

DICK NIEUWLAND EN BERND ANDEWEG

(ANDB@GEO.VU.NL)

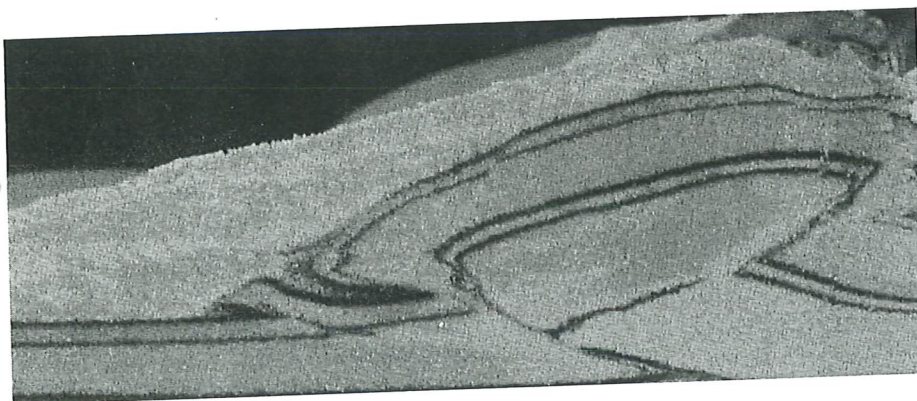
AFDELING TEKTONIEK/STRUCTURELE GEOLOGIE,

VRJE UNIVERSITEIT AMSTERDAM

GEOLOGISCHE STRUCTUREN ALS BERGEN HEBBEN ALTIJD TOT DE VERBEELDING GESPROKEN.
DE STERK GEPLOOIDE LAGEN DIE WE KUNNEN ZIEN IN ALLE GEBERGTE ZIJN EEN BEWIJS VAN
DE BOTSING VAN CONTINENTEN. HET ZAL DUIDELIJK ZIJN DIT GEPAARD MOET ZIJN GEGAAN
MET ENORME BEWEGINGEN, KRACHTEN EN SPANNINGEN. EÉN GROTE BERG TOEGEPASTE
NATUURKUNDE!

NATUURKUNDE IN DE ZANDBAK

GEOLOGISCH MODELLEREN AAN DE VRIJE UNIVERSITEIT



Doorgesneden experiment.

We zien helaas steeds maar een betrekkelijk klein stukje van een groot gebergte en alleen het stadium waarin het gebergte zich nu bevindt. En dat terwijl een beetje gebergte er meerdere miljoenen jaren en heel wat aardbevingen over doet om zich te vormen. Kunnen we er achter komen hoe zo'n gebergte er in drie dimensies uit ziet, of hoe het in de loop van de tijd ontstaat? Ja, dat kan zelfs thuis! Na een beschrijving van hoe aardwetenschappers (geologen) dit op de VU wat professioneler bestuderen, volgen aanwijzingen voor hoe in de les of thuis de San Andreas breuk of de Pyreneeën kunnen worden nagemaakt!

Een voor de hand liggende methode om de ontwikkeling in tijd en ruimte van een gebergte te analyseren is een computersimulatie (ook wel numeriek modelleren genoemd). Computers zijn tegenwoordig krachtig genoeg om een stevig wiskundig model versneld door de tijd heen te laten vervormen. Daarbij worden randvoorwaarden door de gebruiker ingevoerd. Dat is een fundamenteel probleem: een computermodel bootst de werkelijkheid na, en het is afhankelijk van programma en gebruiker of dat wel volgens de natuurwetten gebeurt.

Een methode die al gebruikt werd voor we goede computers hadden, is mede daardoor de laatste tijd weer in hernieuwde belangstelling gekomen: modellen die uit natuurlijke materialen opgebouwd zijn (zogenaamde analoge modellen). Deze modellen, in de 'volksmond' zandbakmodellen genoemd, hebben twee grote voordelen ten opzichte van de computersimulaties:

1. Een bak met zand en klei lagen gedraagt zich keurig volgens de natuurwetten zoals zwaartekracht, materiaal-eigenschappen, wrijving, verhouding tussen spanning en vervorming etc.
2. De resolutie (het detail dat kan worden waargenomen) van een analoge model op basis van zand, is de grootte van de gebruikte zandkorrels. De resolutie van een computer model is afhankelijk van de grootte van de rekenelementjes die gebruikt zijn. Als een heel gebergte bekeken wordt, kan (om de rekentijd een beetje binnen de perken te houden) alleen op een schaal van tientallen kilometers.

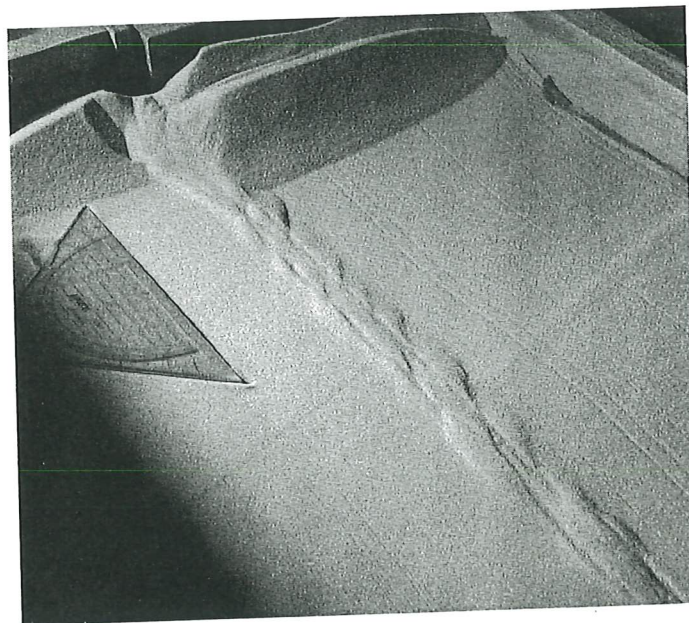
Steeds weer terugkerende vragen zijn: "Hoe is het mogelijk dat gesteente-

ten nagebootst kunnen worden met los zand en ander materiaal?" en "Zijn de modellen wel op schaal?"

Voor een goed antwoord is het nodig om eerst duidelijk te maken met wat voor gesteente typen we in de praktijk te maken hebben. In principe kunnen we drie soorten gesteenten onderscheiden naar hun mechanische eigenschappen: breekbaar (bros), kneedbaar en vloeibaar (ductiel). Deze eigenschappen worden door geologen volledig natuurkundig benaderd. Het gaat echter te ver om in dit artikel in te gaan op elasticiteit, spannings-afhankelijke vervorming, visco-elasticiteit en creep-mechanismen (zie

daarvoor de referentie). We beperken ons in dit artikel verder tot de bovenste kilometers van de Aarde, de korst. Voor lagen in de aarde dieper dan de korst (mantel), zijn ook analoge materialen gevonden, denk bijvoorbeeld aan dikke stroop. Maar die proeven zijn een stuk ingewikkelder, aangezien dan ook de dichtheden onderling moeten kloppen om de korst ook op de mantel te laten drijven.

Bij ineendrukking (compressie) of uitrekking (tensie) breekt een pakket zandsteen of kalksteen: brosse deformatie noemen geologen dat. Voor een sterk gesteente is meer kracht nodig om het te vervormen dan voor een zwak gesteente, maar de resulterende vormen en vervormingsprocessen zijn bijna identiek. Droog, los zand gedraagt zich mechanisch als een breekbaar gesteente. Het is altijd weer verbazend als in een experiment heel duidelijke breuklijnen in droog los zand



De San Andreasbreuk.

vormen. Gesteente, en dus ook zand, is minder sterk onder uitrekking dan onder indrukking, dat is bij de proeven direct waar te nemen. Kneedbaar is bijvoorbeeld zachte klei. Het kan gekneed worden en blijft de geknede vorm goed behouden, ook na verloop van enige tijd. Zulke klei komt tot vrij diep onder de grond nog voor, tot zo'n 3000m diep is het nog wel te vinden. Voor kneedbare gesteenten gebruiken we een zachte, niet vloeiende olie/water emulsie (zeer hoge viscositeit). Als analoog voor het vloeibare steenzout wordt 'silicon-putty' gebruikt (lage viscositeit, $2,0 \times 10^4$ Pa s). Dit is een materiaal dat verschillend reageert op vervorming naar gelang de snelheid waarmee het gebeurt. Als je er een korte ruk aan geeft, breek je een stukje af. Maak je er een bolletje van, dan zal het binnen een paar minuten onder invloed van de zwaartekracht veranderen in een plat rondje. Het vloeit dus op langere tijdschaal. Aangezien geologen al snel in duizenden of miljoenen jaren denken, zijn er materialen die op die tijdschaal vloeien, steenzout bijvoorbeeld. De ondergrond van Nederland en West Europa zit daar vol mee!

De eigenschappen van deze materialen zijn zorgvuldig gemeten in ons laboratorium en worden gebruikt om de experimenten met de juiste vervormingssnelheid te doen. Op deze manier zorgen we ervoor dat de experimenten steeds op schaal zijn en blijven.

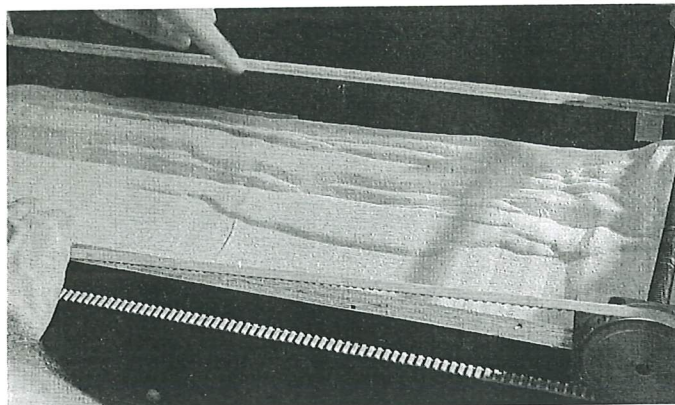
Door het gebruik van een pakket opgebouwd uit materialen van deze drie typen is het mogelijk om op analoge wijze de Alpen na te bouwen. Het is echter nooit de bedoeling de natuur na te maken, er wordt meer fundamenteel onderzoek gedaan. Verschillende parameters zijn belangrijk in het experiment: de snelheid van vervorming (strain rate), de dikte van de pakketten, de hoek van de basis van het experiment, de basale wrijving van het experiment.

Door steeds een enkele parameter te veranderen in een proef en de rest gelijk te houden zien we de invloed die dat heeft op vragen als: tot hoe ver van het verschuivende deel van de bak reikt de vervorming? In welke volgorde ontstaan breuken? Hoe dik (hoe hoog) wordt het gebergte? Bouwt er zich een hoge spanning op die zich ineens ontlaaft (grote aardbeving) of zijn er steeds kleine bewegingen (kleinere aardbevingen)?

Om de resultaten van een experiment te bekijken kunnen er foto's gemaakt worden van het oppervlak en het experiment kan na afloop worden doorgesneden om van binnen te bekijken (eerst voorzichtig nat maken). Zo is het jarenlang gedaan en kun je het zelf ook thuis doen, maar er kleven nadelen aan deze manier.

Als je model hebt doorgesneden is het experiment over. Als je de vervorming in drie dimensies en door de tijd (eigenlijk 4D dus!) wilt bekijken, is er een meer geavanceerde methode nodig. Hiervoor gebruiken we op de VU een Computed Tomograaf (CT) scanner. Dergelijke scanners worden door ziekenhuizen gebruikt om met behulp van een aantal evenwijdige röntgen doorsneden een 3D beeld van het inwendige van een mens te krijgen, b.v. bij botbreuken of bij hersenonderzoek. Zo'n scanner werkt ook erg goed bij onze analoge modellen: op de plek waar breuken ontstaan, komt meer ruimte tussen de zandkorrels, dat kan door de scanner worden waargenomen. We gaan voor dergelijke scans naar de afdeling radiologie van het VU ziekenhuis. Met CT scans kunnen we de ontwikkeling van onze modellen met groot detail in 3D en in de tijd waarnemen. Een opeenvolging in de tijd is te zien op de web site van het lab (<http://www.geo.vu.nl/sandbox>). De resultaten worden opgeslagen in een uiterst krachtige computer met speciale programma's voor het interpreteren en analyseren van de 3D gegevens, zgn. seismische werkstations.

Een andere manier om het verloop van het experiment te bestuderen is het maken van video-laser scans. Met een geavanceerde video-laser (een laser en twee digitale video camera's) kan een 3D hoogte kaart van de bovenkant van een model gemaakt worden. Deze kaarten hebben een resolutie van 0.1mm, heel erg nauwkeurig dus. Hoewel deze scans niet in het model kunnen kijken zoals de CT scans, hebben de laser scans het voordeel dat de resolutie van de oppervlakte beelden erg hoog is. Bovendien kunnen de scans eenvoudig en heel snel in het eigen lab gemaakt worden.



Eenvoudige opstelling om de Pyreneeën mee na te bootsen.

Uit de natuur (veldwerk) blijkt dat de analoge modellen zeer natuurgetrouwe resultaten opleveren. Ga maar zandgroeven in de stuwwallen op de Veluwe (Veenendaal). Daar zijn allerlei structuren op centimeter schaal in het zand te vinden die we ook op de schaal van gebergten kennen. Verder kloppen de resultaten van 'zandbak' experimenten met werkelijke structuren. De model resultaten zijn veelvuldig in de praktijk getest en toegepast bij boringen naar olie en gas. Het is dus wel iets meer dan 'spelen in de zandbak', zoals het wel eens schertsend wordt genoemd.

Natuurlijk hebben de analoge modellen zo ook hun tekortkomingen. Vooral het effect van de toenemende temperatuur met diepte (die uiteraard invloed heeft op de wijze waarop gesteente vervormt) is in de analoge modellen nog vrijwel onmogelijk in te bouwen. Maar door integratie van gegevens die geologen verzamelen in het veld over de aarde (veldwerk) en beide modelleertechnieken, wordt een nieuwe onderzoeksweg in de geologie ingeslagen. Aan de Vrije Universiteit werd aan veldwerk en numeriek modelleren altijd al veel aandacht besteed en de nieuwe aanwinst, het TecLab (Tectonisch modelleerlab, de officiële naam van het sandbox lab) zal daar in belangrijke mate aan bij gaan dragen.

Zo'n uniek lab is dus maar op een paar plaatsen in de wereld voor handen. Wat kan een docent of leerling er dan aan hebben? Een paar simpele, maar zeer inzichtelijke proefjes die thuis en op school gedaan kunnen worden (in het kader van een profielwerkstuk of EXO) staan beschreven op <http://www.geo.vu.nl/sandbox>. Met een beetje vernuftig knutselwerk zijn zelfs heel professionele bakken te maken, al dan niet aangestuurd door een electromotor. Bovendien zijn er op open dagen van de opleiding of de VU vaak demonstraties met de bak. De proefjes sluiten bovendien aan op het thema 'Aardbevingen in Nederland (Pinkpop laat de aarde trillen)' op <http://www.aarde.nu>. Aardbevingen lenen zich voor meer toegepaste natuurkunde, zoals het bestuderen van golven in materiaal. Dat is verder uitgewerkt in het leerlingboekje natuurkunde van Aarde.Nu, te bestellen via de website.

Aardige referentie over natuurkundige toepassingen in de aardwetenschappen:

Turcotte, D.L. en G. Schubert, *Geodynamics; applications of continuum physics to geological problems*, Wiley and Sons. X

Agenda voor VWO-leerlingen in 2002

Open dag VU	9 februari 2002
Open dag Aardwetenschappen en Geoarcheologie	26 maart 2002
Excursie	begin juni 2002

Opleiding Aardwetenschappen VU Amsterdam

studierichtingen: fysische geografie, geochemie, geologie, hydrologie, geoarcheologie, klimatologie, tektoniek	
vrouwen/mannen:	ca. 45%/55%
instroom:	ca. 40 studenten per jaar
totaal:	ca. 200 studenten