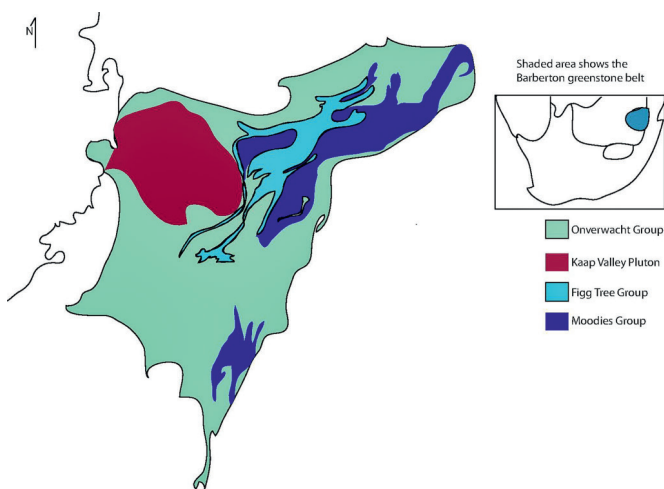


De aarde tijdens het Archeïcum: Barberton, Zuid-Afrika

door Josje Kriest, redacteur Gea
redactie.kriest@gea-geologie

In het noordoosten van Zuid-Afrika, vlak bij de grens met Swaziland, liggen sommige van de oudste gesteenten ter wereld. Ze zijn tussen 3550 en 3215 miljoen (3,5-3,2 miljard!) jaar geleden afgezet tijdens het Archeïcum (het tijdvak binnen het Precambrium tussen 2,5 en 4 miljard jaar, volgend op het Hadeïcum) en geven een goed beeld van de aarde in de vroegste dagen van haar bestaan. In dit artikel beschrijf ik deze 'greenstone belt' bij het plaatsje Barberton.



Afb. 1. Locatie van de Barberton Greenstone Belt. Barberton ligt aan de zuidoostkant van het roodgekleurde Kaap Valley Pluton. De groene en blauwe kleuren geven de verschillende formaties weer die men in dit gebied onderscheidt. Groen: de Onverwacht Group (3550-3260 Ma). Lichtblauw: de Figg Tree Group (3260-3225 Ma). Donkerblauw: de Moodies Group (3225-3215 Ma). Foto: Publiek domein CCA-SA 3.0.

De eerste goudmijnen van Zuid-Afrika

Barberton is een klein plaatsje in de provincie Mpumalanga in Zuid-Afrika, gelegen aan de voet van de Barberton Mountains, die ook wel de Makhonjwa Mountains worden genoemd. De Barberton Mountains vormen de zuidoostelijke rand van een komvormig gebied, de Kaap Valley (afb. 1).

De Kaap Valley en de haar omringende bergen herbergen enkele van de oudste goudmijnen van Zuid-Afrika, die teruggaan tot 1883. De Sheba Gold Mine is nog steeds operationeel. Oude foto's in het museum van Barberton laten zien, dat het gebied ten tijde van de Goldrush bestond uit grasland, zonder bomen. De eerste tenten van de goudzoekers stonden in open weiland (afb. 2). In de daarop volgende - rijke - dagen van eind 19^e eeuw zijn in Barberton fraaie huizen en gebouwen neergezet, en men legde weelderige tuinen aan met (exotische) bomen, zoals gomen en pijnbomen. Enkele van die voorname huizen zijn thans te bezichtigen (afb. 3). Rondom het plaatsje zijn enkele townships ontstaan en Barberton is uitgegroeid tot een dorp van zo'n 12.000 inwoners. Tegenwoordig is het hele gebied redelijk begroeid, zeker in de heuvel- en berglanden rondom de vallei. Men doet daar zelfs aan bosbouw, met grote percelen aangeplante dennen.



Afb. 2. Eureka City, één van de goudmijnerskampen rondom Barberton. Het werd rond 1886 gesticht boven op een berg, om malaria tegen te gaan. Het ligt vlak bij de 'Sheba breuk', waarlangs veel goud is gevonden. Foto: Publiek domein.



Afb. 3. Eén van de fraaie oude huizen in Barberton: Belhaven House, 1904. Foto: Andrew Hall, CCA-SA 3.0.

Wereld Erfgoed

De gesteenten rondom Barberton dateren uit de begindagen van de aarde. Vaak hebben dit soort gesteenten een groenige kleur, door o.a. het mineraal chloriet, dat ontstaat bij lichte metamorfose, en dat verklaart de algemene naam 'greenstone belt'. Wat de Barberton Greenstone Belt zo bijzonder maakt, is de conservering van deze oeroude gesteenten en hun structuren. Anders dan in de meeste greenstone belts, zijn de Archeïsche gesteenten bij Barberton niet of nauwelijks gemetamorfoseerd. Deze greenstone belt oogt daarom ook niet zo groen! Door het ontbreken van metamorfose zijn de afzettingsstructuren daarom juist bijzonder goed zichtbaar en vertellen de gesteenten het complete verhaal van de begindagen van de aarde. Het gebied is daarom in 2018 uitgeroepen tot Wereld Erfgoed en er is een rondrit - een Geotrail - met goede informatie-tableaus aangelegd door dit geologisch zo interessante gebied



Afb. 4. Eén van de informatieborden langs de Geotrail. Foto: A. Groenendijk.

(afb. 4). De verschillende gesteenten die te zien zijn, beschrijf ik verderop in dit artikel, maar eerst geef ik een introductie over de jeugdige aarde.

De aarde in haar begindagen

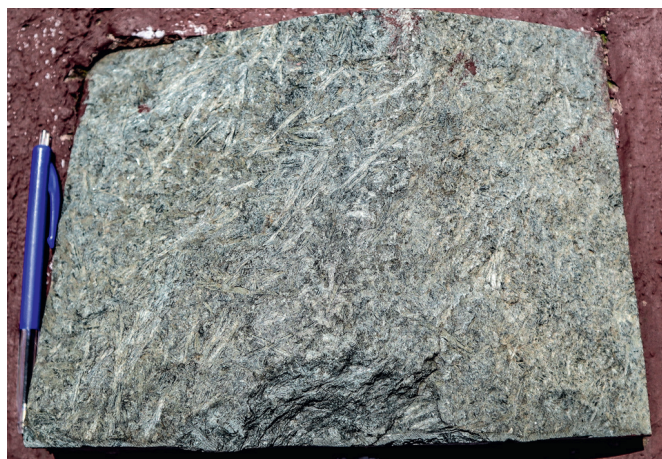
Zo'n 9 miljard jaar na de Big Bang begonnen stof en gassen samen te klonteren tot ons zonnestelsel. In die tijd, 4,6 miljard jaar geleden, waren de ons bekende planeten nog niet wat ze nu zijn. Aanvankelijk was de aarde een vast hemellichaam, maar door voortdurende bombardementen van andere hemellichamen (meteorieten etc.) zorgde de grote kinetische energie voor het smelten van de proto-aarde. Zwaartekracht zorgde voor een splitsing van de aarde in een vaste kern en een mantel met een kleinere dichtheid.

De botsing met een heel groot hemellichaam zorgde voor het verdampen van een deel van de aardmantel, waarna de damp condenseerde en d.m.v. de zwaartekracht de maan vormde. Hoe de maan precies is gevormd is overigens nog steeds onderwerp van debat. Maar de maan is gevormd, en die 'drijft' - nog steeds - langzaam af van de aarde, met enkele centimeters per jaar. De gemiddelde afstand van maan tot aarde is nu 384.450 km. De maan stond destijds bijna half zo ver van de aarde als tegenwoordig en moet er dus heel groot uitgezien hebben.

De aarde koelde af en de mantel begon een vastere vorm aan te nemen, waarbij gassen vrijkwamen. Die gassen vormden de eerste atmosfeer, die vooral kooldioxide, waterdamp, koolmonoxide, stikstof, waterstof en argon bevatte en weinig tot geen zuurstof. Door de gestage afkoeling condenseerde de waterdamp en de aarde werd geleidelijk volledig bedekt door oceanen.

De mantel bleef instabiel en vloeibaar materiaal kwam door scheuren in de verharde huid naar boven. Rond 3,5 miljard jaar geleden bracht dat mantelmateriaal onderzeese lava's naar boven en de eerste echte oceanische korst werd gevormd. Die eerste onderzeese lava's hadden een aparte chemische samenstelling en ze worden komatiïten genoemd, naar een riviertje niet ver van Barberton. Komatiït is een ultramafisch gesteente (ultramafische gesteenten bevatten heel weinig kwarts), dat behalve weinig silica ook weinig kalium en aluminium bevat, maar wel heel veel magnesium. Belangrijkste mineralen zijn olivijn (met name de magnesiumrijke variant forsteriet), anorthiet (de calcium-aluminium plagioklaas) en calcium- en chroomrijke pyroxeen. Het ontstaat bij zeer hoge manteltemperaturen van rond 1650 graden Celsius. Tijdens het Archeïcum was de mantel zo'n 500 graden heter dan nu, deels omdat de aarde nog steeds bestookt werd door veel projectielen uit het heelal en deels omdat het een groter aantal radioactieve elementen bevatte dan tegenwoordig, die hitte uitstralen. Bij het stollen van de lava tot komatiïten vormden de olivijnkristallen (Mg_2SiO_4) een specifieke structuur van lange, kleine plaatjes: spirifex (afb.5). Het lijkt op gras dat is afgesneden en door elkaar ligt.

Als gevolg van het onderzeese vulkanisme, werden uiteindelijk vulkanische eilanden gevormd, welke het eerste 'land' leverden. In de mantel bevonden zich mineralen met verschillende smeltpunten. Hieruit ontstond granitisch magma, dat met een soortelijk gewicht van $2,8 \text{ g/cm}^3$ lichter was dan het omringende ma-



Afb. 5. De plaatvormige 'spirifex'-textuur, heel kenmerkend voor komatiïten, de gesteenten van de eerste oceanische korst. Komatiïten worden gevormd bij extreem hoge manteltemperatuur, en de lava is daardoor uiterst vloeibaar. Bij het uitkristalliseren van de olivijn in de lava worden heel dunne plaatjes gevormd. Later verweren die olivijnkristallen uit, waardoor grasvormige depressies in het gesteente ontstaan: de spirifex. Foto: A. Groenendijk.

teriaal; de komatiït heeft een soortelijk gewicht van $3,3 \text{ g/cm}^3$. Dat granietachtige magma migreerde omhoog richting de oceanische korst en de eerste plutonen (intrusieve lichamen) ontstonden. Het Kaap Valley-plutoon, nu de ondergrond van de Kaap Valley, is er een voorbeeld van. Rond 3,2 miljard jaar geleden zorgde bewegingen in de mantel voor het samendrukken van zulke plutonen en vulkanische eilandreeksen tot de eerste continenten, aanvankelijk 'micro'-continenten. Op het zo gevormde land zorgde erosie voor de vroegste klastische sedimenten.

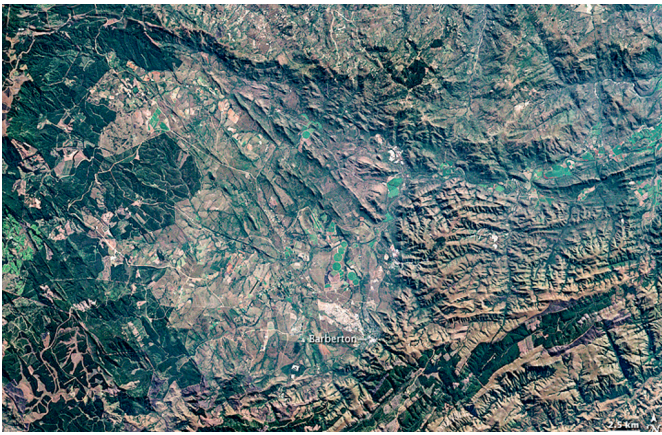
De aarde bij Barberton, nu...

Het eerste microcontinent, het Kaapvaal Craton, dat gevormd is uit het Kaap Valley-plutoon en enkele vulkanische eilanden, vormt thans de ondergrond van Zuid-Afrika's centrale plateau, en de Barberton Greenstone Belt maakt daar deel van uit. Het gebied werd vervormd en vervolgens begraven onder duizenden meters sediment gedurende honderden miljoenen jaren. Die bedekking zorgde voor bescherming tegen erosie. Aangezien er geen actieve tektonische plaatgrenzen in de buurt waren, bleef sterke deformatie - en daarmee metamorfose - uit. Pas in het Mesozoïcum, na het openbreken van supercontinent Gondwana, waarvan Afrika deel uit maakte, kwamen door erosie de vrijwel ongeschonden Archeïsche gesteenten aan het oppervlak. Het komvormige gebied van de Kaap Valley (afb. 6) doet den-

De aarde in het Archeïcum

De aarde bestond tussen 3,5 en 3,2 miljard jaar geleden voornamelijk uit heel warme oceanen - men schat 70 graden Celsius - met nauwelijks landmassa's en een zuurstofloze atmosfeer. Vulkanisch en van meteorietinslagen afkomstig stof verduisterde de planeet. Doordat de maan zo dicht bij de aarde stond, waren getijdenbewegingen extreem sterk. In de oceanen was al eencellig leven te vinden.

ken aan een vulkaan of een meteorietinslag. Dat is echter niet het geval. De kom is ontstaan door erosie van de granietintrusie: de Kaap Valley plutoon. Normaliter is graniet hard en niet makkelijk te eroderen. Echter, de Kaap Valley-graniet is rijk aan natrium en dat maakt het gesteente kwetsbaar voor (zuur) regenwater. Dit soort 'graniet' (tonaliet) bevat i.t.t. graniet geen kaliveldspaat, alleen plagioklaas, wat het vele natrium verklaart. Toen deze tonaliet werd opgeheven, werden de overliggende Archeïsche gesteenten meegenomen in die beweging en enig-



Afb. 6. Een satellietfoto van de Kaap Valley met onderin Barberton, dat aan de rand van een hoger gelegen gebied ligt (de Barberton Mountains). De komvorm van de Kaap Valley in het midden van de foto is goed te zien. De omringende bergen zijn scherp(er) afgetekend. Foto: NASA.

zins gedeformeerd. De hoogst gelegen delen (Archeïcum én tonaliet) werden aangetast door erosie, waardoor de kern van het pluton nu een kom vormt. Het Archeïcum is te vinden langs de randen.

De Geotrail bij Barberton loopt langs de rand van de Kaap Valley, door de Archeïsche gesteenten heen. Die gesteenten bestaan uit de vulkanische afzettingen van het eerste uur (de 'Onverwacht Group', die dateert van 3550-3260 Ma (1 Ma = 1 miljoen jaar geleden), diepwaterafzettingen - meest chemische maar ook klastische sedimenten (de 'Figg - of Fig - Tree Group' van 3260-3225 Ma), en de ondiep-water afzettingen en fluvia-tiele sedimenten die afkomstige waren van het eerste 'land'



A

Afb. 7. Kussenlava's. A. Een wand met kussenlava's. Onze gids in het gebied, Tony Ferrar, fungeert als schaal. Hij is één van de pleitbezorgers van de World Heritage Site en initiatiefnemer tot de Geotrail. B. Close-up van de rotswand. De ronde vormen van de kussenlava zijn zichtbaar als grijs-zwarte cirkels. Foto: A. Groenendijk.

(de 'Moodies Group' van 3225-3215 Ma). Zie afb. 1. De vulkanische afzettingen vormen het dikste pakket, van wel 9 km dikte. De Figg Tree en Moodies Group zijn beide rond de 3 km dik. De volgende beschrijving volgt de trail vanaf de grens met Swaziland tot aan Barberton. Het begint met het oudste gesteente, uit de tijd dat er nog geen land was, en eindigt in de tijd waarin de erosieproducten van het eerste land als klastische sedimenten werden afgezet.

Vulkanisme: kussenlava's en lapilli

De eerste oceanische korst (de komatiïeten met hun spirifex-textuur) is hierboven al beschreven. De route begint met kussenlava's. Kussenlava's worden gevormd wanneer hete lava in koud zeewater stolt. In deze vroege tijd kwam die lava door scheuren in de oceanische korst omhoog. Snelle afkoeling in het (toen relatief) koude oceanwater zorgt ervoor dat de lava stolt in de vorm van een soort ballon of kussen. De lava die daarna omhoog komt, kan de ballon opblazen, die vervolgens eventueel barst. Andere lava vormt nieuwe ballonnen, en de kussens worden op elkaar gestapeld (afb. 7A en afb. 7B). De kussenlava's in dit gebied zijn 3,5 miljard jaar oud en maken deel uit van de Onverwacht Group. Het totale pakket is zo'n 2 km dik. Tegenwoordig zien we kussenlava's gevormd worden bij b.v. Hawaï en IJsland.

Behalve het uitstromen van lava, vonden er ook explosieve uitbarstingen plaats, waarbij gesmolten materiaal, as, stoom en ander gasen werd uitgestoten. Het gesmolten materiaal en de as in die wolken katten samen tot een soort hagelstenen, die vervolgens neerregenden in het omringende gebied. In het zee-water zakten ze naar de bodem, waar ze na verloop van tijd met silica (kwarts) uit de deeltjes zelf aan elkaar katten tot een vast gesteente. Thans zijn het bolletjes in een vuursteenmatrix (afb. 8). Dit gesteente wordt lapilli genoemd. De lapilli is verspreid gevonden over een heel groot gebied van wel enkele tientallen kilometers, veel uitgebreider dan bijv. de lapilli die tijdens de uitbarsting van de Pinatubo in 1991 is vrijgekomen. Alles leek heftiger te zijn, in die tijd!

IJzerafzettingen in zee

In de oceanen was tijdens het Archeïcum veel ijzer opgelost. Wanneer er zuurstof vrijkwam, door fotosynthese van microben (een- of meercellige organismen die niet met het blote oog te zien zijn), werd het ijzer gebonden tot verschillende ijzeroxides. Die sloegen neer in het zeewater en vormden 'chemisch sediment', dat in laagjes werd afgezet: de zogenaamde banded iron formations (afb. 9). Kleine hoeveelheden schalie, vuursteen en vulkanische tuf zijn ook te vinden, als aparte laagjes. Banded Iron Formations (BIFs) zijn ook elders te vinden, zoals bijv. in West-Australië. Omdat tegenwoordig veel zuurstof aanwezig is in de atmosfeer, is nagenoeg alle opgeloste ijzer uit het oceaana-



B



Afb. 8. Lapilli: grijzige bolletjes ('hagelstenen') van vulkanische as in een donkere matrix van vuursteen. De bolletjes zijn een paar millimeter in doorsnede. Foto: A. Groenendijk.

ter verdwenen. Banded iron wordt daarom tegenwoordig niet of nauwelijks meer gevormd. Tussen de wijnrode banded iron lagen van de rotswand langs de Geotrail bevinden zich ook zachtere laagjes met verschillende andere (aard)kleuren, zoals oker (een kleiig materiaal dat veel ijzeroxide bevat). Dit materiaal is duizenden jaren lang gemijnd. Men gebruikte de oker als kleurstof voor make-up, maar ook voor pottenbakken en het kleuren van hutten. Een vrij plaatselijk fenomeen zijn de sterk geplooide en verbroken dunne laagjes van roze schalie, zwart/witte vuursteen



Afb. 9. Banded iron afzetting, verticaal gezet door latere korstbewegingen. De geel/oranje laag is oker, dat in vroeger tijden gemijnd is. Foto: A. Groenendijk.



Afb. 10. Een breccie van gebroken dunplaatig materiaal. Men noemt de breccie hier wel 'tsunami conglomerate', waarbij men ervan uitgaat dat de tsunami die de verbrokking heeft veroorzaakt, het gevolg is geweest van een onderzeese aardbeving. Foto: A. Groenendijk.

en rode ijzeroxide (afb. 10 en de achterplaat). Ze vormen een breccie van scherp afgebroken plaatjes materiaal. De scherpe randjes suggereren dat de plaatjes niet ver getransporteerd zijn, omdat ze anders afgerond zouden zijn. Geologen interpreteren de afzetting als een dunne laag vuursteen en ijzeroxide van de oceaانبodem die tijdens een tsunami ten gevolge van een aardbeving opgebroken is en dichtbij in een onderzeese geul is afgezet en later gecementeerd.

Een ander bewijs van tektonische activiteit (met als gevolg aardbevingen) is een eindje verderop te zien, in de 'painted quarry'. Er zijn wederom dun gebankte chemische sedimenten te vinden, die dit keer vooral heel sterk geplooid zijn (afb. 11). Ze bestaan uit rode ijzer- en witte silicarijke chemische sedimenten, zwarte mangaanoxiden, vulkanische assen en kleien. Ze zijn gelijkelijk in grote gebieden afgezet, waarschijnlijk in diep, kalm water. De kleinschalige plooïing moet hebben plaatsgevonden toen het sediment nog vrij zacht en plastisch was. Ook hier denken aardwetenschappers aan bijv. een aardbeving of een langzaam proces van samendrukking (compressie). Deze gesteenten vormen waarschijnlijk de jongste afzettingen van de Onverwacht Group, maar ze zouden ook al kunnen behoren tot de Figg Tree Group.

Land (en leven) in zicht

Enkele tientallen miljoenen jaren later er is hier en daar land ontstaan door vulkanen die boven zee zijn uitgekomen. Na de in diep water gevormde afzettingen zien we nu ook sediment uit ondiepe wateren, en de eerste - bewaard gebleven - tekenen van leven.



Afb. 11. Dun gebankte chemische sedimenten uit het jongste deel van de Onverwacht Group, die sterk zijn geplooid toen ze nog relatief plastisch waren. Foto: A. Groenendijk.

Een kwartsrijke zandsteen met donkergroene, min of meer parallelle kronkelige laagjes, levert één van de eerste met het blote oog waarneembare resten van leven (afb. 12). De donkere laagjes zijn microscopisch en chemisch onderzocht. Ze bevatten compacte organische koolstof. Het gaat hier om algenmatten van zo'n 3,2 miljard jaar oud, uit de Moodies Group. Algenmatten ontstaan in ondiep water, als eencellige microben de zandkorrels afdekken, waarna nieuw zand daar weer overheen wordt gelegd gevolgd door meer microbenlaagjes. Het donkere strookje, dat bijna loodrecht op de laagjes staat en omhoog lijkt te gaan, is waarschijnlijk het gevolg van water tussen de zandkorrels dat bij toenemende druk van overliggend materiaal omhoog 'ontsnapt' als een soort vulkaantje. Men noemt dat 'fluid escape structures'. Deze algenmatten zijn uitgestrekt afgezet over een gebied van 15 km. De microben gebruikten licht en produceerden daarbij zuurstof. Zij voorzagen in zo'n drie miljard jaar tijd de atmosfeer van voldoende zuurstof voor de explosie van leven die begon in het Cambrium, een half miljard jaar geleden. Bedenk dat dit eerste leven groeide en bloeide in een heel vijandige wereld, met heet water, schurend zand in een kustgebied met heftige getijden, weinig zuurstof en veel chemicaliën. Een sterk staaltje!

Een conglomeraat (afb. 13) met grote, afgeronde keien in een zandige matrix is waarschijnlijk afgezet op vroeg land in een rivier, of in een kustgebied waar golven de keien hebben rondgetold en



Afb. 12. Heel oud leven: algenmatten van 3,2 miljard jaar oud. De donkere lijntjes bevatten geconcentreerde organische koolstof. Foto: A. Groenendijk.

afgerond. Denk maar aan het strand bij een klifkust. De keien zijn ontstaan door erosie van oudere gesteenten en ze bestaan voor een groot deel uit zwarte en grijze vuursteen van de Onverwacht Group, en lichtgekleurde vulkanische gesteente van de Figg Tree Group. De conglomeraaten zijn afgezet in de vorm van een wig, wat de interpretatie van een rivierafzetting (een 'alluvial fan') ondersteunt. Echter, het is de vraag of het land in die tijd omvangrijk genoeg was om rivieren te kunnen voortbrengen. Een kustafzetting is daarom meer realistisch. De meningen zijn verdeeld. De getijdensanden van de Moodies Group (3,2 miljard jaar 'jong') zijn spectaculair, omdat ze zo gaaf bewaard zijn (afb. 14). De zandsteen is erg wit, omdat er vulkanische tuf in zit die in de loop der tijden is omgezet naar kaolinite, een wit kleimineraal. De lagen zijn scheef gesteld en staan bijna verticaal. De interne structuren van de zandsteen zijn goed zichtbaar. De parallelle lijntjes ('scheve gelaagdheid') hellen naar verschillende kanten, tegengesteld aan elkaar. Men noemt dit wel 'herringbone' gelaagdheid. Aangezien de hellingsrichting van dit soort laagjes afhankelijk is van de stroomrichting van het water, zijn er verschillende stroomrichtingen te zien. Zo'n herringbone-patroon wijst op afzetting in een getijdengebied, dus dichtbij de kust. In deze periode van de aardgeschiedenis stond de maan veel dichterbij de aarde en die oefende meer zwaartekracht uit dan tegenwoordig. Getijden waren daardoor extreem sterk. Ook waren er meer eb- en vloedbewegingen per dag dan tegenwoor-

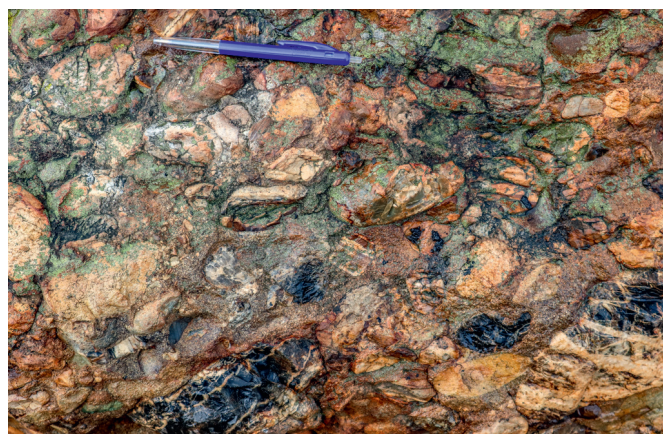


Afb. 14. Getijdensanden uit de Moodies Group, 3,2 miljard jaar oud. De scheve gelaagdheid helt afwisselend naar rechts en naar links, een gevolg van stroming in verschillende richtingen van (heftige) getijden. Foto: A. Groenendijk. De foto is een kwartslag gedraaid.

dig, omdat de maan in een kortere baan om de aarde draaide. Daar komt bij dat er nog maar weinig land was, wat getijdenbewegingen zou kunnen afremmen. Deze getijdenafzettingen zijn dus het gevolg van extreem sterke eb- en vloedbewegingen. Zoals al gezegd: alles was heftiger in die tijd!

Referenties

- Norman, N. Geology off the beaten track; exploring South Africa's hidden treasures. De Beers, 2013, 256 pag.
- Ferrar, T, and C. Heubeck. Barberton Makhonjwa Geotrail; geosites and viewpoints. Batobic, 2018, 39 pag.



Afb. 13. Conglomeraat met zwarte keien van vuursteen uit de Onverwacht Group en lichte keien van vulkanische oorsprong uit de Figg Tree Group. De groene kleur komt van korstmossen. Foto: A. Groenendijk.