

Aardbevingen in het Jordaandal: geologische en archeologische getuigenissen

door Anne Rutger Fortuin
Fac. Aard- en Levenswetenschappen VU, Amsterdam,
Geologisch Museum Hofland, Laren
a.r.fortuin@vu.nl

Aardbevingen zijn van alle tijden en dit schokkende natuurgeweld spreekt vrijwel iedereen aan. Deze bijdrage gaat over aardbevingen die het Jordaandal en wijde omgeving getroffen hebben, die daar ook in de sedimentatie hun sporen hebben achtergelaten en over enkele bijzondere bevingen uit historische- en semi-historische overlevering, zoals de Bijbel. Allereerst kijken we naar de plaattektonische positie van dit gebied, dat Israël, de bezette Palestijnse gebieden ("West Bank") en delen van Libanon en Jordanië omvat. Als aardbevingsgevoelig gebied is deze regio minder bekend dan andere delen van West-Azië, zoals Turkije of Iran. Wij Nederlanders hebben in onze ondergrond ook wel tektonisch actieve structuren die de grond af en toe laten beven, zoals de Roerdalslenk, maar dat stelt doorgaans weinig voor. Neem nou de aardbeving van Roermond in 1992. Die veroorzaakte wel wat gebouwschade, maar kostte gelukkig geen mensenlevens. In het Jordaangebied waren meer dan eens duizenden slachtoffers te betreuren.

De reden om speciaal aandacht te schenken aan bevingen in het Jordaangebied is dat Israëliische geologen (in samenwerking met buitenlandse collega's, o.a. van de universiteit van Potsdam) erin zijn geslaagd om sedimentaire structuren die door aardschokken zijn ontstaan te koppelen aan historisch bekende en gedateerde bevingen. Bovendien zijn er oude bouwwerken met dateerbare aardbevingssschade. Daarbij komt ook nog dat over het vroegere Israël en aangrenzende gebieden al heel lang op schrift gestelde gegevens zijn, waaronder de Bijbel. Kortom, doordat er zoveel bekend is van de vroege geschiedenis van het Joodse volk en omliggende volkeren én het gegeven dat er in het Jordaandal voor onderzoek uiterst geschikte afzettingen zijn, is het mogelijk geweest om het verband tussen aardbevingen en deformatiestructuren in sediment onweerlegbaar aan te tonen. Het geologisch register van vroegere aardbevingen in het Jordaangebied is zelfs onderzocht tot 70.000 jaar geleden. Toen ik eenmaal in dit onderwerp gedoken was, bleek er zeer veel literatuur voorhanden, van hoog wetenschappelijk tot populair-toeristisch niveau. Ondanks heel wat pagina's tekst heb ik me moeten beperken. Een bijzondere aanleiding om me in dit veelomvattende onderwerp te verdiepen en er hier over te berichten is mijn eigen onderzoekservaring met verstoringen van sedimentaire gelaagdheid als gevolg van aardschokken in Boven-Miocene Messinien-afzettingen in Zuidoost-Spanje, waar aardbevingsstructuren ook voorkomen. Een enkele keer verwijst ik naar mijn Spaanse onderzoek.

De geotektonische positie van het Jordaandal

Het nabije oosten wordt van noord naar zuid doorsneden door

Afb. 1. Tektonische overzichtskaart van de Dode Zee Breuk (DZB). (Dead Sea Fault System, op witte kaartinzet, rechts onder, is goed te zien hoe de Arabische Plaat door de actieve spreiding van oceaanorsten in de Rode Zee en de Arabische Zee als een wig in Oost-Anatolië wordt gedreven, een regio die eveneens



berucht is om zijn aardbevingen. De DZB begint bij de zuidpunt van het Sinai-schiereiland en loopt door tot aan de Oost-Anatolische breukzone (EAF). De witte pijlen geven de richting van de plaatbeweging van Arabië ten opzichte van de Afrikaanse Plaat (Sinai) aan. De dikgedrukte cijfers geven de gemeten bewegingssnelheid in mm's per jaar aan. Doordat deze breukzone twee verschillende langs elkaar bewegende lithosfeerplaten scheidt, is het een transformbreuk. Figuur gewijzigd naar Gomez et al., 2007.

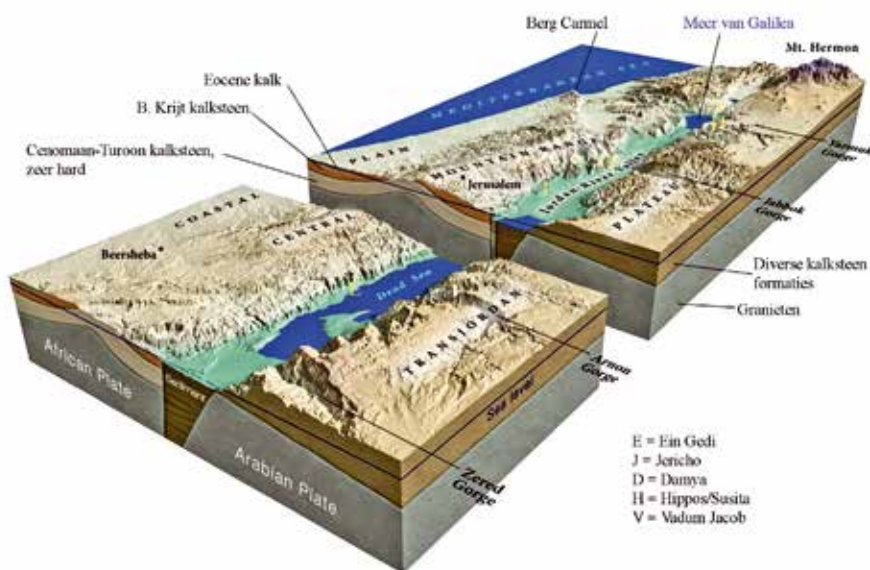
een enorme breukstructuur (afb.1), bekend als de Dode Zee Breuk (DZB). Deze breukzone begint in de Rode Zee - in geologisch opzicht een heel jonge, zich openende oceaan - en loopt door tot in Zuid-Anatolië. Daar loopt de breukzone uit tegen de Oost Anatolische Breuk (EAF in afb. 1). Het ingezette overzichtskaartje in afb. 1 laat zien hoe de Arabische Plaat aan de oostkant botst met de Euraziatische Plaat en hier leidt tot de vorming van het Zagros-gebergte, terwijl de Arabische Plaat door zijn NNW gerichte beweging in Noord-Turkije verantwoordelijk is voor verschuivingen langs de Noord-Anatolische Breuk (NAF in afb. 1).

Met een totale lengte van 1000 km is de DZB een van de langste continentale breuksystemen. De rivier de Jordaan volgt deze breuk over een flinke afstand en stroomt uiteindelijk in de Dode Zee, die met -420 m niet alleen het diepste punt van het aardoppervlak is, maar ook een afvoerloos bekken is (afb. 2). Dit blokdiagram geeft duidelijk aan dat de gebieden aan weerskanten van de slenkdelen juist relatief hoog liggen, vooral het Transjordaanse blok, dat diep ingesneden kloven kent. Dit blokdiagram geeft ook de globale geologische bouw van de onder-

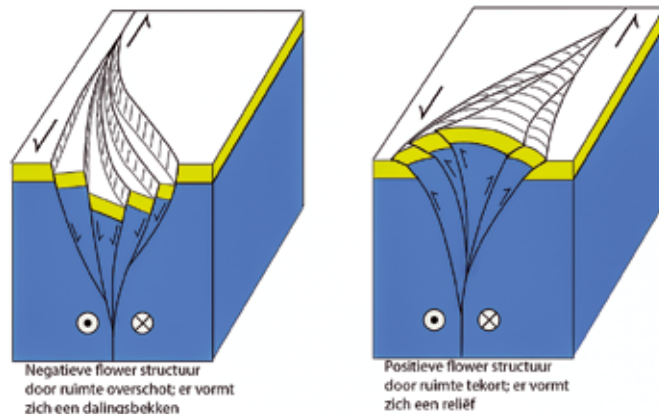
grond weer. Met name het Sinai-blok met Israël is door de druk licht gewelfd, waarbij diverse formaties van Krijt-kalken veel van de ondergrond van Israël en de Palestijnse gebieden bepalen. De harde, witte kalken worden veel gebruikt als bouwsteen.

De DZB is in de eerste plaats een transforme breuk, die een scheidslijn vormt tussen twee met verschillende snelheden langs elkaar schuivende lithosfeerplaten. Zulke plaatbegrenzende breuksystemen doorsnijden de hele continentale korst. De westelijke kant van de DZB vormt de noordoostelijke uitloper van de Afrikaanse (of Nubische) Plaat, terwijl het hoogland van Jordanië aan de andere kant tot de Arabische Plaat hoort. De Arabische Plaat schuift sneller naar het noorden, waarbij de resulterende horizontale verschuiving gemiddeld een 4-5 mm per jaar betreft (afb. 1). Het bijpassende bewegingskoppel noemen we linksdraaiend, of sinistraal. Die snelheid van onderlinge verplaatsing is vrij gering, maar met miljoenen jaren activiteit loopt de totale verschuiving (het 'verschuivingsbedrag') aardig op. De verschuiving is namelijk actief vanaf het begin van het Mioceen, oftewel sinds ca. 23 miljoen jaar en dit heeft een horizontale onderlinge verschuiving van 107 km veroorzaakt (65 km in het Mioceen en 42 km daarna).

De DZB is overigens niet één lange doorlopende rechte breuk, zoals die andere bekende en beruchte transformbreuk, de San Andreas Breuk in Californië, maar een die uit verspringende segmenten is opgebouwd. Door het opengaan van de Rode Zee bewegen Afrika en Arabië steeds verder uit elkaar. Mede daardoor kent het zuidelijke deel van de DZB, dat tot in Zuid-Libanon reikt, ook zijdelingse rek. In dit deel loopt de richting van de plaatbeweging (afb. 1) vrijwel parallel met de breuk. Verder noordelijk roteert de plaatbeweging naar NNW en is er nauwelijks ruimte meer voor rek. Het breukpatroon wijst daar naast langverschuivende breukzones, wordt schetsmatig weergegeven in afb. 3. De daarin aangegeven vanuit de ondergrond uitwaaiierende breukstructuren worden 'flower structures' genoemd door een zekere gelijkenis met uitwaaiierende bloemblaadjes. Geofysisch onderzoek heeft aangetoond dat de bo-



Afb. 2. Vereenvoudigd tektonisch blokdiagram van de Dode Zee Breuk, dat goed het optredende hoogteverschil in de breukzone benadrukt. De namen en locaties van diverse plaatsen die in de tekst worden genoemd zijn toegevoegd. Illustratie ontleend aan de website van 'The Natural Historian', aflevering d.d. 06-09-2014.



Afb. 3. Schets van de uitwerking van langs elkaar schuivende blokken bij sinistrale (linksdraaiende) horizontale verschuiving. Links is sprake van schuif en rek (transtentie) waardoor de korst omlaag wordt getrokken en er zich een sedimentair bekken ontwikkelt. Rechts het omgekeerde effect: omhoogkomen van gesteente onder invloed van schuif en zijdelingse druk (transpressie). De naam 'flowerstructuur' voor dit soort breuken heeft te maken met de uitwaaiierende vorm van de breuken vanuit de ondergrond die aan de vorm van bloemblaadjes doet denken. Schets bewerkt naar een webmodel door Pixgood.com.

dem van de Dode Zee de afgelopen 3 miljoen jaar minstens 7 km diep is verzakt. De huidige bodemdaling schijnt meer dan 1 cm per jaar te zijn, wat erg snel is. Tegelijkertijd is het bekken ook met sediment aangevuld. Niet alleen vanuit de oprijzende en zich insnijpende breukranden, maar ook door de aanwezigheid van veel Jordaanslib.

Kruisvaarderskasteel in de breukzone

Ongeveer 10 km ten noorden van het Meer van Galilea (afb. 2) ligt op een heuvel langs de Jordaan het trieste restant van een grote kruisvaardersburcht, Vadum Jacob, oftewel Jacobs Voorde, tegenwoordig beter bekend als Metzat Ateret. Het ooit zo fiere fort moest een van de grootste verdedigingswerken uit de Kruisvaardertijd worden en kreeg een grondvlak van 150 bij 50 m. Het lag zeer strategisch bij een doorwaadbare plek in de Jordaanvallei op de belangrijke handelsroute van Akko naar Damascus, maar deze burcht heeft nauwelijks dienst kunnen doen. Historische gegevens (Ellenblum et al., 1998; Marco et al., 2009) wijzen op een begin van de bouw in 1178 en in juni 1179 zou de zware muur al 10 m hoog geweest zijn, met een hogere uitkijktoren. Deze muren werden opgetrokken uit enorme, nauwkeurig op maat bewerkte kalkstenen. De bouw was een doorn in het oog van de machtige sultan Saladin, want het fort lag net buiten het grondgebied van de christenen. Omwille van eerder gesloten vrede met het koninkrijk Jeruzalem wilde Saladin deze bouw voor veel geld afkopen. Afkoop werd echter geweigerd, waarna hij het alsnog op een slimme manier in oktober van datzelfde jaar wist te veroveren. Er schijnen daarbij een 700 man afgemaakt te zijn, waaronder tientallen bouwlieden. Het kasteel werd verwoest, maar een restant van de muren staat tot op heden nog.

Op 20 mei 1202 trof een enorme aardbeving het Midden-Oosten. Deze beving werd gevoeld van Sicilië tot in Irak, oftewel over een afstand van 3000 km. De aardbeving had vermoedelijk een magnitude van 7.6. Laat deze burcht nu precies zijn gebouwd op de oostelijke doorgang van een van de Dode Zee-breuksegmenten. De beving scheurde de muurresten en veroorzaakte daarin een verplaatsing van 1,6 m. Op dit moment is de totale verplaatsing 2,1 m. Bij een latere grote beving, vermoedelijk die uit 1759, is de zaak dus nog



Afb. 4. De Jordaanvallei aan de zuidkant van het Meer van Galilea gezien vanaf de westelijke breukbegrenzing. Duidelijk is te zien hoe het Jordaanland hier ligt ingeklemd tussen twee grote breuken. Standpunt ca. 10 km ten zuiden van het meer. Foto van de auteur.

eens 50 cm verplaatst. Dit valt af te leiden uit een veel jongere moskeemuur binnen het complex, die over die afstand is verschoven. Omgerekend komt dit neer op een verplaatsing van gemiddeld 2,5 mm/jr. Dat bedrag is veel minder dan de gemiddelde verschuiving van 4-5 mm/jr. Zou dit betekenen dat er zich inmiddels zoveel spanning langs het breuksegment heeft opgebouwd dat een toekomstige zware aardbeving opnieuw voor een verschuiving van zeg 1,6 m gaat zorgen? Pas dan wordt namelijk de gemiddelde schuifsnelheid benaderd.

Aardbevingen vinden pas plaats als de door de onderlinge beweging opgebouwde spanning in de korst de schuifweerstand



Afb. 5. Kaartje dat de verspreiding aangeeft van de destructieve uitwerking van de aardbeving van AD 749. Dit door Marco et al. (2003) op basis van historische gegevens samengestelde overzicht van de intensiteit van de beving is aangegeven in de schaal van Mercalli (verklaring zie tekst). Met donkergrijs is het gebied aangegeven met de maximale intensiteit X, oftewel "vernietigend". Duidelijk is dat de beving zich vooral voordeed tussen de Dode Zee en het Meer van Galilea. Bron: Marco et al. 2003.

overtreft. Het hangt van allerlei omstandigheden in de ondergrond af of gesteente zonder al te veel wrijving kan verschuiven, dan wel dat er zich eerst veel spanning in de korst moet opbouwen voordat het tot plotselinge drukontlasting en verschuiving komt. De gedachte over nog eens 1,6 m verschuiven in Vadum Jacob om niet teveel af te wijken van de gemiddelde schuifsnelheid is inderdaad geen onzin. Seismologen die zich met het gedrag en modelleren van de ontwikkelingen langs de DZB bezighouden wijzen op goede gronden op de grote risico's die

de grote steden in de buurt lopen (Heidbach en Ben-Avraham, 2007; Wechsler et al., 2014). Met name de eerstgenoemde auteurs hebben aangetoond dat het Jordaan-segment, vanaf ongeveer Vadum Jacob tot 90 km zuidwaarts, het meeste risico van een krachtige aardstok loopt.

Bet She'an, Hippos en de aardbeving van 18 januari 749

In de nabije omgeving van het Meer van Galilea (afb. 4) en pal naast het Dode Zee-breuksysteem liggen twee bezienswaardige Romeins-Byzantijnse stadsruïnes, die AD 749 door een zware aardbeving totaal zijn vernield. Veel meer steden en dorpen in het Jordaan gebied werden getroffen (afb. 5), maar deze duizenden jaren oude steden liggen pal langs de breukzone. Bet She'an ligt 20 km ten zuiden van het meer en Hippos (later ook Sussita geheten, afb. 5) ligt aan de oostkant, op een 325 m hoge heuveltop, tegenover Tiberias. Met name Nationaal Park Bet She'an trekt veel bezoekers (zie het omslag), terwijl Hippos/Sussita nog deels blootgelegd moet worden en verder onderzocht wordt door archeologen van de universiteit van Haifa. Hun bloeitijd beleefden deze steden onder Romeins gezag. Tijdens hun grootste bloei, in de 5de eeuw, telde Bet She'an 30-40.000 inwoners, terwijl Hippos vóór de beving acht Byzantijnse kerken telde. In de eerste helft van de 7de eeuw werden deze christelijke steden vreedzaam bezet door islamitische strijders, maar tot bloei kwam het niet meer.

Op 18 januari 749 maakte een catastrofale aardbeving (vermoedelijk met intensiteit X (afb. 5) een eind aan de Romeins-Byzantijnse architectuur. Op basis van veel historische gegevens en berichten over schade is duidelijk dat het hele gebied van de Dode Zee tot aan het Meer van Galilea zwaar getroffen werd (Marco et al., 2003; afb. 5).

Schaal van Mercalli

Seismologen geven met Romeinse cijfers de intensiteits-schaal van Mercalli aan. Deze schaal geeft de plaatselijke uitwerking van een aardbeving weer met een getal tussen I en XII. De uitwerking is benaderbaar door historisch onderzoek van de schademeldingen. Deze schaal is heel anders dan die van Richter, die gebaseerd is op vrijkomende energie, zoals die is af te leiden van een seismogram. Schaal VII komt overeen met "zeer sterk; schade aan veel gebouwen, schoorstenen breken af, golven in water, kerkklokken gaan luiden". Intensiteit X, zoals in het met grijs gemarkeerde gebied in afb. 5 wordt omschreven als "vernietigend; verwoesting van veel gebouwen. Grondverplaatsing en scheuring in de aarde; schade aan dammen en dijken".

Het bijzondere van Bet She'an en Hippos is dat in een deel van de opgraving de brokstukken precies zo zijn blijven liggen zo-

als ze door de archeologen gevonden zijn. De schokgolf rukte namelijk de zuilen van hun voetstuk. Met name de omgevallen zuilen van de Byzantijnse hoofdkerk in Hippos (afb. 6) zijn het onderwerp geweest van onderzoek naar de uitwerking van aardbevingsgolven op uit zuilen opgetrokken gebouwen.

De zuilen van deze basiliek liggen namelijk opvallend evenwijdig aan elkaar. Ze werden in zuidwestelijke richting neergeworpen. De vraag was of dit de richting van de schokgolven weergeeft. Dit blijkt niet zo te zijn (Marco, 2008); er blijken meer factoren in het spel te zijn geweest die de valrichting bepaalden. Niettemin is het zicht op deze parallel neergezegen zuilen fascinerend. Zelf heb ik deze plek niet kunnen bezoeken, maar wel Bet She'an (afb. 7), waar het een bijzondere ervaring was om zo'n plek van vroeger onheil te kunnen zien in het besef hoe door die enorme aardbeving definitief een eind kwam aan de laat Romeins-Byzantijnse manier van bouwen. Tot herstel van het verloren gegane schoons kwam het nooit meer. Hippos werd zelfs totaal verlaten.

Dode Zee-bekken en Jordaanvallei

Nu enkele historische aardbevingen de revu zijn gepasseerd wordt het tijd om naar hun invloed op de sedimentatie te kijken. Maar allereerst wat achtergronden.

Voortdurende sterke indamping van de afvoerloze Dode Zee maakte dit meer enorm zout. De zoutconcentratie bedraagt 30% en is daarmee het hoogst ter wereld. Diverse zouten worden in bassins in het zuidelijke deel commercieel gewonnen. Door de diepe ligging (-420 m) in een woestijnachtige omgeving kan de temperatuur enorm oplopen. De waterbalans, het verschil tussen wateraanvoer en verdamping, is dan ook sterk negatief. Op dit moment daalt de waterspiegel ca. 80 cm/j, mede



Afb. 7. Een deel van de opgraving van Bet She'an is alleen schoongemaakt en geeft zo een treffende inkijk in de schade die de aardbeving van AD 749 aanrichtte met omgevallen en deels in het plaveisel gedrukte zuilen. Foto van de auteur.

door het uitgebreide gebruik van Jordaanwater voor irrigatie. In het Pleistoceen is dat wel anders geweest. Toen waren er ook relatief vochtige tijden met een juist positieve waterbalans. Er ontstonden grote meren. Zo bereikte het Laat-Pleistocene Lisan Meer zijn maximale peil tussen 26.000 - 24.000 jaar geleden. Het waterniveau stond toen op -170 m (tegen nu -420 m) en het meer had toen een lengte van ongeveer 220 km. Het strekte zich uit vanaf het Meer van Galilea in het noorden tot 50 km voorbij de huidige Dode Zee, in de Arava-vallei (Stein, 2003).

Al sinds het Pliocen hebben grotere en kleinere meren en rivierstelsels elkaar in de tijd afgewisseld, afhankelijk van de heersende klimaatomstandigheden. De Pleistocene afzettingen van het Lisan Meer, formeel de Lisan Formatie geheten, worden op veel plaatsen door de huidige Jordaan geërodeerd. De groene Jordaanvallei (afb. 4) is nog altijd een belangrijke route voor trekvogels. Ook de oudste hominiden, die vanuit Afrika naar Eurazië trokken, vonden hier bescherming en voedsel. Dit is aangetoond door skeletvondsten, waarvan de alleroudste, die 10 km ten zuiden van het Meer van Galilea zijn gevonden, gedateerd zijn tussen 1,7-2,0 Ma (Ben Avraham et al., 2005). De mens heeft echter ook moeten ervaren dat zich rond deze zo leefbare vallei af en toe rampzalige aardbevingen voordeden. Zo vermeldt de Joods-Romeinse geschiedschrijver Flavius Josephus hoe een zware aardbeving in het vroege voorjaar van 31 v. Chr. 30.000 slachtoffers maakte. Het leger van koning Herodes, dat toevallig vanwege oorlogshandelingen (in de buurt van Jericho) in tenten te velde lag kwam er echter geheel onbeschadigd vanaf en triomfeerde in de daarna volgende strijd tegen de verzwakte tegenstander.

Seizoenele variatie in sedimentatie

Het in het Dode Zee-bekken afgezette sediment is sterk beïnvloed door de werking van de seizoenen. Het bestaat uit dungelaagde tot gelamineerde afwisselingen van klastische laagjes (silt, klei en soms zand) met 0,2-2 mm dunne, witte aragoniet dat uit het DZ-water in heel fijne kristalletjes is neerge-



Afb. 6. De acht zuilen, die het zuidelijke deel van het middenschip droegen van de basiliek van Hippos, zijn door de aardbeving van AD 749 opvallend parallel in zuidwestelijke richting neergevallen. Foto: bewerkte opname van het Hippos-Sussita Excavation Project; www.ukmediawatch.org.

slagen. Dit aragoniet slaat tijdens de hete zomermaanden neer bij sterke verdamping van het Dode Zee-water. Soms zijn ook gipslaagjes neergeslagen. In het nattere winterseizoen werd het overige sediment aangevoerd, zichtbaar (afb. 8) als de grijze tot bruine tussenlagen. Dit Dode Zee-sediment bevat geen fossielen. De leefomstandigheden in dit extreme meermilieu waren voor bodemleven te ongunstig en zo zijn deze afzettingen niet omgewoeld, iets wat in zee onder normale mariene omstandigheden juist wel gebeurt. Hierdoor levert een nauwkeurige telling van de lagen een bepaalde chronologie op, zeker als je dit kunt koppelen aan radiometrische dateringen. Met name C14-datering is goed bruikbaar vanwege ingespoelde organische resten en U234-Th230-datering is bruikbaar voor de Pleistocene lagen. Deze laatste radiometrische dateringsmethode is mogelijk omdat de aragonietlaagjes rond 3 ppm uranium bevatten. Af en toe wordt de regelmatigheid van de seizoenselijke laagdikte onderbroken door verstoorde lagen. Geologen hebben uitgebreid onderzoek gedaan naar het voorkomen en ontstaan van deze lagen in Holocene Dode Zee-afzettingen, die ze *intraclast-breccies* noemen. De term *clast* (Nederlands: *klast*) slaat op de aanwezige sedimentbrokken in de laag, *breccie* op hun hoekigheid en het woord 'intra' geeft aan dat deze brokken uit hetzelfde sedimentaire milieu komen als waar ze nog steeds in liggen. De uit opgewerkte sedimentbrokken en een modderige matrix bestaande intraclast-lagen (afb. 8) zijn hooguit enkele



Afb. 8. Holocene Dode Zee-afzettingen, ontsloten in een erosiegeul (zie ook afb. 9) bij Ein Gedi, gelegen bij de zuidwestelijke oever van de Dode Zee. Duidelijk zijn de afwisselingen te zien tussen witte kalkneerslagen van aragoniet ('zomersediment') en de grijze en beige-bruine meer siltige tot kleiige 'winter afzettingen'. Op de twee met papiertjes aangegeven intervallen (31 BC en ~31 AD±5) met verstoorde laagjes zijn seismieten zichtbaar. Opname ter beschikking gesteld door Jeffrey B. Williams (VS).

decimeters dik, soms zelfs minder dan een centimeter. Het gaat hier om sediment dat op het moment van opbreken de meerboodem vormde. Een plotselinge gebeurtenis was in staat om de bodemlaag in brokken te laten uiteenvallen en te verplaatsen.

Vervolgens kwam het water weer tot rust, waarna ook de fijnste opgewolkte sedimentpartikels uit de waterkolom tot afzetting kwamen.

Deze intraclast-lagen zijn ontsloten in door erosie ingesneden geulen in nu drooggevallen Dode Zee-afzettingen (afb. 9). Wie in Israël de beroemde Joods-Romeinse Masada-vestingruïnes



Afb. 9. Erosiegeul in Holocene Dode Zee-afzettingen bij Ein Gedi. Deze en andere insnijdingen zijn gebruikt voor nauwkeurig onderzoek van Holocene seismieten. Foto: J.B. Williams, VS.

heeft bezocht en daarbij uitkeek over de Dode Zee, heeft boven deze drooggevallen oudere Dode Zee-afzettingen gestaan. Deze intraclast-breccies blijken samen te hangen met kleine, gelijktijdig gevormde breuken, die zo een oorzakelijk verband met aardbevingen aangeven. Het zijn de aardbevingen die het bovenste sediment instabiel maakten; het schudden dreef poriënwater naar boven en vervloeiing en opbreken volgde. Vloedgolven door de beving hebben de waterbeweging kunnen verheven. Daarna volgde dus rustige bezinking van al het in beweging gekomen sediment. Verderop in dit artikel komt de relatie van deze lagen met gedateerde historische aardbevingen aan de orde.

Historische bevingen en de Bijbel

In tegenstelling tot wat creationisten hartgrondig ontkennen, is de wetenschappelijke wereld, inclusief de theologische, ervan overtuigd dat de Bijbel niet als wetenschappelijk boek gelezen kan worden. Met zijn enorme vormende waarde voor de mensheid, is de Bijbel veeleer literatuur dan feitenrelaas. Zo is het goddelijke handelen vaak te lezen als personificatie van de uitwerking van gebeurtenissen en natuurkrachten. De Bijbel bericht vooral over religie en moraal op literaire wijze. Dat er wel degelijk historische gebeurtenissen worden beschreven klopt ook, maar deze kun je vaak niet al te letterlijk opvatten; ze zijn in een heilskader gevat, oftewel bijgekleurd zo niet vertekend. De hieronder cursief gedrukte citaten zijn afkomstig uit de Bijbel.

Een mooie beschrijving van een langverschuivende breuk vind je bij de profeet Zacharia. Of deze profeet in werkelijkheid bestaan heeft, is niet duidelijk, want het Bijbelboek bundelt verschillende teksten die ergens tussen 500 en 200 v. Chr. zijn geschreven. Zacharia 14:4 luidt: *"Die dag zal hij (God) zijn voeten op de Olijfberg planten, ten oosten van Jeruzalem. De Olijfberg zal in tweeën splijten: de ene helft glijdt weg naar het noorden en de andere naar het zuiden, zodat er een breed dal ontstaat van oost naar west"*. Je ziet de Dode Zee-transformbreuk om zo te zeggen ontstaan. Zacharia vervolgt: *"Jullie zullen wegvluch-*

ten, het dal in tussen die twee bergketens zoals jullie ook gevlucht zijn bij de aardbeving in de tijd dat koning Uzziia regeerde over Juda". Koning Uzziia leefde inderdaad ongeveer 400 jaar eerder en de aardbeving die in zijn tijd het land teisterde, moet een hele zware zijn geweest, anders praat een volk er eeuwen later niet nog steeds over. Archeologen hebben ontdekt dat dit een van de zwaarste bevingen moet zijn geweest die Jeruzalem ooit heeft getroffen.

In de tijd dat koning Uzziia regeerde, rond 760-750 v. Chr., leefde de profeet Amos. Zijn Bijbelboek begint dan ook met de mededeling dat hij twee jaar voor dé aardbeving profeteerde. Amos herinnert zijn volk eraan dat er misdaden zijn begaan. Daarom (hfst. 2) "zal ik de grond onder jullie voeten doen kraken... zelfs de dapperste held zal naakt moeten vluchten die dag – spreek de Heer". De aardbeving ten tijde van Uzziia kan door archeologen gedateerd worden op 760 v. Chr. omdat de door een aardbeving verstoorde laag 6 uit de opgegraven stad Hazor uit de tijd stamt dat Amos profeteerde. Hazor was een nederzetting ten noorden van het Meer van Galilea. Juist laag 6 bevat resten van gebouwen die onmiskenbaar door een zware aardbeving zijn vernield (Bentor, 1989; Austin et al., 2000). Ook op vijf andere opgravingslocaties zijn aanwijzingen gevonden voor deze beving. Austin en collega's gaan uit van een magnitude tussen 7.8 en 8.2, waarbij het epicentrum waarschijnlijk in Libanon lag omdat de gevolgen van de beving zuidwaarts afnamen.

Intocht in Kanaän

Een ander boeiend verhaal waarin tektoniek en aardverschuivingen een belangrijke rol spelen is de intocht van de Israëlieten in "het beloofde land", oftewel de verovering van het land Kanaän, die begon met de val van de stad Jericho. Deze gebeurtenis plaatsen archeologen in de 13de eeuw v. Chr. (C14-ouderdom komt uit op 3311±13 jaar geleden; Bruins en van der Plicht, 1996). De intocht wordt beschreven in het boek Jozua (hfst. 4-6). Voorafgaand aan de verovering van het land moesten de Israëlieten de Jordaan oversteken. Kijk wat er gebeurde (Jozua 3:14-17): "Toen het volk het kamp had opgebroken om de Jordaan over te trekken, gingen de priesters die de ark van het verbond droegen voor het volk uit. Zodra de priesters bij de Jordaan waren gekomen en hun voeten door het water werden omspoeld – de Jordaan stond de hele oogsttijd buiten zijn oevers – kwam het water tot stilstand en vormde het een dam, heel in de verte bij de stad Adam, die vlak bij Saretan ligt. Het water dat naar de Zoutzee ging, ofwel de Dode Zee, stroomde helemaal weg. Het volk trok over ter hoogte van Jericho. De priesters die de ark van het verbond met de Heer droegen, bleven precies in het midden van de bedding van de Jordaan staan, terwijl heel Israël overtrok, tot de laatste man." En ten slotte Jozua 4:18:



Afb. 11. De 15e eeuwse Franse schilder Jean Fouquet liet zich inspireren door het verhaal over de inname van Jericho. Op de voorgrond de Ark van het Verbond en de blazers met hun hoorns. Halverwege de achtergrond de omgevallen stadsmuur. Helemaal op de achtergrond de inmiddels weer rustig stromende Jordaan.

"...en toen de priesters die de ark van het verbond met de Heer droegen uit de Jordaan kwamen en de oever betraden hernam het water zijn loop en trad het weer buiten zijn oevers zoals het eerder gedaan had."

Wat gebeurde er? De oude stad Adam heet nu Damiya en ligt 30 km ten noorden van Jericho aan de oostkant van de Jordaan (afb. 2). De sterk meanderende Jordaan (afb. 10) snijdt daar Pleistocene meerafzettingen aan die gevoelig zijn voor aardverschuivingen (Bentor, 1989). Dat weten we omdat in recentere tijden, te weten in de jaren 1160, 1267, 1534, 1834, 1906 en 1927, zich daar ook grote oeververzakkingen hebben voorgedaan. Uit verslagen is bekend dat de instortende steile oever (afb. 2) de rivier voor enkele uren tot een hele dag afdamde. Stroomafwaarts liep de rivier dus leeg, waarna weer herstel van de oude loop optrad als het opgestuwde water over de barrière heen spoelde. In 1927 raakte de rivier 21 uur afgedamd door de zwaarste beving in Palestina van de 20e eeuw, die een magnitude had van 6.2. In 1534 duurde de afdamming zelfs twee etmalen. Na deze oversteek met droge voeten is de stad Jericho dus aan de beurt om ingenomen te worden. Met zekerheid is Jericho een van de alleroudste steden ter wereld. Reeds tijdens het Mesolithicum (12.500 v. Chr.) was er bewoning. De oudste stadsmuren zijn gedateerd op 7000 v. Chr. De stad was bijna onneembaar door de aanwezigheid van een (breukgebonden) bron binnen de stadsmuren. In de loop van de eeuwen is Jericho echter door de nodige aardbevingen getroffen en vaak herbouwd. De inname van de stad is volgens het Bijbelse verhaal het resultaat van geschal van de ramshoorns in combinatie met het gebruik van het volk op de zevende dag van hun zevende rondtocht die dag om de stad. Deze scène heeft in het verleden ook schilders geïnspireerd, waaronder de Franse schilder Fouquet (afb. 11). Archeologen nemen echter aan dat de zware aardbeving (dan wel een krachtige naschok) die de landslide veroorzaakte ook de stadsmuren heeft gescheurd, zo niet erger. In elk geval bleek de stad een makkelijke prooi. Een door een



Afb. 10. De meanderende Jordaan ter hoogte van Damiya, waar de rivier Pleistocene afzettingen van de Lisan Formatie erodeert. Deze oeverdelen zijn niet erg stabiel en kunnen voor aardverschuivingen zorgen en bij grote grondverplaatsing de Jordaan tijdelijk afdammen. Het noorden is rechts. Damiya ligt op de oostelijke Jordaanoevers, buiten dit beeld. Foto: Google Earth.

aardbeving omgevallen deel van de stadsmuur uit die tijd is teruggevonden, samen met vernielde aangebouwde behuizing. Daarin zijn resten van voedselvoorraden teruggevonden (zaden zijn gebruikt voor de al genoemde C14-dateringen) en er zijn sporen van brand. Omdat er opvallend veel voedselvoorraden lagen opgeslagen, was het kennelijk oogsttijd tijdens die beving, wat aansluit bij het Bijbelrelaas.

In het verhaal over de inname hoefden de Israëlieten alleen maar toeterend rondjes om de stad te lopen, waarna de muren op de zevende dag als bij toverslag instortten. Een persoonlijke interpretatie van Jozua 6 is dat de aardbeving gepaard ging met een dreunend geluid dat doorklinkt in de vorm van schallende ramshoorns en gejuich van de omsingelaars. Ik bedacht me dit omdat de aardbeving van Roermond, op 13 april 1992, mij tijdens een geologische excursie in de Ardennen met diep gedreun heeft gewekt. Ik werd wakker door de plotselinge droomverschijning van een enorme walvis die een diep oergeluid uitstootte. Schuddend op mijn bed werd ik wakker en hoorde het langzaam wegstervend geluid als van een soort voorbij denderende, superzware goederentrein. Alvorens de nachtrust weer te hervatten noteerde ik nog in mijn veldboek: "3 u.27, aardbeving, ± kracht 5". Het meest opvallend toen was dat geen enkele student zich door moeder Aarde wakker liet schudden. De volgende ochtend bleek "Roermond" hét grote nieuws van de dag te zijn.

Bruins en van der Plicht (1996) vroegen zich in hun artikel af of de val van Jericho, die volgens het Bijbelverhaal 40 jaar na de uittocht uit Egypte volgde, zou kunnen kloppen. De uittocht uit Egypte wordt wel verklaard als een direct gevolg van de plagen in Egypte, die op hun beurt zouden samenhangen met de uitbarsting van de Thera- (=Santorini-) vulkaan. Er bestaan echter meer theorieën over de aard en timing van de uittocht van de Israëlieten (als dat al historisch juist is); er is te weinig hard feitenmateriaal. Wel is zeker dat de enorme aswolk over Kreta in de richting van de Nijldelta is gewaaid met alle overlast van dien, zo niet erger vanwege een enorme tsunami die in elk geval de kust van Noord-Kreta teisterde. De ouderdom van de explosie van Thera is bekend door C14-datering van hout dat door de as werd verkoold (tussen 1646-1603 v. Chr., Manning et al., 2014) in combinatie met dendrochronologische gegevens. Een flinke afwijking in de groei van bomen uit die tijd wijst namelijk op een plotselinge klimatologische omslag. Een kolossale vulkaanramp veroorzaakte wereldwijd een tijdelijke klimaatverslechtering, die jaarringen registreert. Die ouderdom is gesteld op 1628 v. Chr. (Wikipedia; Bruins en van der Plicht 1996). Deze laatstgenoemde auteurs wijzen er dan ook op dat dit gegeven, in combinatie met de datering van de zaden uit Jericho, inderdaad op historische juistheid kan wijzen.

Over seismieten

Een *seismiet* is simpel gezegd een sedimentaire structuur die is ontstaan door een verstoring van de gelaagdheid onder invloed van een aardbeving. Deze term berust op interpretatie; je kunt deze dus niet zomaar gebruiken. Voor je van een seismiet mag spreken, moet je over een set gegevens beschikken die samen ondubbelzinnig in de richting van het ontstaan door een aardbeving wijzen; kortom, werk voor kenners. De al eerder gebruikte term van intraclast-breccies is feitelijk een geschiktere term. Deze is objectief en slaat op het uiterlijk van de laag. Vandaar dat deze term graag gebruikt wordt voor althans een bepaald type seismieten.

De sedimenten in het Dode Zee Bekken zijn in principe erg geschikt voor de registratie van aardbevingsstructuren. Dit komt door diverse factoren: 1) Afwisselende seizoensgebonden sedimentatie ('nat-droog') zonder verstoring door woelende organismen. 2) De lagen zijn niet scheefgesteld door de tektoniek; er was daardoor geen aanleiding voor interne verglijding (slump) onder invloed van een bestaande helling. 3) Dungelaagde, seizoensgebonden afzettingen zijn door snel wisselende dichtheids-

verschillen relatief makkelijk door schokken te deformeren. De schokgolven van een aardbeving veroorzaken een grondversnelling waardoor schuifspanning (*shear*) ontstaat tussen water en het bovenste sediment op de bodem en tussen die sedimenttop en het sediment daaronder. Factoren als grondversnelling, dichtheid, dikte en viscositeit van de laag spelen een rol bij het uiteindelijk optredende effect. Nog niet zo lang geleden (Wetzler et al., 2010) is aangetoond dat de gevonden deformatiestructuren in de vorm van kleinere en grotere plooiën tot aan gebreccieerde lagen hun ontstaan vooral danken aan de zogeheten Kelvin-Helmholtz-(KH-)instabiliteit. Deze instabiliteit ontstaat als twee niet vaste stoffen met een verschillende snelheid ten opzichte van elkaar bewegen. Op het scheidingsvlak zullen door optredende schuifspanning golven ontstaan die zich kunnen doorontwikkelen tot wervels in het bewegende medium. Met name in de atmosfeer kunnen KH-wolken soms mooi zichtbaar zijn (afb. 12). Maar ook golven die zich over een zandige bodem bewegen maken ribbels, net zoals de wind die



Afb. 12. Voorbeeld van Kelvin-Helmholtz-instabiliteit bij wolkenvorming.

over een korenveld strijkt. Ook in vochtig, onverhard sediment zal door de grondversnelling de bovenkant sneller bewegen dan de onderkant, waardoor het sediment ertussen om zo te zeggen meegetrokken wordt. Hoe heftiger de beweging, hoe complexer de werveling. Ik kan dit illustreren (afb. 13) met een voorbeeld uit eigen vroeger onderzoek in Zuidoost-Spanje, waar Laat-Miocene, maar qua afzettingomstandigheden vergelijkbare afzettingen voorkomen (Fortuin en Dabrio, 2008). In dit Spaanse voorbeeld was er eveneens sprake van wisselende seizoensgebonden laagtheid. Op afb. 13 zijn drie verschillende seismieten (A, B en C) te zien, waarvan de onderste en de bovenste duidelijk het effect van KH-instabiliteit tonen.

Nu is KH-instabiliteit niet de enige deformatiefactor. Zoals eer-



Afb. 13. Detailopname (vulpotlood als schaal: 15 cm) van een drietal seismieten (A, B, C) in de Laat-Messinien ("Lago Mare") afzettingen van het Nijar Bekken, ZO-Spanje. De lagen A en C tonen een mooi voorbeeld van Kelvin-Helmholtz-instabiliteit in sediment. De laagjes in interval B zijn vooral geslump (vergelijk deze met de veel grotere slumps van afb. 14).

der opgemerkt, kunnen vloedgolven in het meer hierbij een rol gespeeld hebben. Ook kunnen er slumpplooiën gevormd worden. In de Pleistocene Lisan Formatie komen bijzonder fraaie slumpplooiën voor (afb. 14). Slumping van lagen wordt primair door de zwaartekracht aangedreven, ook al kunnen deze, zoals in het DZB, ontstaan op hellingen van minder dan één graad.



Afb. 14. Voorbeelden van geslumpte lagen in de Pleistocene Dode Zee-afzettingen (Lisan Formatie), daterend uit de tijd dat het Lisan Meer een groot deel van het Jordaandal in beslag nam. Deze plooiën zijn ontsloten bij Peratzim, gelegen bij het zuidwestelijke uiteinde van de Dode Zee. De plooi-richting van de geslumpte lagen is naar het noordoosten en volgt daarmee het uiterst zwakke voormalige bodemreliëf ter plaatse ($<1^\circ$). Het schuiven en plooiën is echter aangestuurd door een aardbeving. Schaalbalk is 1m. Afbeelding uit Alsop en Marco, 2011; (fig. 6).

Alsop en Marco (2011) hebben echter aangetoond dat hun vorming in het Dode Zee-bekken wel degelijk een direct gevolg is van seismische activiteit. Ook elders in de wereld is dat meer dan eens aangetoond. De zwakke bodemhelling bleek niet bepalend voor sedimentbeweging, maar beïnvloedde wel de richting van de plooiënvorming. De schok veroorzaakt een 'duw' (translatie) in een bepaalde richting waardoor de bovenste lagen loslaten van de lagen daaronder en gaan schuiven en plooiën (zoals een plooiënd tafellaken). Een deel van het sediment raakt daarbij echter ook in suspensie en als vervolgens de zaak tot rust komt zal het opgewerkte sediment uitzakken boven deze plooiën. Recent (Alsop en Marco, 2012) is ook gekeken naar de effecten van vloedgolven in dit Dode Zee-bekken door aardbevingen. Ten minste in enkele lagen blijkt heen en weer bewegen van slumpend (afglijdend) sediment aantoonbaar. Dit wordt verklaard als een gevolg van het feit dat de aardbeving het sediment in beweging laat komen, maar dat een in het meer ontstane en iets later overtrekkende naar de kust gerichte vloedgolf een tegengestelde sedimentbeweging in gang zet (maar wel op veel kleinere schaal). Dit soort verhalen is voer voor specialisten; voor ons is de relatie met historische bevingen interessanter.

Intraclast-breccies als getuigen van historische bevingen

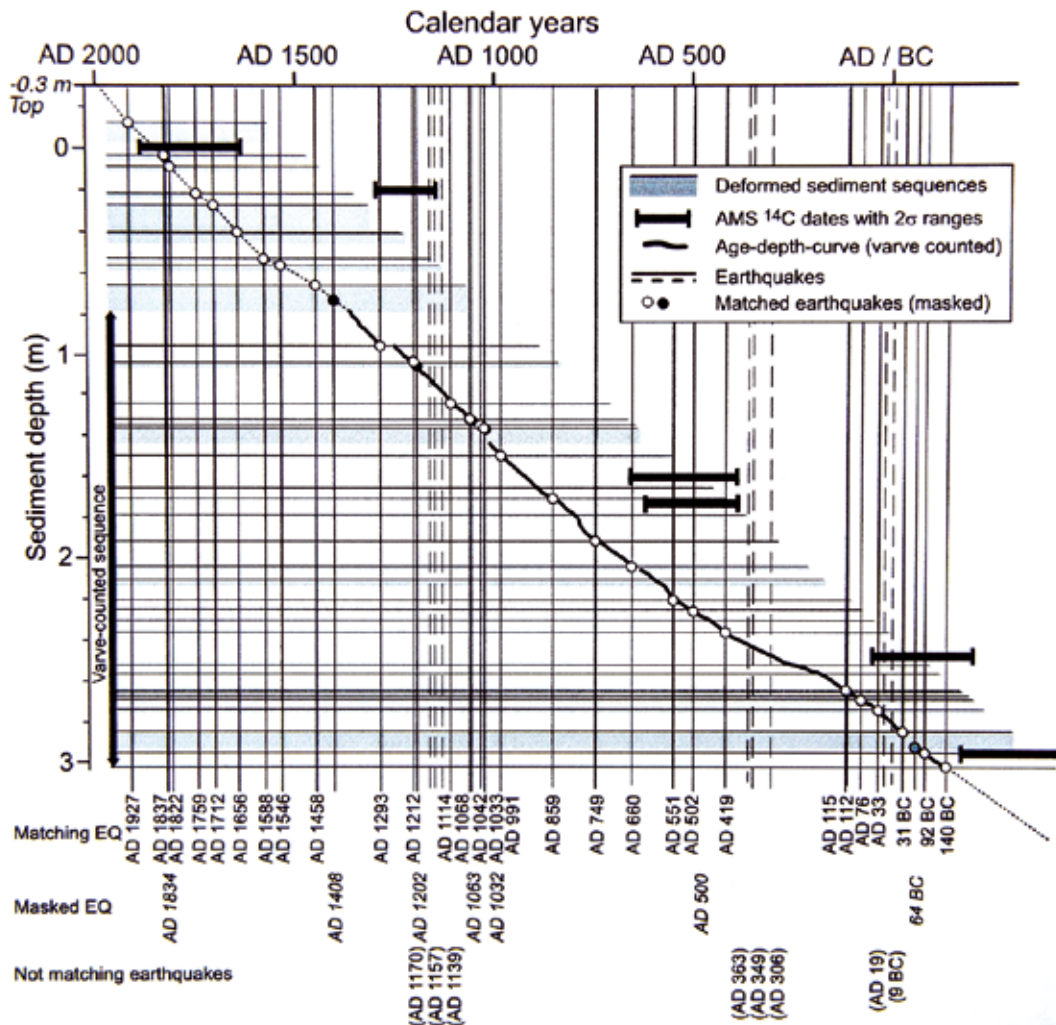
Nadat door eerder onderzoek overtuigend was aangetoond dat de waargenomen intraclast-breccies ook echte seismieten moesten zijn, kwam de vraag op of dit soort afzettingen zou kunnen overeenkomen met uit de historie bekende krachtige aardbevingen. Om deze vraag te kunnen beantwoorden ontstond een vruchtbaar samenwerkingsverband tussen Duitse en Israëlische geologen. Als basisvoorwaarde voor dit onderzoek zouden ruimschoots C14-dateringen beschikbaar moeten komen en minstens één goede boorkern voor onderzoek in het lab; het liefst zonder hiaten. Want inmiddels was al duidelijk

geworden dat sommige sedimentkernen hiaten bevatten als gevolg van droogval door tijdelijke verlaging van het Dode Zee-niveau in droge perioden. Bij Ein Gedi, halverwege de westoever van de Dode Zee (afb. 2, 9), is een 21 m lange kern door het hele Holoceen aangeboord zonder hiaten. Van deze kern is het historisch traceerbare deel minutieus onderzocht. Die eindresultaten zijn in diverse artikelen verwerkt (o.a. Migowski et al., 2004 en Agnon et al., 2006). Een van de spannendste dingen van dat onderzoek was het testen van de hypothese dat de waargenomen afwisselingen - van de zomerlaagjes aragoniet en van de winteraanvoer van silt en klei - ook inderdaad jaarbanden zijn. Van de Ein Gedi-kern werd een interval met 1500 van deze afwisselingen (coupletten) geteld en wel het interval tussen 78-302 cm (van de totale kern van 21 m). Dat interval zou dan moeten overeenkomen met de periode AD 1400 - 100 v. Chr., een tijdsinterval waarover veel historische informatie ten aanzien van aardbevingen beschikbaar is. De lagen werden grotendeels onder de microscoop geteld vanwege hun fijnheid. Van dit interval werden 21 C14-dateringen uitgevoerd. Het eindresultaat is in een diagram afgebeeld (afb. 15; uit Migowski et al., 2004). Het laat zich als volgt lezen: de horizontale bovenlijn is de tijdas, met indeling in jaartallen. Linksboven is het heden (AD = Anno Domini = na Christus; BC is vóór Christus). De verticale as geeft de lengte van het bestudeerde deel van de boorkern, met de top bovenin. De dikkere lijn opzij van deze verticale as geeft het interval aan waarvan de coupletten ('varven') zijn geteld. Van linksboven naar rechtsonder is de curve aangegeven die sedimentdikte en aantallen jaarcoupletten koppelt (age-depth curve). Dat deze curve niet erg slingert geeft aan dat de sedimentatie gemiddeld een vrij constante snelheid had, ongeveer 1,5 m per 1000 jaar. Op de tijdlijn onder - en dan met een verticale lijn naar boven - zijn alle aardbevingen met een op historische gronden bepaalde intensiteit ($>VII$) aangegeven.

Een probleem dat zich voordeed bij het testen en correleren van de Ein Gedi-kern was dat de getelde seismieten een zekere hoeveelheid sediment hebben opgewerkt en die jaarbandjes ben je dus kwijt. Maar ze nemen wel een bepaalde dikte in (in grijs aangegeven), die een zekere maat is voor het opgewerkte sediment. Door de gemiddelde sedimentatiecurve (de zwarte lijn) aan te houden kom je toch redelijk uit. Het eindresultaat is dat de meeste historische aardbevingen goed in het profiel zijn in te passen ("matched earthquakes"). Sommige passen echter niet precies of zijn niet zijn terug te vinden in de sectie (de gestippelde verticale lijn). Een mogelijke verklaring is dat de bevingen in het Dode Zee-gebied niet krachtig genoeg waren, of is mogelijk - als twee bevingen elkaar relatief snel opvolgen - de seismiet van de vorige beving weer opgewerkt door de latere, zeker als deze krachtig genoeg was ("masked earthquake"). Een bijkomend probleem is dat sommige dateringen een afwijkende ouderdom opleverden (de dikke horizontale zwarte lijn geeft de gemeten ouderdom met twee maal de standaardafwijking). Deze dateringen vallen duidelijk ver buiten de curve. Mogelijk is het gemonsterde plantaardige materiaal ooit opgewerkt en in jongere lagen terechtgekomen. Hoe dan ook, het totaal van het onderzoek geeft overtuigend aan dat de sedimentcoupletten inderdaad als jaarbandjes zijn op te vatten en dat krachtige bevingen de bodem van de Dode Zee letterlijk konden opschudden.

De 31 v. Chr. – AD 33 bevingen

Rond het begin van onze jaartelling worden er steeds twee aardbevingen genoemd. Uit die tijd dateren twee intraclast-breccieniveaus. Afb. 8 toont deze in een afgegraven sedimentinterval in de erosiegeul bij Ein Gedi. Ze liggen op een onderlinge afstand van ca. 17 cm en worden op de foto gemarkeerd door een briefje. Het bovenste zegt AD 33 en de ander is de als 31 voor Chr. gedateerde seismiet (zie ook afb. 15). Deze foto, die de Amerikaanse geoloog-seismoloog Jeff Williams ter beschikking stelde, heeft te maken met zijn onderzoek naar de vraag of die AD 33 aardbeving wel historisch is. Deze beving wordt namelijk alleen beschreven in het verhaal over de kruisiging



Afb. 15. Diagram dat de relatie toont tussen sedimentdikte (verticale as) en ouderdom (horizontale as) van het bovendeel van de kern die door Claudia Migowski en collega's (2004) is bestudeerd om de relatie tussen intraclast-breccieniveaus (in grijs) en historische bevingen na te gaan. De ouderdom van het sediment is gebaseerd op C14-dateringen. Met verticale lijnen zijn de tijdstippen van alle bekende en in aanmerking komende historische dateringen aangegeven van de laatste ruim 2000 jaar. Het merendeel van deze aardbevingen valt op de goede plek in de (in zwart aangegeven) ouderdom - diepte curve ("Matching EQ"; EQ = aardbeving). Een klein deel (7) zit qua ouderdom zo dicht bij de daaropvolgende beving, dat wordt aangenomen dat de oudere verstoorte laag bij de iets latere aardbeving weer is opgewerkt ("Masked EQ"). Ten slotte zijn er acht bevingen die niet goed zijn te plaatsen. Een mogelijke reden kan zijn dat deze aardbevingen niet krachtig genoeg waren om een intraclast-breccie te genereren. Diagram is fig. 4 uit Migowski et al., 2004.

van Jezus in het evangelie van Mattheus. Desondanks is deze beving opgenomen in sommige catalogi van historische aardbevingen. Afb. 15 geeft aan dat Migowski en collegae deze AD 33 beving op grond van een gevonden seismiet wel als zodanig hebben aangegeven. Maar Williams, een agnost, is samen met Duitse collega's nog eens serieus nagegaan in hoeverre deze datering terecht is (Williams et al., 2011) en nam de Ein Gedikernen nog eens onder de loep. Niet alle seizoenlaagjes zijn namelijk even duidelijk ontwikkeld.

De 31 v. Chr.-aardbeving is wel duidelijk ontwikkeld, relatief dik en goed te correleren naar verschillende ontsluitingen. Een gidsniveau om zo te zeggen. Zoals al eerder vermeld maakte deze beving niet alleen veel slachtoffers (intensiteit XI), maar hielp ook koning Herodes aan een overwinning. Ook de tempel in Jeruzalem liep schade op.

Na nauwkeurige hertelling en het uitsluiten van beïnvloeding door verder verwijderde aardbevingen in dezelfde periode komen Williams en collegae tot de conclusie dat er wel degelijk een aardbeving was binnen het interval AD 26-36, oftewel gedurende de regering van Pontius Pilatus, die Jezus van Nazareth veroordeelde. Dat betekent overigens nog niet dat deze aardbeving letterlijk samenviel met de kruisiging van Jezus, want het feit van een beving in die jaren kan zijn gebruikt om de kruisdood van Jezus een meer bijzondere betekenis te geven, zoals ook veel andere gebeurtenissen rondom Jezus niet letterlijk juist zijn. Deze AD 33-seismiet blijft intrigerend omdat deze, bij een juiste datering, een aardbeving betreft die niet buiten de Bijbel om de geschiedenisboeken heeft gehaald en daarom niet bijzonder krachtig geweest zal zijn.

Dankwoord

Hierbij een woord van dank aan Jefferson B. Williams (USA)

voor het ter beschikking stellen van meerdere foto's van Dode Zee-afzettingen.

Literatuur

- Alsop, G.I. en Marco, S., 2011. Soft-sediment deformation within seismogenic slumps of the Dead Sea Basin. *Journal of Structural Geology*, 33: 433-457.
- Alsop, G.I. en Marco, S., 2012. Tsunami and seiche-triggered deformation within offshore sediments. *Sedimentary Geology*, 261-262: 90-107.
- Agnon, A., Migowski, C. and Marco, S., 2006. Intraclast breccias in laminated sequences reviewed: Recorders of paleo-earthquakes. *Geol. Society of America, Special Paper 401*: 195-214.
- Austin, S.A., Gordon W. F. and Frost, E.G., 2000. Amos's Earthquake: an extraordinary Middle East seismic event of 750 B.C. *International Geology Review*, 42(7): 657-671.
- Ben-Avraham, Z., Lazar, M., Schattner, U. and Marco, S., 2005. The Dead Sea and its effect on civilization. In: F. Wenzel (ed.), *Lecture Notes in Earth Sciences: Perspectives in Modern Seismology*, Springer Verlag Heidelberg, v. 105, p. 147-170.
- Bendor, Y.K., 1989. Geological events in the bible. *Terra Nova*, 1(4): 326-338.
- Bruins, H.J. and van der Plicht, J., 1996. The Exodus enigma. *Nature*, 382:213-214.
- Ellenblum, R., Marco, S., Agnon, A., Rockwell, Th. and Boas, A., 1998. Crusader castle torn apart by earthquake at dawn, 20 May 1212. *Geology*, 26: 303-306. Zie ook deze website: www.vadumiacob.huji.ac.il/geological.html.
- Fortuin, A.R. and Dabrio, C.J., Evidence for Late Messinian seismites, Nijar Basin, south-east Spain. *Sedimentology*, 55: 1595-1622.

- Gomez, F., Nemer, T., Tabet, C., Khawli, M., Meghraoui, M. and Barazangi, M., 2007. Strain partitioning of active transpression within the Lebanese restraining bend of the Dead Sea Fault (Lebanon and SW Syria). Geological Society, London, Special Publications, 290: 285-303.
- Kanari, M., Marco, S. and Agnon, A., 2014. Heidbach, O., Ben-Avraham, Z., 2007: Stress evolution and seismic hazard of the Dead Sea Fault System. Earth and Planetary Science Letters, 257, 1-2: 299-312.
- Manning, S.W., Höflmayer, F., Moeller, N., Dee, M.W., Ramsey, C.B., Fleitmann, D., Higham, Th., Kutschera, W and Wild, E.M., 2014. Dating the Thera (Santorini) eruption: archaeological and scientific evidence supporting a high chronology. Antiquity, 88: 1164-1179.
- Marco, S., 2008. Recognition of earthquake-related damage in archaeological sites: Examples from the Dead Sea fault zone. Tectonophysics, 453: 148-156.
- Marco, S., Agnon, A. and Ellenblum, R., 2009. The history of the Frankish Castle of Vadum Iacob. In: Field Guide Sea of Galilee, p. 36-41. Uitg. Geol. Dienst Israël.
- Marco, S., Hartal, M., Hazan, N., Lev, L. and Stein, M., 2003. Archaeology, history, and geology of the A.D. 749 earthquake, Dead Sea transform. Geology, 8, 665-668.
- Migowski, C., Agnon, A., Bookman, R., Negendank, J.F.W. and Stein, M., 2004. Recurrence pattern of Holocene earthquakes along the Dead Sea transform revealed by varve-counting and radiocarbon dating of lacustrine sediments. Earth and Planetary Science letters, 222: 301-314.
- Reilinger, R. and McClusky, S. 2011. Nubia–Arabia–Eurasia plate motions and the dynamics of Mediterranean and Middle East tectonics Geoph. J. International, 186: 971-979.
- Stein, M., 2003. The limnological history of late Pleistocene – Holocene water bodies in the Dead Sea basin. Geol. Survey Israel. Zie website Mordechai Stein.
- Wechsler, N., Rockwell, T.K., Klinger, Y., Štápaníková, P., 2014. A Paleoseismic Record of Earthquakes for the Dead Sea Transform Fault between the First and Seventh Centuries C.E.: Nonperiodic Behavior of a Plate Boundary Fault. Bull. of the Seismological Society of America, 104 (3). DOI: 10.1785/0120130304.
- Wechsler, N., Katz, O., Dray, Y., Gonen, I. and Marco, S., 2008. Estimating location and size of historical earthquake by combining archaeology and geology in Umm-El-Qanatir, Dead Sea Transform. Natural Hazards, DOI 10.1007/s11069-008-9315-6.
- Wetzler, N., Marco, S., and Heifetz, E., 2010. Quantitative analysis of seismogenic shear induced turbulence in lake sediments. Geology, 38: 303-306.
- Williams, J.B., Schwab, M.J. and Brauer, A., 2011. An early first century earthquake in the Dead Sea. Int. Geology Review, 1-10, DOI:10.1080/00206814.2011.639996.

Aanbevolen websites:

- Vadum Jacob Research Project: <http://vadumiacob.huji.ac.il/geological.html>
- Veel fotoinformatie over Hippos (Sussita) is te vinden op de website: www.biblewalks.com/sites/Hippos.html
- De persoonlijke website van geoloog Shmulik Marco geeft de nodige interessante plaatjes: <http://www.tau.ac.il/~shmulikm/>
- Ook de website van Jeff Williams is de moeite waard om te bekijken vanwege de problematiek inzake de 31 BC en AB 33 aardbevingen. Deze geeft ook links naar aanverwante onderwerpen: <http://www.deadseaquake.info/>
- Zie een artikel door professor Manning voor een interessante, maar pittige, actuele discussie over datering van de uitbarsting van Thera/Santorini en noodzakelijke bijstelling van de traditionele archeologische chronologie van Egypte: <http://blogs.cornell.edu/sturtmanning/2014/07/07/therasantorini-date-debate-whats-new-and-why-is-it-important/>