

Deformaties in onverharde sedimenten: het bestuderen waard ¹

A.J. (Tom) van Loon ² & Krzysztof Brodzikowski ³

Samenvatting

In een sedimentpakket waarin nog geen of weinig lithificatie is opgetreden, kunnen tal van processen zorgen voor deformaties. De daarbij gevormde structuren kunnen uiteenlopende groottes en vormen hebben; vaak spelen diverse deformatieprocessen bovendien gelijktijdig een rol. Een gevolg is dat de ontstane structuren gecompliceerd kunnen zijn en moeilijk te classificeren. Dat leidt ertoe dat binnen de WTKG aan deze structuren veelal weinig aandacht wordt besteed bij veldwerk (bijv. stratigrafisch onderzoek); meer aandacht voor deze structuren kan echter bijdragen aan een beter begrip van de omstandigheden waaronder de sedimenten zijn ontstaan.

Inleiding

Deformatiestructuren in onverharde sedimenten zijn reeds lang bekend (o.a. Lyell, 1841), maar werden tot in het midden van de twintigste eeuw nauwelijks beschouwd als van waarde voor geologische interpretaties. Dat veranderde in het begin van de zestiger jaren, toen de sedimentologie zich ontwikkelde en diverse auteurs ook pogingen deden om de structuren in onverharde sedimenten te classificeren (o.a. Pettijohn & Potter, 1964; Nagtegaal, 1965). In die tijd was nog betrekkelijk weinig bekend van de processen in recente milieus; de relatie tussen deformatiestructuren en milieu was daarom nog moeilijk te leggen en geleidelijk ebde de belangstelling voor dit onderwerp weg.

De sedimentologie ontwikkelde zich echter snel en op het eind van de zeventiger, begin tachtiger jaren kwamen de deformatiestructuren opnieuw in de belangstelling (o.a. Sims, 1978; Mills, 1983), zelfs bij de structureel-geologen vanwege de implicaties voor tektonische analyses. Momenteel wordt aan deze structuren veel aandacht besteed, vooral ten aanzien van hun ontstaanswijze, hun relatie tot andere deformaties, en hun terminologie en classificatie.

Aanvankelijk werden de deformaties in onverharde sedimenten alleen op hun vorm geclassificeerd. Een meer analytische benadering leidde tot een onderscheid tussen plooistucturen, breukstructuren en breccies (Leith, 1923), waarna men zich realiseerde dat ook de grootte een rol speelt omdat bij het ontstaan van grote deformatiestructuren spanningen optreden die kunnen leiden tot kleinere, secundaire deformaties (Occhietti, 1973).

Naarmate meer bekend werd over deze structuren werd echter ook de verwarring groter. Het bleek namelijk dat een bepaald proces kon leiden tot duidelijk verschillende structuren (bijv. door verschillen in sedimenttype), maar ook dat verschillende processen vrijwel identieke structuren konden opleveren (Kuenen, 1958). Daarnaast bleek dat het eigenlijk slechts zelden voorkomt dat een deformatiestructuur slechts één enkele oorzaak heeft. Een gevolg van deze inzichten was dat men aanvankelijk overging van een beschrijvend naar een genetisch classificatiesysteem, maar dat men later ook dat weer moest opgeven. Wellicht is het daarom beter een systeem te gebruiken dat uitgaat van waarneembare gegevens die interpretatie redelijk zeker toelaten (bijv. wat betreft de mate van vervloeïng, de plastische vervorming of het elastisch gedrag van het sediment).

Ontwikkeling van de structuren

Zowel experimenten als veldwaarnemingen (bijv. in getijdegebieden) tonen aan dat vervormingen in onverharde sedimenten snel kunnen plaatsvinden: binnen enkele uren of zelfs enkele minuten. In andere gevallen zijn echter veel langere perioden nodig, waarschijnlijk eeuwen en mogelijk zelfs duizenden jaren.

¹ Deze bijdrage is voor een belangrijk deel gebaseerd op een artikel dat beide auteurs op uitnodiging schreven voor het recente jubileumnummer van 'Sedimentary Geology' (Van Loon & Brodzikowski, 1987).

² Julianaweg 5, 6862 ZN OOSTERBEEK.

³ Laboratory of Experimental Geomorphology, Geographical Institute, University of Wrocław, Zamek Książ, ul. Piastów Śląskich 4, 58-306 WAŁBRZYCH, Poland.

In uitzonderlijke gevallen treedt de deformatie al tijdens de sedimentatie op. Bij stroomribbels ziet men bijv. wel 'afglijdingen' op micro-schaal van waterverzadigd zand dat op de lijzijde (foreset) van de ribbel niet meer stabiel was. Men noemt een dergelijke, gelijktijdig met de afzetting gevormde, deformatie 'syndementair'. Veruit de meeste deformatiestructuren in onverharde sedimenten treden echter later op. Wanneer een structuur wordt gevormd voordat het pakket waarin de structuur voorkomt door een nieuwe laag wordt afgedekt, dan spreekt men wel (Nagtegaal, 1963) van een metasedimentaire structuur (in het Engels: 'metadepositional', ook wel 'penecontemporaneous'). Een voorbeeld hiervan zijn de krimpseuren die bij uitdroging in een kleipakket ontstaan. Later gevormde structuren (dus in lagen die al bedekt zijn), noemt men 'postsedimentair'; sommige water-of luchtontsnappingsstructuren (Fig. 1) zijn hiervan een voorbeeld.

Vooraf bij structuren met een langdurige ontstaansgeschiedenis is het uiteraard mogelijk dat de deformatie begint in een metasedimentair stadium en dat de ontwikkeling doorgaat tot in een postsedimentaire fase. Dat is bijv. vaak het geval met load casts (Fig. 2), uitzakkingen van vaak iets zwaarder materiaal (zand) in een gemakkelijk vervormbaar, lichter materiaal (klei).

Hoe langer de ontstaansgeschiedenis duurt, hoe groter de

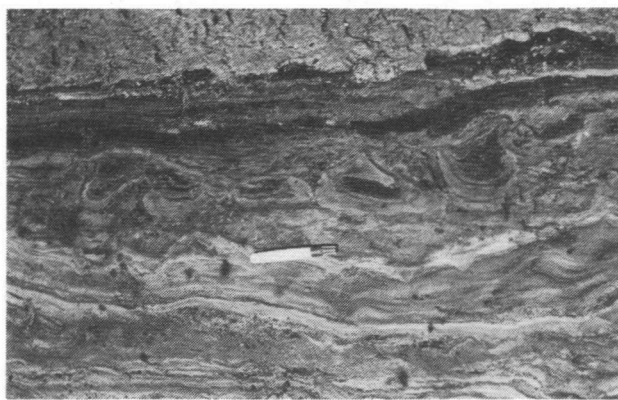


Fig. 2

Instulplingsstructuren, te beschouwen als sterk ontwikkelde load casts, ontstaan door het in ballen (pseudonodules) wegzakken van zand in een onderliggende, waterverzadigde kleilaag (Almere Member van de Groningen Formatie; Noordoostpolder).

kans is dat het deformatieproces wordt beïnvloed door andere processen. In zo'n geval ontstaat een structuur waarvan de uiteindelijke vorm vaak uiterst gecompliceerd is (Fig. 3). Soortgelijke complicaties kunnen ook optreden wanneer een eenmaal volledig ontwikkelde deformatiestructuur later ten



Fig. 1

Verticale doorsnede door een ontsnappingsstructuur van water in opgespoten zand met kleilaminae (Noordoostpolder).

prooi valt aan een nieuw, van het eerste volstrekt onafhankelijk, deformatieproces. Juist dergelijke gecompliceerde structuren kunnen veel inzicht geven in de processen die achtereenvolgens een rol hebben gespeeld. Daarvoor is het dan uiteraard wel noodzakelijk de afzonderlijke processen te onderscheiden en hun tijdsrelatie vast te stellen.

Krachten die een rol spelen

In tegenstelling tot bij verharde gesteenten waar vooral endogene processen een rol spelen bij vervormingen, is het scala aan processen bij onverharde sedimenten zeer breed. Endogene processen spelen weliswaar een rol, maar exogene processen zijn veel belangrijker. Daarnaast kunnen ook de zwaartekracht (geen endogene kracht in engere zin), astronomische krachten (geen exogene krachten in engere zin) en interne krachten een rol spelen.

Endogene krachten die onverharde sedimenten vervormen zijn goed bekend (Allen, 1986). Het gaat daarbij vooral om aardbevingen die massabewegingen veroorzaken en om breukvorming in actieve slenken.

Bij zwaartekracht gaat het om het wegzakken van zwaar materiaal (load casts) of het omhoog komen van lichter materiaal (diapieren). Astronomische krachten zijn niet van praktisch belang: het gaat daarbij o.a. om inslagkraters van meteorieten en chondrieten, althans voor zover die ook onverhard sediment deformeren. Wij kennen daarvan geen beschrijvingen uit de sedimentologische literatuur. Dat is wel het geval met structuren die door interne krachten zijn veroorzaakt, bijv. als gevolg van zich uitzettend materiaal (o.a. door aangroei van zoutkristallen).

De exogene processen zijn het belangrijkste: wind, water en ijs zorgen op tal van manieren voor deformatiestructuren. Hierbij moet wel worden bedacht dat een exogene kracht vaak samengaat met een andere: een indruk die wordt achtergelaten door een regendruppel (vooral bekend uit woestijnafzettingen) is bijv. een gevolg van een exogeen proces (hagel) in combinatie met zwaartekracht; de 'deuk' die een vulkanische bom in een aslaag geeft is echter weer een combinatie van een endogeen proces (vulkanisme) en zwaartekracht. Kortom, een goede analyse en classificatie van deformatiestructuren in onverharde afzettingen is niet eenvoudig.

Processen die een rol spelen

Krachten alleen zijn niet genoeg om een deformatiestructuur te veroorzaken: er moet ook een specifiek proces aan ten grondslag liggen. De meest relevante processen die leiden tot verstoring van onverharde sedimenten zijn bioturbatie, temperatuurschommelingen, ijsbeweging, migratie van water of gas, atmosferische processen, plotselinge belasting, compactie en massabeweging.

Bij bioturbatie gaat het om structuren die door planten of dieren worden gemaakt. Iedereen die stratigrafisch onderzoek doet zal bijv. wel eens fossiele graafsporen van wormen of

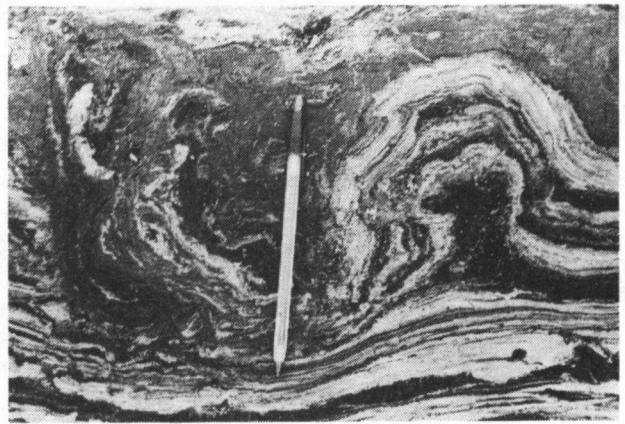


Fig. 3
Gecompliceerde structuur met gedeeltelijk plastische deformatie, gedeeltelijk vervloeïng (Almere Member van de Groningen Formatie, Noordoostpolder).

andere organismen hebben gezien. Een bijzondere vorm zijn de structuren die door de mens, al dan niet met behulp van gereedschap, zijn gemaakt. Men spreekt in dat geval ook wel van anthropogene structuren (Fig. 4).

Bij temperatuurschommelingen treden vooral deformaties op als die schommelingen rond het vriespunt van water optreden, bijv. onder periglaciale omstandigheden (Jahn, 1975). IJs zelf kan, vooral bij bewegende landijskappen, plooiën en andere deformaties geven met amplitudes van tientallen meters (Schwan & Van Loon, 1979; Brodzikowski & Van Loon, 1985). Ook experimenteel is hieraan veel gewerkt (o.a. Gripp, 1929).

Beweging van lucht of water in een afzetting leidt vaak tot structuren die op een micro-vulkaan lijken (Fig. 1). Dat is dus heel anders dan wanneer water of lucht door de atmosfeer in beweging wordt gebracht en, hetzij zelf hetzij via meegevoerde objecten, het sediment deformeert.

Plotselinge belasting treedt op wanneer bijv. een blok langs een helling naar beneden valt. Er is in het algemeen weinig kans dat de resulterende deformatiestructuur bewaard blijft



Fig. 4
Anthropogene breccie in holocene kleien (Groningen Formatie) voor de kust bij Oostende (België), gevormd bij turfsteken tijdens de Middeleeuwen.

(erosie speelt in zulke milieus een grote rol), maar dat kan wel wanneer bijv. een brok uit de oever op een rivierbodem terechtkomt waar netto-sedimentatie optreedt.

Bij deze plotselinge belasting treedt compactie op. Is die compactie geen gevolg van een 'vreemd' voorwerp, maar van het eigen gewicht van het sediment, dan zullen de deformaties vooral optreden waar inhomogeniteiten in dat sediment voorkomen die leiden tot verschillende graden van compactie (bijv. klei om een boomstronk; Fig. 5).

Bij massabewegingen, tenslotte, wordt eerder afgezet materiaal opnieuw in beweging gebracht waarbij de oorspronkelijke structuur geheel kan verdwijnen door vervloeïing, maar waarbij ook nieuwe structuren kunnen ontstaan (vooral plooiën) bij plastisch gedrag.

Zin van het onderzoek naar deformatiestructuren in onverharde sedimenten

Wat hierboven beschreven is, vormt weinig meer dan een vrij theoretische beschouwing. Die is echter nodig om te weten waarover het gaat. Pas wanneer duidelijk is waarover gesproken wordt, kan immers aandacht worden besteed aan analyse en interpretatie van het besproken verschijnsel.

In de WTKG wordt vaak uiterst nauwgezet stratigrafisch onderzoek verricht met behulp van fossielen. Die fossielen helpen mee het afzettingsmilieu te reconstrueren. Het bestuderen van sedimentaire structuren, inclusief deformaties, kan daarbij eveneens behulpzaam zijn. Bovendien kan analyse van de deformaties soms helpen bij een onderscheid tussen autochtone en allochtone fossielen.

Wellicht zou meer aandacht van de leden van de WTKG voor dit onderwerp nieuwe perspectieven bieden. Wanneer daarvoor voldoende interesse is, zullen wij in komende nummers van 'Afzettingen' een aantal deformatiestructuren meer in detail onder de loupe nemen en aangeven welke conclusies uit hun aanwezigheid zijn te trekken.

Dankbetuiging

De auteurs danken Elsevier's Science Publishers voor de toestemming om een artikel van hen dat eerder in *Sedimentary Geology* werd gepubliceerd in bewerkte vorm over te nemen.

Aangehaalde literatuur

Allen, J.R.L. 1986 Earthquake magnitude-frequency, epicentral distance, and soft-sediment deformations in sedimentary basins - *Sedimentary Geology* 46: 67-75.

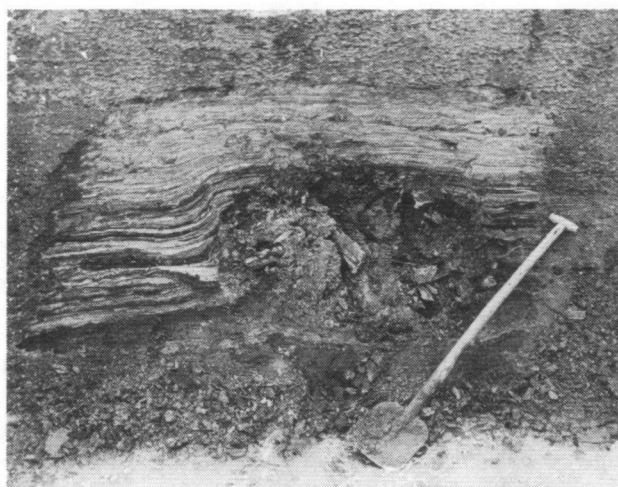


Fig. 5
Deformatie t.g.v. differentiële compactie van klei rond een stuk hout (Almere Member van de Groningen Formatie; Noordoostpolder).

- Brodzikowski, K. & A.J. van Loon 1985 Inventory of deformational structures as a tool for unravelling the Quaternary geology of glaciated areas - *Boreas* 14: 175-188.
- Gripp, K. 1929 Glaziologische und geologische Ergebnisse der hambergischen Spitzbergen-Ekspedition 1927 - *Abhandlungen des naturwissenschaftlichen Vereins Hamburg* 22: 147-247.
- Jahn, A. 1975 Problems of the periglacial zone - PWN (Warszawa): 219 blz.
- Kuenen, P.Ph. 1958 Experiments in geology - *Transactions of the Geological Society of Glasgow* 23: 1-28.
- Leith, C.K. 1923 Structural geology Henry Holt (New York): 390 blz.
- Lyell, Ch. 1841 Elements of geology, 2nd ed. - London.
- Mills, P.C. 1983 Genesis and diagnostic value of soft-sediment deformation structures - a review - *Sedimentary Geology* 35: 83-104.
- Nagtegaal, P.J.C. 1963 Convolute lamination, metadepositional ruptures and slumping in an exposure near Poble de Segur (Spain) - *Geologie en Mijnbouw* 42: 363-374.
- Nagtegaal, P.J.C. 1965 An approximation to the genetic classification of non-organic sedimentary structures - *Geologie en Mijnbouw* 44: 347-352.
- Occhietti, S. 1973 Les structures et déformations engendrées par les glaciers - essai de mise au point. I. Déformations et structures glacetoniques - *Revue Géographique Montr.* 27: 365-380.
- Pettijohn, F.J. & Potter, P.E. 1964 Atlas and glossary of primary sedimentary structures - Springer (New York): 370 blz.
- Schwan, J. & A.J. van Loon 1979 Structural and sedimentological characteristics of a Weichselian kame terrace at Sønderby Klint, Funen, Denmark - *Geologie en Mijnbouw* 58: 305-319.
- Sims, J.D. 1978 Annotated bibliography of penecontemporaneous deformational structures in sediments - United States Geological Survey Open File Report 78-510: 79 blz.
- Van Loon, A.J. & K. Brodzikowski 1987 Problems and progress in the research on soft-sediment deformations - *Sedimentary Geology* 50: 167-193.