

Erosie van zacht gesteente: Aardpiramides en badlands

door Anne Rutger Fortuin,
Instituut voor Aardwetenschappen, Vrije Universiteit Amsterdam (anne.fortuin@falw.vu.nl)

Gesteente geeft vorm en kleur aan onze aarde. Vooral als kleur en vorm elkaar versterken valt er, ondanks de vele menselijke versterking van de natuur, veel te genieten voor de liefhebber. Tegenwoordig weten landschapsfotografen aardse



Afb. 1. Aardpiramides gevormd door de erosie van morenemateriaal. De grootste dekstenen hebben ook de mogelijkheid om de grootste pijlers te vormen. Piramides waarvan de dekstenen ("hoeden") zijn afgevallen, en dat zijn er nog wel wat, nemen snel in omvang af. Ritten bij Bolzano.

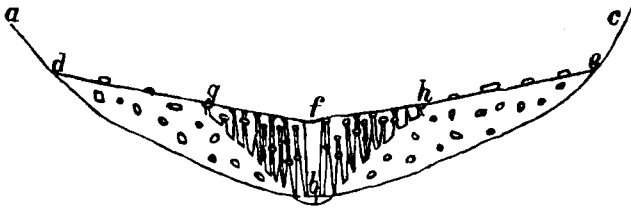


Afb. 2. Een imposante aardpiramide bij Segonzano (It.). Let op de kenmerkende slechte afronding van het morenemateriaal, dat dus varieert van klei tot en met blokken van meer dan een meter doorsnede.

schoonheid prachtig uit te beelden, zowel in boekvorm, als via internet. Zacht gesteente, waar ons land grotendeels uit opgebouwd is, draagt relatief weinig bij aan bijzondere reliëfvormen. Dat ook onverhard gesteente spectaculaire reliëfvormen kan opleveren blijkt wel uit de omslagfoto van Elseviers (inmiddels verouderde) Encyclopedie van de Geologie, die aardpiramides toont.

Aardpiramides

Aardpiramides zijn een door regenval bepaalde erosievorm, waarbij langs steil ingesneden en uit gesteenteblokken en fijner materiaal opgebouwde hellingen de regen zorgt voor het periodiek wegspoelen van sediment. Dit sediment moet niet te gemakkelijk water kunnen opnemen, anders kan er geen sprake zijn van uitspoeling. Vaak betreft het morenepuin, zoals dat veel voorkomt in Alpendalen. Waar grote blokken het onderliggende gesteente beschermen tegen uitspoeling, kan pijlervorming optreden (afb. 1). Al zijn aardpiramides in geologisch opzicht bepaald geen lang leven beschoren, individuele pijlers kunnen het vele honderden jaren uithouden. Dit kan omdat de pijlervoet door regelmatig indrogen enigermate verhardt en zo meer weerstand tegen verdere uitspoeling biedt. Met name de pijlers met grote dekstenen zijn imposante verschijningen (afb. 2). Als de dekstenen eraf vallen zullen de pijlers langzaam verdwijnen.



Afb. 3. De schets van de situatie bij Bolzano uit het boek van Supan (1896). De bijgaande (vrij vertaalde) uitleg luidt: "Doorsnede ter verklaring van de vorming van aardpiramides naar Lyell. De lijn abc geeft de wanden en de zool van het oorspronkelijk in het portier uitgeslepen dal. De lijn dfe geeft de opvulling van het dal door het morenemateriaal van een vroegere gletsjer. De lijn gbh geeft het oppervlak van de huidige dalinsnijding met de vorming van aardpiramides aan beide kanten".

De bekendste West-Europese aardpiramides zijn die van Bolzano in de Dolomieten. Ze worden al afgebeeld in mijn antieke handboek *Grundzüge der Physischen Erdkunde* (A. Supan, 1896, zie afb. 3). Dit boek noemt daarnaast enkele andere Alpen- en Pyreneeënvormingen, maar de meest imposante voorkomens zouden in de Himalaya te vin-

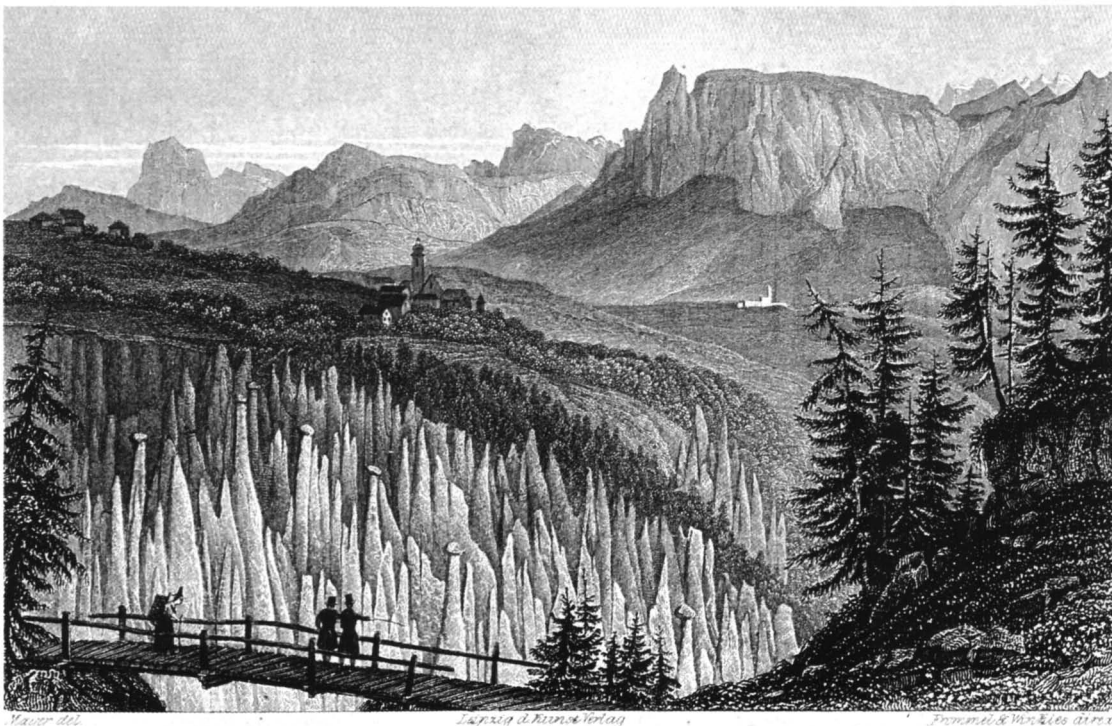
den zijn. Supan geeft een simpele verklaring van hun ontstaan op basis van een vroegere schets door Lyell. Een uitgebreidere verklaring geeft het onvolprezen leerboek uit mijn studententijd, de *Principles of Physical Geology* door de grote Arthur Holmes (uitgave 1964). Holmes merkt terecht op dat naast regen ook wind- en hellingcondities een rol spelen. De hellingen moeten bijvoorbeeld weinig last van sterke wind hebben, want bij slagregens met harde wind zouden de pijlers te snel ondermijnd worden. Verder moet de dalhelling steil zijn, steiler dan de natuurlijke rusthoek van het grove sediment, want dit moet bij uitspoeling helemaal naar beneden kunnen rollen en zo verder afgevoerd worden. Zo niet, dan blijft het grovere puin liggen aan de pijlervoet en dit zou zo het proces van pijlervorming smoren.

Laten we die Dolomieten-pijlers maar eens nader onder de loupe nemen, tenslotte zijn het daar bekende toeristentrekkers. Een van mijn zussen schonk me ooit een leuke staalgravure uit 1840 van deze *Erdpyramiden bei Bozen*, zoals het onderschrift luidt. Deze hangt ingelijst al jaren op mijn werk-kamer, tijd om er eens beter naar te kijken (afb. 4).

We zien twee heren op een houten bruggetje over een zijdal-letje staan, het hoofd dal in turend. Een oudere vrouw, die een mand op haar rug torst, sloft gebogen en leunend op haar stok voorbij. Zij zucht onder haar last van vermoedelijk brandhout en heeft weinig oog voor de omgeving.

De mannen echter, staan uitgebreid te oren. De rechter heer wijst met zijn wandelstok details aan. Waarover spraken zij? Ongetwijfeld over hun ontstaan, zoals de toeristen van nu ook doen. Eveneens in het jaar 1840 publiceerde de later beroemd geworden Zwitserse onderzoeker Agassiz zijn *Etudes sur les Glaciers*, waarmee hij de voorloper was van het zo belangrijke concept van de rol van ijsstijden, ook voor de zo wijd verbreide moreneafzettingen in de lager gelegen dalen. Over de relatie tussen ijsstijden en dalvulling met morenemateriaal zal het gesprek dus niet gegaan zijn, maar wellicht werden interessante hypothesen ter plekke bedacht. Op de achtergrond van de gravure zijn enkele duidelijk herkenbare Dolomietenbergen herkenbaar, zoals links de Langkofel, oftewel de Sassolungo (2958 m) en rechts de torenachtige punt van de Santerispitze (2414 m). Hoe zouden de piramides er nu eigenlijk bijliggen? Deze intrigerende vraag vormde de aanleiding om er deze zomer gewoon maar eens

te gaan kijken; ze liggen tenslotte in een geliefd vakantieland.



Afb. 4. Staalgravure van de aardpiramides boven Bolzano uit 1840, formaat ongeveer 10 x 15 cm. Voor verdere beschrijving zie tekst.



Afb. 5. De huidige situatie bij de aardpiramides vanuit een standpunt dat dat van de tekenaar van afb. 4 benadert.

De Zuid-Tirolse stad Bolzano ligt aan de A22 snelweg over de Brennerpas. De stad ligt in het dal van de zeer diep uitgesneden Isarco, op slechts 260 m hoogte. Om bij de aardpiramides te komen moeten we vanuit de stad flink omhoog naar het plateau van Ritten of Renon (volg deze borden; maar vraag ook om een handige panorama-makaart bij de VVV). Al stijgend maakt de zoele Italiaanse sfeer met de wijnbouw van het benedendal spoedig plaats voor de frisse Tirolse sfeer met zijn boomgaarden en weilanden. Het dorp Klobenstein (wijk Lengmoos), waarachter de piramides te zien zijn, ligt namelijk op 1150 m hoogte. Af en toe zijn er wegontsluitingen te zien van de Permische roze porfieren die het hele gebied rond Bolzano

Afb. 6. Aardpiramides in de tuffen van Cappadocië (met haksporen door vroegere bewoners, om hun hollen te kunnen bereiken)



kenmerken. Neem in Klobenstein alleen de eerste beste P voor uw auto als u van een wandeling houdt. Maar wacht ook weer niet te lang, er zijn maar weinig parkeerplaatsen beschikbaar langs deze bergweg. Wie van dit bezoek een dagje uit wil maken doet er goed aan per zweefbaan en tram vanuit Bolzano te vertrekken.

Eenmaal aangekomen was het spannend of de kijkpositie van de gravure nog te achterhalen zou zijn. Een makkelijk voetpad leidt de wandelaar langs het dal, maar nogal wat groen beneemt hem vaak het zicht op de piramides. Maar een onlangs vernieuwde houten brug langs een zijdalletje blijkt een goed uitzicht te geven op de aardpiramides met het kerkje erachter. Dit lijkt wel de plek van de gravure te zijn, ware het niet dat het standpunt van de tekenaar bijna in het verlengde was van de as van het kerkje. Een klein verschil dus met ons standpunt (afb. 5). Jammer genoeg stelde het mooie Dolomieten-panorama tijdens ons bezoek niets voor door de veel voorkomende zomerheugheid. De beelden van nu laten zien dat de tekenaar de aardpiramides wel erg gunstig heeft geproportioneerd, ze lijken dichterbij dan in werkelijkheid het geval is. Een teelens of verrekijker is namelijk nodig om hun soms enorme afmetingen (tot 20 m hoog) goed te laten uitkomen. Bovendien lijkt de begroeiing van het dal flink toegenomen.

Wie echt tussen aardpiramides wil rondlopen moet naar de 35 km ten zuiden van Bolzano gelegen aardpiramides van Segonzano gaan. Deze liggen in het dal van de Avisio. Daar moet er vanuit de aangegeven parkeerplaats circa 200 m te voet geklommen worden (15 – 25 minuten lopen), maar het pad is goed en de voorlichting uitstekend, zo blijkt uit langs de wandelroute geplaatste informatieborden en vernieuwde uitkijkpunten, waarop de toerist zich langs dit steile dal veilig mag weten. Dicht onder de morenezulen staande blijkt pas hoe fors sommige pijlers zijn, hoe groot hun dekstenen (afb. 2) en hoe hoekig en wisselend van korrelgrootte het sediment.

Aardpiramides in vulkanisch materiaal

Holmes noemt ook een alternatieve vorm van aardpiramides, namelijk die in zachtere vulkanische tuffen, waarbij grotere elementen zoals vulkanische bommen voorkomen, of hardere tussenniveaus. De meest beroemde zijn die van Cappadocië,



Afb. 7. Voorbeeld van een in de tuffen uitgehouwen byzantijnse kerk in het Dal der Monniken, Göreme, tegenwoordig een druk bezocht openluchtmuseum.

een 250 km ten zuidoosten van Ankara in centraal Anatolië gelegen landstreek. Deze sieren dan ook de al genoemde omslag van de Elsevier Encyclopedie van de Geologie. Over een oppervlakte van ruim 2500 km² dagzomen daar jong Tertiaire (Laat Mioceen – Plioceen), lichtgrijze tot roze tuffen, die door de grillige erosie met bijbehorende kegelvorming een surrealistische indruk maken (afb. 6). Dit vulkanische gebied, dat geologisch tot het Erciyes Bekken hoort, genoemd naar de bijna 4 km hoge vulkaan Erciyes, dankt zijn ontstaan aan diepe rekbreuken. Deze structuren hangen samen met de complexe interactie van Turkije als Anatolische Plaat in het geheel van botsende Euraziatische en Afro-Arabische platen. Er zijn tot 400 m dikke tufpakketten ontwikkeld. De stratigrafische opbouw daarvan getuigt van vele fases van grote uitbarstingen. Een flink deel van de tufafzettingen is in vlakliggende, zijdelings uitgestrekte series afgezet. Dat gegeven wijst op een ontstaan uit horizontaal uitstromende, gloeiend hete tefra (zgn. ignimbrieten), naast in de lucht uitgestoten onderdelen. De aanwezige lava's hebben een overwegend andesitische samenstelling. De hoge Erciyes vulkaan is niet actief, maar ziet er nog weinig verweerd uit; deze is dan ook van Kwartaire ouderdom, de vulkanische geschiedenis lijkt

(afb. 8) en zelfs zeer uitgebreide ondergrondse "schuilsteden" voor de destijds vervolgte christenen. Tegenwoordig vormt de combinatie van dit uiterst merkwaardige landschap met daarin tal van cultuurhistorische parels een zeer aantrekkelijk reisdoel. Wie richting Turkije gaat, moet zeker de kans benutten om dit gebied te zien.

Sommige tufpijlers zijn hoog en smal en voorzien van een grote deksteen, vaak restant van een hardere tuf laag. Ze worden wel feeënschoorstenen genoemd (omgeving Ürgüp; zie de voorplaat). Andere zijn veel breder en hoger en in en om deze reusachtige aardkegels kunnen complete woonoorden uitgeroofd zijn, zoals bij Uçhisar, waar bovenop een compleet fort te vinden is.

Badlands

Bij erosie van zacht gesteente door regen moet ook de zogenaamde badlands-erosie genoemd worden. Overal waar schaars begroeide hellingen in zachte sedimenten voorkomen kan een flinke plensbui al tonnen sediment naar de lager gelegen delen afvoeren. Op deze wijze ontstaan erosiegeulen en als die eenmaal gevormd zijn, is het hek van de

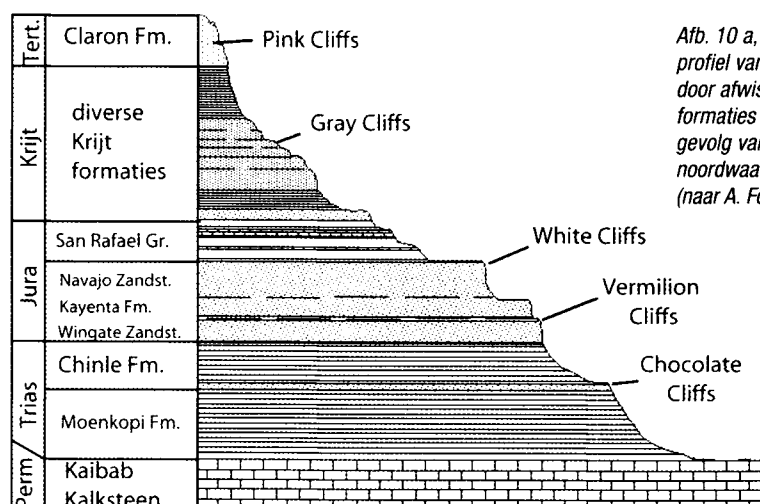
dam: er volgt verdere en diepere insnijding en een grillig (dendritisch) patroon van zich sterk vertakkende geulsystemen ontstaat. Vooral semi-aride gebieden waarin dikke, weinig hellende mergel en/of kleirijke gesteenteseries dagzomen, vertonen deze erosievorm. Voor sedimentologen en paleontologen vormen badlands vaak een fantastische gelegenheid om het gesteente laag



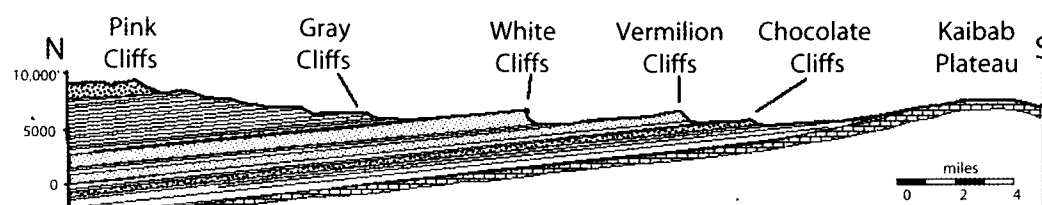
Afb. 8. Al is het tegenwoordig verboden om in de piramides te wonen, je brommer kun je er nog goed stallen. Deze opname laat goed zien hoe een feeënschoorsteen snel verdwijnt als de afdekkende tuf laag eenmaal is afgeërodeerd.



Afb. 9. Schoolvoorbeeld van badlands erosie in de zogenaamde "Gray Cliffs" (Krijt), Factory Butte, Utah. In feite is deze, meer als een gothische kathedraal dan als een fabriek uit de vlakke opdoemende berg, een getuigeberg van de op de meeste plaatsen al door erosie verdwenen schalies van de Mancos Shale Formatie. De zandstenen aan de top beschermen de mergels maar gedeeltelijk, want terugschrijdende erosie door uitspoeling van de schalies moet hier een belangrijke factor zijn.



Afb. 10 a, b. Schematisch noord-zuid profiel van de "Grand Staircase", het door afwisselend hardere en zachtere formaties gevormde landschap als gevolg van sterke opheffing en lichte noordwaartse kanteling van deze streek (naar A. Foos, 1999).



voor laag in al zijn details op te nemen en te bemonsteren. Voor boeren zijn badlands echter een plaag. Badlands zijn op grote schaal ontwikkeld in het zuidwesten van de Verenigde Staten. Daar komt ook de naam vandaan. Franse trappers die in het midden van de 18e eeuw door de noordelijke delen van de Great Plains trokken spraken van *les mauvaises terres à traverser*. Deze omschrijving werd door de latere Engelstalige bevolking verkort tot *the badlands*.

Een prachtig voorbeeld is de Factory Butte, een door een zandsteenpakket (Emery Sandstone) beschermd, ruim 300 m dik pakket kleiige sedimenten van de Mancos Shale Formation (Boven-Krijt). Deze door de grillige erosie zeer kenmerkende heuvel ligt ten westen van Hanksville in Utah (afb. 9), dichtbij de Fremont-rivier en niet zo ver van Bryce Canyon, waar de erosie helemaal schilderachtig is.

uitmondten. Er is zo een afwisseling ontstaan van overwegend fijnkorrelige, kleirijke tot kalkige afzettingen, soms met grindige inschakelingen. Veel van de aanwezige kleiige lagen hebben een oranje tot roze kleur, maar het jongste deel van de formatie is kalkiger en lichter van kleur. Dit deel vormt steile kliffen, terwijl de zachtere *Pink Limestone Member* de show steelt (afb. 11). Dat was niet altijd zo. De eerste blanke bewoners, Mormonen, die dit gebied pas rond het midden van de 19e eeuw binnentrokken en feitelijk afhandig maakten van de indianen, vonden deze terreinen eigenlijk maar niks. Ze raakten regelmatig hun koeien kwijt die in de grasrijke zones langs en onder de steile hellingen graasden. Nadat rond 1870 vijandigheden met de lokale indianen beëindigd waren kwamen de eerste landmeters. Al in 1877 werd opgemerkt (T.C. Bailey) dat het hier feitelijk om een wereldwonder gaat. Voor de Indianen

Bryce Canyon National Park in Utah toont niet alleen fraaie badlands-erosie, de erosie gaat daar bovendien gepaard met de vorming van piramides. Dit op tussen de ruim 2 - 3 km hoogte gelegen park vormt het bovenste deel van de zogenaamde *Grand Staircase*. Deze naam slaat op een serie cuesta's, die onderdeel zijn van het uitgestrekte Coloradoplateau en gevormd zijn door erosie van zwak noord hellende, afwisselend hardere en zachtere Mesozoïsche formaties. Deze volgen stratigrafisch op het Perm van het Kaibab Plateau (afb. 10), waarin de Grand Canyon zo diep is uitgesneden. De in verscheidene parken ontsloten Trias- en Jura-landschappen zijn zeer geliefd en bekend. In Bryce Canyon dagzomen de jongste gesteenten van Krijt en Eoceen. De badlands komen voor binnen de enkele honderden meters dikke Claron Formatie (vroeger Wasatch Formatie geheten). Het gesteente is afgezet als kalkrijk slib, dat rustig bezonk in grote meren, waarin rivieren



Afb. 11. Een overzicht van de cuesta-morfologie en -stratigrafie van Bryce Canyon en omgeving, uitgelicht door de avondzon. In de diepste delen dagzomen de grijsgekleurde Krijtschaliën, met ingeschakelde zandsteenpakketten. Daarboven, zowel de achtergrond als de voorgrond vormend, de Claron Formatie, met de beroemde badlands vooral gevormd in de "Pink Limestone Member". Daarboven, op de achtergrond goed zichtbaar, volgt de klifvormende "White Limestone Member". De door breukwerking gekantelde serie links in het midden staat bekend als het "Zinkende Schip". Kijkrichting naar het noordoosten.



was dit dan ook heilige grond. Zij zagen in de veel voorkomende, verstilde en soms op standbeelden lijkende kolommen, voorouders die door boze goden voor eeuwig versteend waren (afb. 12). Zij kenden dit gebied dan ook als de "rode rotsen die als mensen staan langs komvormige wanden".

In dit langgerekte, ongeveer 60 km lange park, dat de klifrand volgt, stuit je van het ene adembenemende uitzicht op het andere. De naam *canyon* deugt overigens niet echt, want het gaat niet om een dal, maar om een reusachtige *cuesta*, of klif, die twee op verschillende hoogtes gelegen plateaus in hardere lagen scheidt. De cuestarand is niet recht, maar sterk ingesneden door de achterwaartse insnijding, waarbij de helling door verschillen in hardheid ook nog eens in amfitheaterachtige "terrassen" is verdeeld (afb. 13). Naast van bovenaf neerkijken in de erosiekommen kun je ook aangegeven wandelpaden volgen, maar het zicht van

bovenaf is wel het meest indrukwekkend, vooral tegen zonsopgang en zonsondergang. Soms weet je gewoon niet waarnaar je kijken moet: het detail of het grote geheel (afb. 14).

Naast regenval speelt met name vorstverwerking een belangrijke rol. Door de grote hoogte zijn hier gemiddeld 275 dagen met vorst en dooi. De vorst doet vocht in spleten bevriezen, het ijs zet uit en zo wordt het gesteente langzaam maar zeker opengeboren. Vooral de zuidelijke hellingen hebben hier last van. Bovendien worden deze zachte gesteenten doorsneden door verticale diaklazen ("drukontlastingsbarsten") in twee elkaar onder een hoek van ongeveer 50° snijdende richtingen. Deze diaklazen houden vocht vast, dit befrist en de regen voert de losse deeltjes af.

Dit resulteert in een surrealistisch, door de gelaagdheid verder vormgegeven, grillig pijlerlandschap (afb. 15). Een deel van het losse materiaal vormt echter op veel plaatsen een soort plamuurlaag over het verse gesteente, zodat de

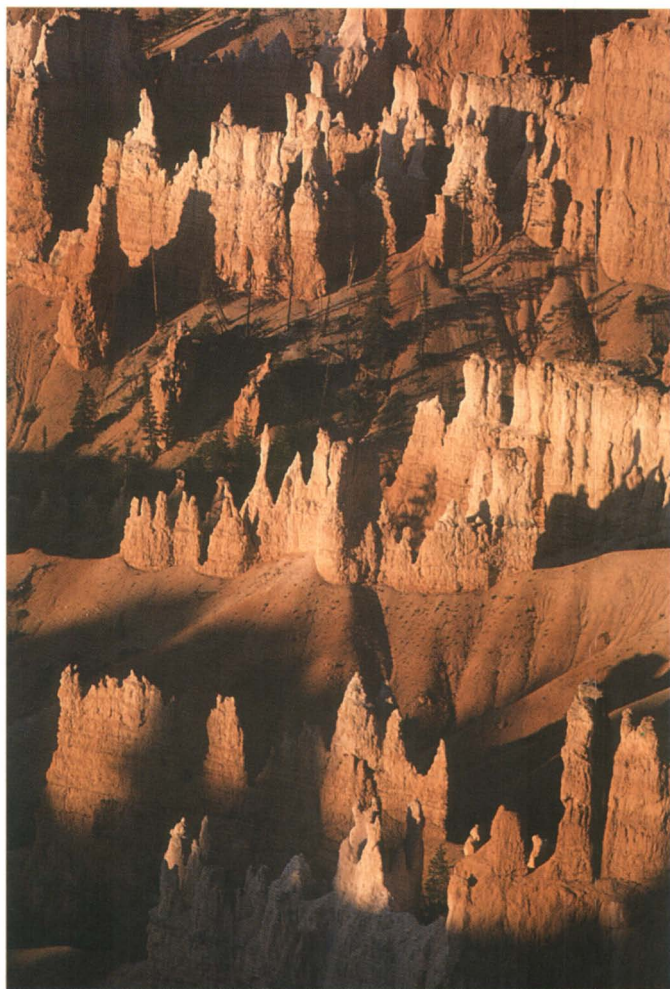
toch al niet zo geprononceerde gelaagdheid nog minder duidelijk uitkomt. Omdat onweersbuien in dit hoge gebied geen zeldzaamheid zijn gaat de erosie in een fors tempo: per eeuw wordt er ongeveer een halve meter van de plateaurand afgeknabbeld. Half ontwortelde bomen langs de klifwanden zijn een nog net levend bewijs van deze terugschrijdende erosie (afb. 13).



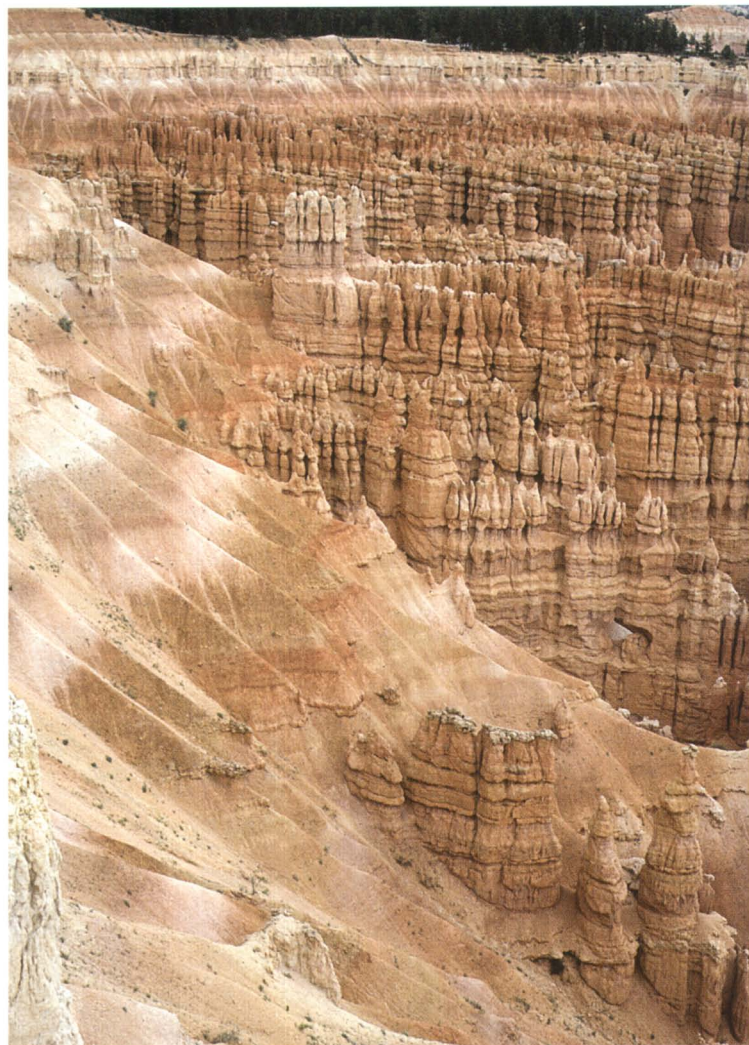
Afb. 12. Als je dergelijke erosievormen ziet ben je niet verbaasd dat de indianen ze hielden voor versteende voorouders.



Afb. 13. Een overzicht vanaf de klifrand in het zuidelijke deel van het park. Een regenbui geselt de vlakte in de verte en de half ontwortelde boom op de voorgrond is een treffende illustratie van de sterke terugschrijdende erosie.



Afb. 14. De afwisseling van badlands aan de basis en pijlers daarboven wordt spectaculair uitgelicht bij zonsondergang (telefoto). De sparrebomen geven een idee van de afmetingen van deze pijlers.



Afb. 15. Voorbeeld van de bijzondere zuilvormige verwerking door intensieve vorstwerking en regen langs de diaklaasvlakken.

Geraadpleegde literatuur

- Bezy, J., 1988. Bryce Canyon, the story behind the scenery. KC Publications, 4e dr. 48 p.
- Dirik, K., 2001. Neotectonic evolution of the northwestward arched segment of the Central Anatolian Fault Zone, Central Anatolia, Turkey. *Geodinamica Acta* 14, 147-158.
- Foos, A., 1999. Bryce Canyon National Park and the Grand Staircase (pdf file geprint van www2.nature.nps.gov/geology/education/foos/bryce.pdf), 11 p.
- Holmes, A., 1965. *Principles of Physical Geology* (new and fully revised edition). Uitg. Th. Nelson and Sons, London, 1288 p.
- Jaffey, N., Robertson, A., en Pringle, M., 2004. Latest Miocene and Pleistocene ages of faulting, determined by $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ single-crystal dating of airfall tuff and silicic extrusives of the Erciyes Basin, central Turkey: evidence for intraplate deformation related to the tectonic escape of Anatolia. *Terra Nova*, 16, 45-53.
- Oçakoğlu, F., 2004. Mio-Pliocene basin development in the eastern part of the Cappadocian Volcanic Province (Central Anatolia, Turkey) and its implications for regional tectonics. *Int. Journal Earth Sci (Geol. Rundschau)*, 94, 314-328.
- Supan, A., 1896. *Grundzüge der Physischen Erdkunde*, Uitg. Veit & Comp., Leipzig, 2e dr., 706 p.

Foto's van de auteur.