

Men liet hem een aantal specimens makroskopisch identificeren, die later met behulp van röntgenstraaldiffractie werden gedetermineerd. Ongeveer 75% van de specimens waren door Imhoff juist gedetermineerd; niet slecht voor zulke moeilijke mineralen. Maar wat zouden wij ervan terecht brengen? Nu zijn niet alle mineralen even moeilijk als de Lengenbachsulfozouten. Eenmaal een amethyst gezien, herken je deze kwartsvariëteit altijd. Eenmaal een massief stuk malachiet gezien, herken je het in alle mineraalverzamelingen; tot je ooit eens groene naaldjes vindt die dan ook nog met de beschrijving van een twintigtal andere mineralen overeenkomen.

Wanneer men zelf mineralen gaat zoeken, is het ideaal om te beschikken over een degelijke beschrijving van de mineralen die op die bepaalde vindplaats voorkomen. Beschikt men over die gegevens (zoals kristalvormen en typische kenmerken) dan kan men met enige zekerheid de mineralen van die vindplaats identificeren.

Algemeen kunnen we besluiten dat een mineralenverzamelaar, zij het na enige studie en met opgedane ervaring, een behoorlijk aantal mineralen moet kunnen determineren. Toch moeten we voldoende zelfkritiek hebben om de beperkingen van op-zicht-determinatie van mineralen te onderkennen.

In verband hiermede citeer ik graag de uitspraak van wijlen Albert Van hee:

"Wie één jaar verzamelt is beginner,
wie twee jaar verzamelt is kenner,
wie twintig jaar verzamelt is voorzichtig!"

Bibliografie: Mineralogische Tabellen. H. Strunz (unter Mitarbeit von C. Tennyson) 1977. Akademische Verlagsgesellschaft, Geest & Portig, Leipzig.

Het Versteende Woud van Arizona

door E.G. van Diggelen

Inleiding

Noord-Amerika is rijk aan natuurwonderen. Om hiervan te genieten hoeft men tegenwoordig niet meer - zoals de pioniers uit de vorige eeuw dat deden - te paard of met de huifkar de eindeloze open ruimte van dit machtige continent te doorkruisen. Men kan nu een auto huren en gebruik maken van de ruimschoots aanwezige luxe. Maar ondanks de vele gemakken die de toerist ten dienste staan, blijven er de enorme afstanden die men moet afleggen om de natuurwonderen te bezoeken.

Een van die natuurwonderen ligt in het noordoosten van Arizona, nabij het plaatsje Holbrook. Daar treft men een merkwaardig landschap aan dat bezaaid is met versteende boomstammen en dat daarom bekend staat als het Petrified Forest National Park (afb. 1).

Voordat het bestaan van een Versteend Woud aan de blanken bekend werd, was dit gebied al meer dan 1500 jaar door Indianen bewoond geweest. We treffen nu nog de sporen van hun vroegere aanwezigheid aan. Zo zijn er meer dan 300 Indiaanse ruïnes in het park. Ook zijn er prachtige rotstekeningen bewaard gebleven en heeft men allerlei werktuigen van de prehistorische Indianen, zoals schrapers, hamers en pijlpunten van versteend hout, gevonden.

Toen de Indianen voor het eerst in het Versteende Woud kwamen, viel hen dit merkwaardige landschap ook op. Zij hadden er hun eigen, primitieve verklaring voor. Zo zagen de Navajo-Indianen in de versteende houtblokken de beenderen van de grote reus Yietso, een monster dat door hun voorvaders zou zijn gedood.

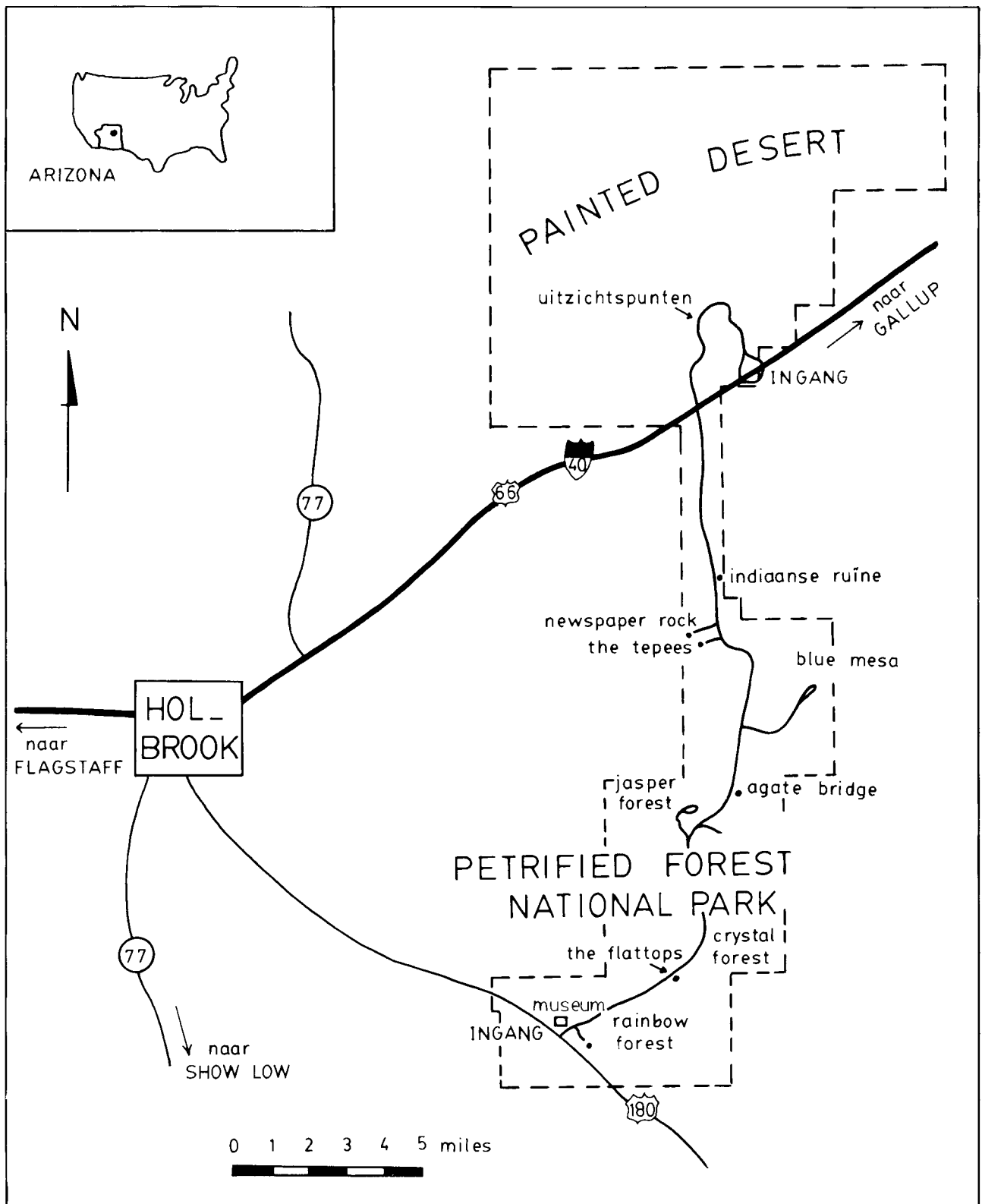
Pas in 1851 werd het bestaan van een Versteend Woud aan de blanken bekend. Toch duurde het tot 1878 voordat er zich hier de eerste pioniers vestigden. In de loop der jaren is veel versteend hout weggehaald. Handelaren in mineralen bliezen zelfs met dynamiet de versteende boomstammen op, om zodoende de amethystkristallen - die er binnenin zaten - te verzamelen. In 1962 werd dit gebied samen met de noordelijker gelegen Painted Desert tot een nationaal park verklaard om zodoende voor de toekomstige generaties behouden te blijven.

De Moenkopi Formatie

In de Onder-Trias, ca. 225 miljoen jaar geleden, was het noorden van Arizona een laaggelegen, enigszins westwaarts afhellende kustvlakte, waarover traag meanderende rivieren en beekjes hun weg naar zee zochten. Tussen de waterlopen lag een gebied van meren en moerassen, te midden van een weelderige plantengroei. Door het warme klimaat verdampte voortdurend meerwater, waardoor er zoutkorsten werden gevormd. De met sediment beladen rivieren, die hun oorsprong hadden in de hoger gelegen gebieden van het noordoosten, mondden in het westen van Arizona uit in een soort waddengebied aan zee. Door de afname van de stroomsnelheid werden in de benedenloop van de rivieren zanden afgezet. Verder stroomafwaarts, nabij zee, kwamen de fijnere kleideeltjes tot bezinking. In zee zelf werden kalken afgezet. Al deze afzettingen die in meren en rivieren of in zee zijn gevormd en thans verhard zijn tot schalies, zandstenen en kalkstenen worden gerekend tot de Moenkopi Formatie uit de Onder- (en waarschijnlijk ook Midden-) Trias (afb.2). Deze 90 tot zelfs 180 meter dikke afzettingen vallen op door hun rode tot bruine kleur. Deze kleur is een gevolg van het voorkomen van kleine hoeveelheden ijzeroxyde ("roest") in het gesteente.

In de Moenkopi Formatie vinden we diverse fossielen van reptielen, amfibieën, vissen, ammonieten, slakken, etc. terug. Een bekend reptiel dat in de Trias heeft geleefd is de *Phytosaurus*, die wel 7,5 meter lang kon worden en veel leek op onze huidige krokodil. Toch bestaat er geen enkele verwantschap tussen beide dieren. Van de andere reptielen, zoals bijvoorbeeld *Chirotherium*, zijn skeletten zeldzaam, terwijl er wel veel sporen (o.a. pootafdrukken) worden teruggevonden.

Opvallende amfibieën uit die tijd waren de Labyrinthodonten, met geweldig grote, platte schedels en lichamen. Omdat deze dieren een skelet van kraakbeen bezaten zijn de delen niet allemaal zo goed gefossiliseerd, eenvoudig omdat het materiaal niet hard genoeg was.



Het landschap in de Boven-Trias

In het begin van de Boven-Trias, ongeveer 200 miljoen jaar geleden, was het landschapsbeeld aanzienlijk veranderd. De laaggelegen kustvlakte was opgeheven en onderging erosie. De afzettingen van de Moenkopi Formatie werden aangesneden door rivieren die nu vanuit hoog gelegen gebieden in het zuiden kwamen.

afb. 1. Ligging en overzichtkaartje van het Versteende Woud in Arizona.

In de uitgeschuurde rivierbeddingen in de Moenkopi Formatie werden zand en grind afgevoerd. Later werd dit grove materiaal met fijnere bestanddelen samengekit tot een conglomeraat: het Shinarump basaalconglomeraat

van de Chinle Formatie (afb. 2). Het landschap werd geleidelijk afgevlakt, waarbij de heuvels steeds lager werden en de rivierdalen opgevuld raakten met sediment. Uiteindelijk ontstond er weer een brede laagvlakte met traag meanderende rivieren en talrijke meren en moerassen. Hier en daar liepen kleinere waterlopen dood in het moeras, dat bewoond werd door allerlei reptielen en amfibieën.

In die rustige omgeving bezonken de kleideeltjes, waardoor er modderbanken in de riviertjes lagen. Waar de rivieren sneller stroomden werd zand getransporteerd, dat aan de binnenbochten van de meanderende rivieren werd afgezet als zandbanken. Deze afzettingen boven het Shinarump conglomeraat vormen het resterende deel van de Chinle Formatie (afb.2). Naast zand en klei, nu verhard tot zandsteen en schalie, bevat deze Formatie lagen mergel (zoetwaterafzettingen van de meren) en bentoniet (een chemisch verweringsproduct van vulkanische as).

Het Versteende Woud is eigenlijk geen echt woud. Het is een afzetting van de Chinle Formatie uit de Boven-Trias. In die afzetting komen echter zo veel versteende boomstammen voor, dat men is gaan spreken over een "Versteend Woud". De boomstammen werden door de rivieren getransporteerd, nadat ze in de loop van de tijd afgestorven waren en op de grond waren gevallen. Sommige stierven door een ziekte of door insecten (de boorgaten zijn nog te zien!). Andere bomen kwamen om bij bosbranden of stierven door ouderdom. Ook tijdens overstromingen werden veel bomen weggespoeld. De dode bomen werden tijdens het riviertransport meestal vrij snel van hun takken, bast en wortels ontdaan, zodat alleen de boomstammen overbleven. Deze werden stroomafwaarts getransporteerd door de meanderende rivieren. In de binnenbochten, waar de stroomsnelheid van het water afneemt, werden op veel plaatsen boomstammen opgehoopt. Hier en daar zullen er wel blokkades zijn ontstaan, waarachter het rivierwater steeg en uiteindelijk gedwongen was om een andere doorgang te zoeken.

afb. 2. Stratigrafische tabel van het onderste deel van het Mesozoïcum van Noord-Arizona.

chronostratigrafische eenheden			lithostratigrafische eenheden		
erathem	systeem	serie	groep	formatie	afzetting of laagpakket
Mesozoïcum	Jura		Glen Canyon	Navajo	
	Trias	Boven-Trias		Kayenta	
				Moenave	
				Wingate	
				Chinle	bovenste deel
					Versteende Woud
					Shinarump
		Midden-Trias (?)		Moenkopi	
Onder-Trias					

Veel boomstammen werden dus op de zandbanken gevangen, waar ze zeer snel onder een dik pakket sediment werden bedolven. Door deze snelle afsluiting van de lucht kon er geen oxydatie en dus geen afbraak van organische stof optreden. Op deze wijze kon er een laagpakket van wel 120 meter dikte worden opgebouwd, dat rijk is aan boomstammen.

In deze afzettingen van de fluviatiele laagvlakte vinden we lagen vulkanische as. Dit uiterst fijnkorrelige vulkanische materiaal is afkomstig uit Californië en Nevada, waar in die tijd hevige vulkanische activiteit plaats vond. De vulkanische as werd door de wind over grote afstanden getransporteerd. Door het overheersen van zuidwestenwinden kwam veel vulkanische as in het noorden van Arizona terecht, waar het op de laagvlakte werd afgezet.

Meren, moerassen en waterlopen werden door de vulkanische aslagen in de loop van de tijd opgevuld. Deze in het water afgezette vulkanische as (na verharding een tuf genoemd) was de bron van het kiezel dat door het grondwater zou worden opgelost en in de houtrijke lagen weer zou neerslaan. De boomstammen werden hierdoor verkiezel (fossilisatie-proces). Hierover later meer.

Het planten- en dierenleven

Voor de reconstructie van het leven uit die tijd zijn fossielen van buitengewoon groot belang. Ze worden in bijna alle lagen van de Chinle Formatie gevonden. Zo weten we dat het rivierlandschap een uitbundige plantengroei kende en een rijk dierenleven (afb. 3).

Langs de rivierbeddingen leefden reptielen en amfibieën. Evenals in de Onder-Trias treffen we de *Phytosaurus* en Labyrinthodonten aan. De *Phytosaurus*, een krokodilachtig reptiel van zo'n 5 meter lengte, leefde in meren en rivieren. Met zijn lange snuit vol scherpe tanden ving het dier vis en kleine prooidieren. In Blue Mesa (afb.1) heeft men de botten van dit alleen in de Trias voorkomende reptiel teruggevonden.

Een ander reptiel is de *Desmatosuchus*. Dit dier kon meer dan 3 meter lang worden en was zwaar bepantserd. Aan zijn flanken droeg het dier twee zware "hoorns", die waarschijnlijk gebruikt werden tijdens een gevecht met soortgenoten.



afb. 3. Reconstructie van het landschap uit de Boven-Trias (National Park Service, uit Ash en May, 1969).

Een groot plantenetend viervoetig reptiel dat in de Chinle Formatie is teruggevonden was *Placerias*. De mannetjes hadden scherpe slag tanden, die geduchte wapens waren tijdens gevechten.

De oudste dinosauriër, de *Coelophysis*, heeft men in deze lagen ook aangetroffen. Complete skeletten zijn bewaard gebleven. Vergeleken met hun toekomstige giganten waren deze primitieve 2-voetige dinosauriërs klein. Zelden werden ze langer dan 2 meter, terwijl ze slechts 20 tot 25 kg wogen. Opvallend is de lange nek. De scherpe tanden gebruikten de vleeseters bij het verscheuren van de prooi, die bestond uit kleine reptielen en amfibieën. Ook insecten behoorden tot de dagelijkse maaltijd.

De rivieren en meren werden verder bewoond door diverse soorten zoetwatervissen, zoals *Semionotus* en *Lepidotus*, zwaar gepantserde vissen die leefden van plantaardig voedsel. Een opvallende vis was *Ceratodus*, die nauw verwant is aan de huidige longvis die in kleine poeltjes en meertjes leeft in de droge gebieden van Australië en Zuid-Amerika. Wanneer zo'n poeltje uitdroogt, kan de longvis zich in de modder verstoppen en de droogte overleven, tot er weer water valt. De aanwezigheid van *Ceratodus* in de Chinle Formatie zou er op kunnen wijzen dat er afwisselend droge en natte perioden voorkwamen. In de meerafzettingen werden verder veel zoetwattmosselen gevonden van het genus *Unio*.

Het landschap kende een uitbundige plantengroei. Diverse soorten zijn in de Chinle Formatie bewaard gebleven. De meeste versteende boomstammen waren van conifeerachtige bomen, *Araucarioxylon*, een kegeldragende boom

en familie van de *Araucaria*'s die we nu nog aantreffen in delen van Zuid-Amerika, Australië en Nieuw-Zeeland, was de belangrijkste boom van het woud. Ongeveer 90% van het versteende hout is afkomstig van *Araucarioxylon*. Het is een majestueuze boom geweest, die wel 60 meter hoog kon worden en getooid was met een ruige, struikachtige kroon. De slanke stam had een ruwe, knobbelige bast en de conifeer droeg brede, driehoekige bladeren met een scherpe punt. Slechts enkele coniferen heeft men met wortels en al in de grond gevonden. De meeste exemplaren zijn echter verspoeld.

Lokaal groeide in de laagvlakte de conifeer *Woodworthia*, die thans uitgestorven is. Op vochtiger plaatsen groeiden moerasachtige bomen, zoals *Schilderia*, die met hun wortels in het water stonden.

Varens, paardestaartachtigen, cycaden en bloemplanten maakten deel uit van de ondergroei. Een opvallende plant was de boomvaren *Itopsidema*, die bij voorkeur op de iets hogere en dus drogere plekjes groeide. Paardestaarten, zoals *Neocalamites*, konden enkele meters hoog worden. Vergeleken met de reuzenpaardestaart *Calamites*, die in het Carboon voorkwam, is *Neocalamites* natuurlijk een onbeduidende plant. In de Chinle Formatie wordt *Neocalamites* veelvuldig aangetroffen.

Bloemplanten, die nog zeer primitief zijn, komen minder algemeen voor. Pas in het Krijt zullen de bloemplanten hun grote opbloei meemaken.

Cycaden zijn tropische planten met palmachtige bladeren. Ook nu nog komen ze op aarde voor. Een uitgestorven groep Cycaden zijn de *Bennettites*, waartoe bijvoorbeeld *Otozamites* behoort. *Otozamites* bezit een zware, korte stam die aan de top uitloopt in een krans van grote, stijve bladeren.

Niet alleen boomstammen zijn ons bewaard gebleven, maar ook vruchtkegels, naalden, bladeren, stukken schors,

enz. Uit al deze fossiele plantenresten heeft men kunnen reconstrueren uit welke plantensoorten het woud uit de Boven-Trias was samengesteld. Uit de enorme hoogte die sommige bomen konden bereiken kan men concluderen dat het klimaat in dat grijze verleden van de geschiedenis der aarde optimaal was voor de platengroei.

De verdere geologische geschiedenis

Het bovenste deel van de Chinle Formatie bevat geen hout e.a. plantenmateriaal meer. Waarschijnlijk heerste er toen een droger klimaat. Ook amfibieën ontbreken in dit deel van de Chinle Formatie.

In het late deel van de Boven-Trias en in de Vroege-Jura werd de fluviale laagvlakte door de zee veroverd waarbij in Noord-Arizona de Glen Canyon Groep werd afgezet (afb. 2).

Ook in het Krijt werden mariene afzettingen in deze streek gedeponeerd. Lokaal kunnen ze dikten tot 900 meter beslaan. De Glen Canyon Groep omvat een viertal Formaties: de Wingate F., de Moenave F., de Kayenta F. en de Navajo Formatie.

De Wingate Formatie bestaat uit lagunaire afzettingen. Noord-Arizona lag in die tijd onder de invloed van een zoutwaterlagune, die verbonden was met de open zee. Later droogde deze lagune op, omdat het gebied geleidelijk omhoog kwam. Steeds meer begon de invloed van de wind toe te nemen. Zo werden de zandduinen van het bovenste deel van de Wingate Formatie afgezet. In de Moenave Formatie treffen we echter afzettingen aan die toegeschreven moeten worden aan een moerassig milieu, waarin ook rivieren hun sediment achterlieten. Waarschijnlijk was er weer een fluviale laagvlakte aanwezig. Ook de afzettingen van de Kayenta Formatie zijn in dit milieu gevormd.

Tenslotte bestaat de Navajo Formatie, evenals de Wingate Formatie, uit eolische afzettingen. Doordat de wind vrij spel had konden er grote zandduinen ontstaan. In het huidige landschap vormt de Navajo-zandsteen een zeer opvallende verschijning (afb.4).

Al deze tot nu toe besproken afzettingen in Noord-Arizona vinden we aan de oppervlakte ontsloten. In een betrekkelijk klein gebied kunnen we vele tientallen miljoenen jaren van de geologische geschiedenis aflezen. Dit is te danken aan de grote gebergtevorming aan het einde van het Mesozoïcum, ca. 65 miljoen jaar geleden, toen de Rocky Mountains werden gevormd. De

afb. 4. Duingelaagdheid in de Navajo-zandsteen.



afb. 5. Resten van versteende boomstammen uit de Chinle Formatie.

Mesozoïsche sedimenten die zo'n 900 meter beneden zee-niveau lagen werden opgeheven tot 1500 meter boven zee-niveau. Opnieuw kon het grondwater vrij kiezelzuur uit de chemisch omgezette vulkanische as in oplossing afvoeren en het hout in de lagen eronder definitief verkiezelen. Met de opheffing begon ook de erosie, waarbij zo'n 900 meter Mesozoïsche sedimenten werden weggeërodeerd, waardoor o.a. de Chinle Formatie weer aan de oppervlakte kwam te liggen. Omdat niet alle lagen even hard zijn vond er zogenaamde differentiële erosie plaats, waarbij de zachtere lagen het eerst werden aangetast, terwijl de hardere lagen vaak bewaard bleven. Op deze wijze werden ook de fossiele boomstammen uitgerepareerd, terwijl de zachtere lagen er omheen zijn weggespoeld. Men schat dat er slechts 25% fossiel hout aan de oppervlakte is blootgekomen (afb. 5, 6 en 7). De rest ligt nog ingebed in de 90 meter dikke Chinle Formatie.

De verkiezeling van het hout

Tijdens het fossilisatie-proces werden de organische stoffen (cellen en weefsels) geleidelijk vervangen door anorganische bestanddelen. Het hout werd omgezet in steen. Het belangrijkste anorganische bestanddeel was kiezel (SiO_2). Daarnaast werden er geringe hoeveelheden ijzer en mangaan afgezet.

De kiezel is afkomstig van de vulkanische as, die over de begraven boomstammen was gedeponeerd. Deze vulkanische as is rijk aan silicaten. Tijdens de chemische verwerking (silicaatverwerking) wordt de vulkanische as omgezet in het kleimineraal bentoniet, terwijl de hierbij vrijgekomen metaalionen in oplossing worden afgevoerd. Samen met vrijgekomen kiezelzuur, H_4SiO_4 . Dit kiezelzuur verdwijnt met het percolerende regenwater naar de diepte en komt daardoor in de houtrijke lagen terecht. De begraven boomstammen werden zo verzadigd met het water en de daarin opgeloste bestanddelen. De concentratie opgeloste bestanddelen werd steeds hoger en uiteindelijk begon het zeer zwakke kiezelzuur neer te slaan als SiO_2 (kiezelgel): $\text{H}_4\text{SiO}_4 \rightleftharpoons \text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$.

In het begin werden alleen de open ruimten van de dode cellen opgevuld, maar na verloop van tijd was al het hout (ook de celwanden) vervangen door de SiO_2 . Deze zogenaamde **verkiezeling** (silicificatie) was een molecuul-voor-molecuul vervanging, een langzaam en natuurlijk proces. Het bijzondere hierbij is, dat mineralen de plaats van het hout innemen, zonder dat de plantenstructuur wordt ver-



afb. 6. Een versteende boomstam van *Araucarioxylon arizonicum* in het Rainbow Forest.



afb. 7. Resten van versteende boomstammen in het gebied van Jasper Forest.

stoord. Zelfs de individuele cellen zijn zo goed bewaard gebleven, dat men ze heeft kunnen vergelijken met de nu nog levende plantensoorten. Ook de jaarringen zijn duidelijk zichtbaar. Het hout (cellulose) ontsnapte bij de verkiezeling vermoedelijk als methaan (CH_4) en kooldioxyde (CO_2).

De uit het kiezelzuur, H_4SiO_4 , neergeslagen kiezelgel wordt in de loop van de tijd getransformeerd in SiO_2 -modificaties, die in 3 groepen kunnen worden onderverdeeld. De eerste groep is kristallijn, waarbij de kiezel afgezet is in de vorm van goed-ontwikkelde kristallen.

Deze ontstonden in open ruimten in het hout. Aan de binnenkant van die holten vormden zich kwartskristallen. De kwarts komt ook als *amethyst* voor.

Zuivere *kwarts* is kleurloos of wit, terwijl *amethyst* een paarse tot helderviolette kleur heeft. De kleur is waarschijnlijk een gevolg van "verontreiniging" met een klein gehalte (tot 0,1 %) ijzeroxyde.

Prachtige kristallen vindt men in het Crystal Forest.

De tweede groep is kryptokristallijn. Hierbij zijn de kristalletjes met het blote oog of met een loupe niet te zien.

Ze vormen dichte, fijnkristallijne aggregaten van SiO_2 .

Bekende kryptokristallijne SiO_2 -variëteiten zijn *chaledoon* en *agaat*. *Chaledoon* is een kwartsvariëteit die bestaat uit zeer kleine kristallen met ertussen submikroskopische poriën. De kleur is grijs of blauw-doorschijnend.

Er bestaan verschillende kleurenvariëteiten van *chaledoon*, zoals *karneool* (rode tot rood-bruine kleur) en *jaspis* (rood, bruin, groen, geel of grijs-blauw van kleur). De kleuren zijn het gevolg van "verontreinigingen" met ijzer en mangaanoxyden. In het Jasper Forest vindt men versteende boomstammen die geheel uit jaspis bestaan. *Agaat* is een kryptokristallijne kwartsvariëteit met een prachtig gekleurd bandenpatroon.

De derde groep is amorf (niet-kristallijn). Hiertoe behoort *opaal* ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, n duidt aan dat de hoeveelheid in het kristalrooster aanwezige water kan variëren). *Houtopaal* is een amorse, waterhoudende kiezelafzetting in hout.

In het Rainbow Forest kan men alle drie groepen mineralisaties terugvinden. Het fossiele hout vertoont er de meest bonte kleurschakeringen.

Badlands

De Chinle Formatie die in dit gebied aan de oppervlakte ligt valt op door het schitterend kleurspel, dat in het heldere zonlicht van dit semi-aride gebied nog extra ver-

sterkt wordt. De kleuren zijn het gevolg van de aanwezigheid van mineralen als limoniet (rood en geel), hematiet (rood, oranje en roze), gips en bentoniet (wit en grijs). In het noorden van het park bevindt zich een uitgestrekt gebied, waar dit kleurenpatroon op zijn mooist is. Vandaar dat men het gebied "Painted Desert" heeft genoemd (afb. 1).

Niet alleen vallen de kleuren op, maar ook het typische semi-aride landschap van geultjes en kleine ravijntjes, gescheiden door scherpe kammetjes (afb. 8). Een dergelijk landschap noemt men in Noord-Amerika "badlands". Dergelijke badlands ontstaan in de kleiafzettingen (in dit geval in bentoniet), die gemakkelijk eroderen in een semi-aride klimaat.

Zoals we al hebben gezien is de bentoniet een chemisch omzettingsprodukt van de vulkanische as. Wanneer bentoniet droog is, is het bijna net zo hard als gesteente. Bij een stortbui gedraagt het kleimineraal zich echter als een spons, het neemt water op en daardoor wordt het volume vergroot. Door deze volumetoename kan de klei hellingafwaarts gaan vloeien. Bovendien kan in de koudere maanden vorstwerking optreden, waarbij de harde klei in kleinere stukjes wordt gebroken. Deze kleinere fragmenten worden gemakkelijk door de wind opgenomen en verdwijnen naar andere streken.

Badlands ontstaan juist in semi-aride (en aride) gebieden, omdat daar geen of een onvoldoende plantengroei is.

Omdat de schaarse regen valt in de vorm van stortbuien (die meestal met onweer gepaard gaan), kan het regenwater snel over de kale of schaars begroeide kleibodem afspoelen. Daarbij concentreert het regenwater zich op bepaalde plaatsen, waar dan iets meer kleideeltjes zullen wegspoelen. Daar zullen dan geultjes ontstaan die na verloop van tijd uitgroeien tot een uitgebreid, dicht stelsel van geulen, gescheiden door ruggen. Na iedere onweersbui verandert het geulenpatroon.

Wanneer de hardere lagen boven de klei lange tijd weerstand kunnen bieden aan de erosie zal er uiteindelijk een soort platform ontstaan dat het zachtere materiaal eronder beschermt. Zo'n beschermende, harde laag kan bijvoorbeeld een zandsteen zijn. Afhankelijk van de grootte van het plateau spreekt men over een "mesa" of een "butte". Een mesa is een uitgestrekt platform met een dek van hard gesteente en begrensd door steile, bijne verticale zijkanen van gemakkelijk te eroderen materiaal. Een butte (in het Nederlands wel getuigeberg genoemd) is veel kleiner. Het is eigenlijk een vlak-toppige heuvel met steile wanden, een erosierest van een mesa.

De Flattops (afb.8) zijn nog enkele overblijfselen van een harde zandsteenlaag, die oorspronkelijk doorliep en de eronder gelegen bentoniet tegen erosie beschermde. Nadat de harde laag grotendeels was weggeërodeerd kwam de klei aan de oppervlakte te liggen en konden er badlands in ontstaan.

Wanneer een butte zijn beschermende dek verliest kan er een soort toren ontstaan. Bij verdergaande erosie kan zo'n erosierest een kegelvormige heuvel worden, die men een "tepee" (wigwam) noemt.

In het Petrified Forest National Park zijn enkele kegelvormige erosieresten van de Chinle Formatie bewaard gebleven: de Tepees (afb. 9). Ze bestaan uit bentoniet, afgewisseld door enkele harde zandsteenlagen.

Door al deze merkwaardige landschapsvormen is dit gebied voor de geologisch geïnteresseerde zonder enige twijfel de moeite waard. Wanneer men rondloopt tussen al die versteende boomstammen in het zonovergoten landschap dat een vele tientallen miljoenen jaren omvattende geologische geschiedenis achter de rug heeft, dan kan men dit gebied met recht één van Amerika's mooiste natuurwonderen noemen.



afb. 8. Badlands in de omgeving van de Flattops.

Literatuur

Ash, S.R. en May, D.D. (1969)-Petrified Forest-The story behind the scenery; Petrified Forest Museum Association, Holbrook, Arizona, 32 pp.

Breed, W.J. (1975)-The Age of Dinosaurs in Northern Arizona; Museum of Northern Arizona, Flagstaff, p.1-18.

Harris, A.G. (1977)-Geology of National Parks; Kendall/Hunt Publishing Company, p. 323-329.

Rigby, J.K. (1977)-Southern Colorado Plateau, geology field guide; Kendall/Hunt Publishing Company, p.112-115.

afb. 9. De Tepees, kegelvormige erosieresten van de Chinle Formatie.

