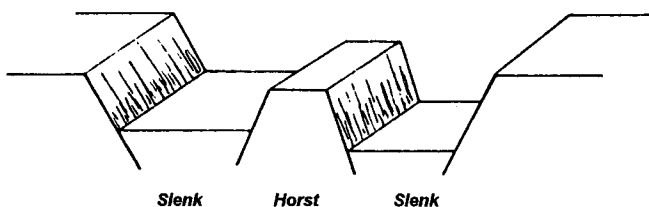
- Overschuiving

Indien het breukvlak een zeer kleine helling heeft tot een vrijwel horizontale ligging dan wordt gesproken van een overschuiving. Een overschuiving kan ontstaan wanneer een opschuiving overgaat in een vlakke beweging; een andere mogelijkheid is dat de ombuiging van een liggende plooï breukt en de normale, bovenliggende vleugel op eigen gelegenheid verder gaat bewegen. Dan wordt gesproken over een plooioverschuiving. Wordt het overschuivingsbedrag groot, in de orde van 5 kilometer of meer, dan wordt gesproken over een dekblad. Het Europese Alpengebied wordt gekarakteriseerd door het voorkomen van grote dekbladen, die soms enorme overschuivingsbedragen laten zien van enkele honderden kilometers. Afb. 17 en foto D.

- Transversaalbreuken

Breuken met een bewegingsrichting evenwijdig aan de strekking van het breukvlak (dus een horizontale beweging) heten *strike slip*-breuken, ofwel *horizontale transversaalverschuivingen*, kortweg *horizontaalverschuivingen*. Bij deze breuken bewegen stukken van de aardkorst langs elkaar heen.

De transversaalbreuken worden ook in twee soorten verdeeld, al naar gelang 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 verschuiving.

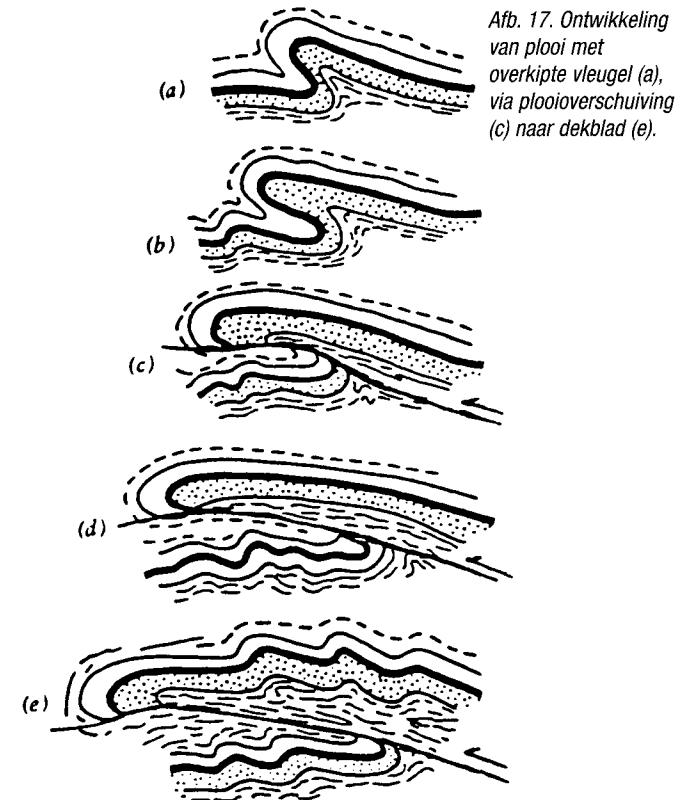


Afb. 16. Horst- en slenkstructuur.

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 Boven-Jurassische tijd, dus over rond 130 miljoen jaar, bedraagt 550 kilometer. De gemiddelde snelheid ligt op het ogenblik op 5 centimeter per jaar!

Een van de grote aardbevingen langs de San Andreas-breuk was die in 1906, waarbij San Fransisco grotendeels werd ver-



Afb. 17. Ontwikkeling van plooï met overkopte vleugel (a), via plooioverschuiving (c) naar dekblad (e).

woest. De schok betrof een beweging van maximaal 7 meter langs een deel van de breuk.

Het gedeelte ten westen van de breuk beweegt ten opzichte van het Noord-Amerikaanse continent naar het noordwesten, dus naar rechts. De breuk is dus een 'rechts-laterale transversale horizontaalverschuiving'.

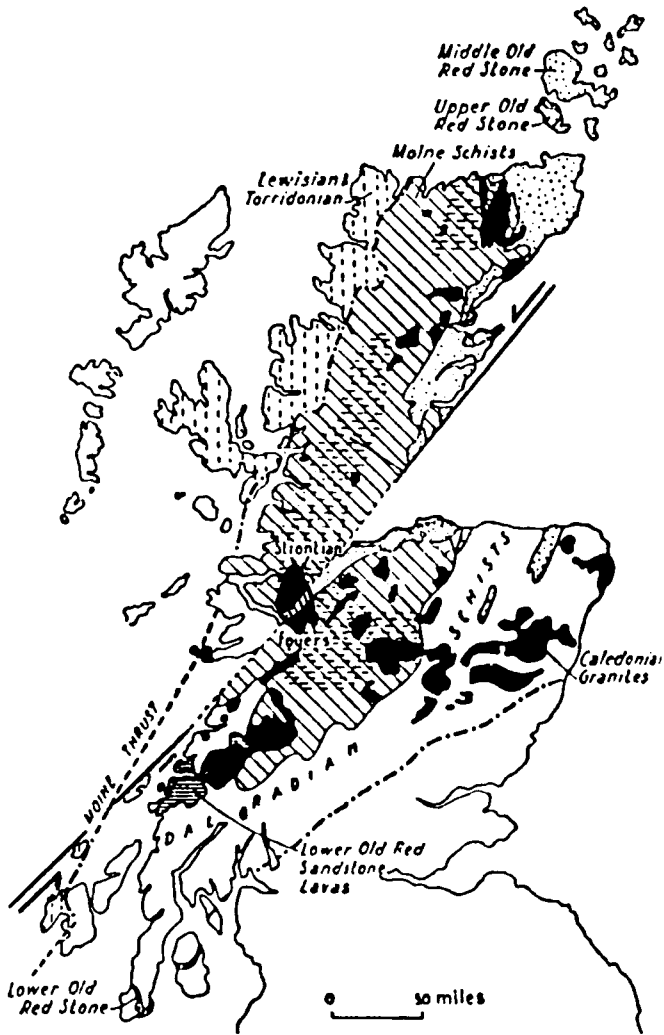
- Een ander voorbeeld is de Great Glen-breuk, die van het noordoosten naar het zuidwesten dwars door Schotland loopt. De sinistrale beweging langs de breuk vond plaats aan het einde van het Devoon en het begin van het Carboon. Het verschuivingsbedrag bedroeg 105 kilometer en is te bewijzen aan het voorkomen 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. 18.

De Great Glen-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. Vooral de gletsjers die tijdens de Pleistocene koudeperiodes Schotland bedekten hebben deze *shatter belt* diep kunnen uitschuren. In het gevormde gletsjerdal bevinden zich een aantal zeer langgerekte meren, onder meer Loch Ness.

gen steeds een deel uit het uitgebreide geologische interessegebied oppakken.

“De morfologie van de Frans-Zwitserse Jura” door dr. Kasse was zo’n specialistenlezing.

Redactie



Afb. 18. Schotland voor de verschuiving van het noordelijk gedeelte langs de Great Glen Fault.



Foto C. Een flexuur: een monoclinale ploi (met één flank). Een tussenvorm tussen ploi en breuk. Omgeving Frommelennes in de Ardennen.

Foto's: P. Stemvers

“Plooiën en breuken” is een fragment uit “Inleiding in de Geologie”, de op schrift gestelde versie van de Basis cursus Algemene Geologie, die Wim de Vries nu al jaren lang in het Museon te 's-Gravenhage verzorgt.

Een andere jaarlijks in het Museon terugkerende lezingenserie is de zg. Specialistenserie, waarin gespecialiseerde geolo-



Foto D. In de omgeving van St.-Maurice (Zw.), bevindt zich de Dent de Morcles. In de top hiervan komt de omgekeerde vleugel van een dekblad voor: op o.a. Tertiaire afzettingen liggen oudere mariene sedimenten, die naar boven toe in het profiel jonger worden