

DIJKSTERHUISLEZING 2008
UITNODIGING



‘De stenen achterna’

Prof.dr. Salomon B. Kroonenberg

21 april 2008

S A E



STICHTING
ACADEMISCH
EREGOED

De stenen achterna

Dijksterhuis lezing, Salomon Kroonenberg

Opgedragen aan de nagedachtenis van mijn oom Lipke Bijdeley Holthuis, Conservator Crustacea, Naturalis, 1921-2008

Het begint allemaal met Linnaeus. Hij publiceert in 1735 de eerste taxonomie van de drie grote rijken van de natuur: het plantenrijk, het dierenrijk en het stenenrijk. Zijn gouden vondst is om planten en dieren naar geslachtskenmerken in te delen. Geslachten, soorten, het is nog steeds de taal die we nodig hebben om de natuur te beschrijven. Wij gebruiken zijn classificatiesysteem voor planten en dieren nog steeds

Maar Linnaeus' classificatie voor stenen heeft het nooit gehaald. Waarom eigenlijk niet? In de eerste plaats natuurlijk omdat stenen zich niet geslachtelijk voortplanten, geen families zijn in de zin zoals dat voor het leven geldt. En wat dan wél de basisprincipes zijn voor het indelen van gesteenten en mineralen is dan nog niet bekend. Het falen van Linnaeus systeem blijkt al uit het feit dat hij de "soorten" borax, toermalijn, granaat en basalt allemaal tot de Borax-familie rekent. Ik wil hier nagaan hoe de lijnen van het leven en de mineralen uiteenzijn gegaan, elkaar hebben gekruist, en wat we daaruit kunnen leren voor de toekomst.

Natuurlijk is het namen geven aan mineralen niet met Linnaeus begonnen. In de Statenvertaling van de Openbaring van Johannes, vers 18-21 lezen wij

En het gebouw van haar muur was Jaspis; en de stad was zuiver goud, zijnde zuiver glas gelijk. En de fondamenten van den muur der stad waren met allerlei kostelijk gesteente versierd. Het eerste fundament was Jaspis, het tweede Saffier, het derde Chalcédon, het vierde Smaragd. Het vijfde Sardónix, het zesde Sardius, het zevende Chrysoliet, het achtste Beryl, het negende Topaas, het tiende Chrysopraas, het elfde Hyacinth, het twaalfde Amethyst.

Het grappige is, dat bijna al deze namen nu voor andere mineralen worden gebruikt dan in de oudheid. Zo is het toenmalige Saffier hetzelfde wat wij nu Lapis Lazuli noemen, en wat wij nu saffier noemen heet in de Bijbel hyacinth. Wij gebruiken ook de naam hyacinth nog, maar weer voor een ander mineraal: zirkoon. Van de twaalf namen uit de Openbaring zijn alleen amethyst, smaragd en beryl hetzelfde gebleven, volgens het onvolprezen boek *Die Namen der Steine* van de taalkundige Hans Lüschen. Lastig voor degenen die de Bijbel letterlijk nemen. In de Nieuwe Bijbelvertaling heeft men geprobeerd dit enigszins recht te trekken, maar veel is nog omstrede.

Ook zijn veel mineraalnamen afkomstig uit de oude Saksische mijnbouw, zoals kwarts, een oud slavisch woord voor "hard", en veldspaat, zwaarspaat, vloeispaat, waarbij "spaat" slaat op de splijting van het mineraal. "Glanzen", zoals loodglans, glansijzererts zijn glimmende ertsmineralen, "blendes" zoals zinkblende wat minder

glimmende mineralen. Metalen als koper, zink, lood waren al zeer lang bekend, maar ook kwam men ertsen tegen die hinderden bij het uitsmelten van deze metalen. Dat was de schuld van kwaadaardige geesten, kobolden, en zo kreeg het metaal kobalt zijn naam. Dat geldt ook voor nikkel: een Nickel is een plaaggeest, sich necken is plagen. Was sich neckt das liebt sich, stond in mijn Schwere Wörter.

Maar vanaf de zeventiende eeuw wordt de mineralogie wetenschappelijker, Linnaeus systeem is maar een van de velen uit die tijd. Er worden voortdurend nieuwe mineralen gevonden, en er worden al primitieve chemische analyses uitgevoerd. Natuurwetenschappelijke musea zoals ons eigen Teylers museum zoeken naarstig naar mineralen om hun collecties op te bouwen. Dat leidt tot een levendige handel. Zo vond een boer in de zuidelijke Alpen een mooi witglanzend stralig mineraal, en verkocht het aan de mineraalhandelaar Vizard in Bern. Hij zei dat hij het mineraal had gevonden in de Val Tremola, en zo werd het mineraal Tremoliet genoemd, naar de vindplaats. Maar naar later bleek, komt het mineraal daar helemaal niet voor. De boer had de vindplaats voor zichzelf willen houden, zag winst zitten en had daarom een valse vindplaats opgegeven, zo schrijft de beroemde negentiende eeuwse Duitse mineraloog Leopold von Buch. Nu weten we dat het komt van de Campolungo, dicht bij de Gotthard. Scherpslijpers accepteren de term tremoliet nog steeds niet, en noemen het in plaats daarvan grammatiet.

Ook heten veel mineralen naar personen. Zo hielden de Amsterdamse geologen Burke, Kieft en Oen samen met de Amerikaan Barton in 1978 het mineraal Uytendogaardtiet ten doop, een goud-zilversulfide, genoemd naar de vroegere Delftse hoogleraar geologie Willem Uytendogaardt, een beroemd ertskundige. Op de maan is een nieuw mineraal gevonden dat armalcoliet genoemd is, naar de drie astronauten Armstrong, Aldrin en Collins. En toen een nieuw mineraal gevonden werd in associatie met adamien werd het maar eveiet genoemd. Er is ook een mineraal pravdriet, naar de krant Pravda. “Wij hopen dat dit de laatste keer dat een mineraal naar een krant wordt genoemd”, verzuchtte de International Mineralogical Association, die verantwoordelijk is voor de erkenning van mineraalnamen. Kortom, met de naamgeving van de mineralen is het nooit meer iets geworden. De negentiende eeuwse Duitse mineraloog Friederich Mohs (1773-1839), die zijn naam aan de beroemde hardheidsschaal heeft gegeven, was dan ook zeer jaloers op de mooie botanische en zoölogische taxonomie.

Dat wil niet zeggen dat er geen systematiek in de classificatie van de mineralen zit. Mineralen worden ingedeeld op grond van hun chemische samenstelling in gedegen elementen, oxide, sulfiden, sulfaten, carbonaten, fosfaten, haliden en silikaten. Voor de determinatie let men behalve op de samenstelling op kristalvorm, kleur, glans, hardheid, splijting, soortgelijk gewicht, en verder op de optische eigenschappen onder de polarisatiemicroscop. Maar de voornaamste doorbraak geschiedt als de röntgenstralen worden ontdekt. Max von Laue laat in 1912 voor het eerst zien dat röntgenstralen door kristallen kunnen worden afgebogen. De eerste röntgenopnamen van een kristal van sfaleriet of zinkblende bewijzen dat kristallen niet alleen maar een regelmatige uiterlijke vorm hebben, maar ook een regelmatige inwendige structuur: het kristalrooster. Terwijl al bekend was welke chemische elementen er in zinkblende zitten, wordt nu duidelijk dat elk element zijn eigen plaats in het kristalrooster heeft, en elk mineraal zijn eigen unieke eenheidscel heeft.

Alle eigenschappen van de mineralen hebben te maken met hun inwendige structuur. Zo is te zien dat de hardheid en het smeltpunt van aardalkalioxiden rechtstreeks afhangt van de grootte van de ionen en daarmee samenhangend de bindingskrachten in het mineraal. Met name voor de silikaten is dat een kapitale ontdekking, want nu ineens wordt duidelijk waarom er zoveel verschillende silikaten zijn: ze bestaan uit silikaatbouwsteentjes die op allerlei verschillende manieren met elkaar gecombineerd kunnen worden. Silikaten worden nu ingedeeld op grond van hun interne structuur. Samen met de ontdekking van het periodiek systeem is de grote variatie van mineralen voor een groot deel opgehelderd. Voor de geologen onder u is dat misschien triviaal, maar ik heb een speciale reden om hier de nadruk op te leggen. Maar eerst naar Suriname.

Het is 1974. Ik zit op de Geologisch Mijnbouwkundige Dienst van Suriname slijpplaatjes van gesteenten uit het binnenland te bestuderen, samen met mijn collega Emond de Roever. Dan broemt Emond vanachter zijn microscoop: “Hé, wat is dat?” Hij roept mij erbij. Ik zie een paar blauwgroene korreltjes in een gneis met sillimaniet en cordieriet. Ik kan de korreltjes niet direct thuisbrengen, het lijkt niet op iets wat ik ken. “Het lijkt op saffirien, maar ook weer niet”, zegt Emond. Ik ken dat mineraal niet. Mijn studiegebied is niet zo hoog metamorf als het zijne, en saffirien heb ik nooit gezien, hoewel ik wel net zulke sillimaniet-cordierietgneizen heb.

Emond is een nauwgezet en vasthoudend man, en hij rust niet voor hij de optische eigenschappen precies heeft bepaald. Het klopt inderdaad niet met saffirien, en met geen enkel ander bekend mineraal. Zou het een nieuw mineraal zijn? Dat zou zeer bijzonder zijn, want er zijn maar vierduizend mineralen bekend, en er worden wereldwijd maar vijftig tot zestig nieuwe per jaar gevonden. Maar om dat te weten is verder onderzoek nodig: een röntgendiffractogram om aan te tonen dat het een nieuw mineraal is, chemisch onderzoek met de microprobe om de samenstelling te weten te komen, en verdere röntgenanalyse om precies de eenheidscel te bepalen. Maar er zitten zo weinig korreltjes in het slijpplaatje dat het de vraag is of hij ooit genoeg materiaal kan vinden om die analyses uit te voeren. Is het handstuk er nog? Hij heeft het steenmonster niet zelf verzameld, het komt uit de collectie die jaren geleden door getrainde verkenners in het Bakhuisgebergte is verzameld. Emond duikt in het archief van de GMD. Honderden laden met tienduizenden stenen, precies gesorteerd op de naam van de verkenners. Dit is monster EW 1115, de letters staan voor Emile Waterval, de opzichter die de steen vijftien jaar geleden verzameld heeft, en die het nummer met zwarte Flexa verf op een witgeverfd vlakje op de steen heeft gezet. Het archief is uitstekend, en het monster is gauw gevonden. Het is maar een onooglijk stukje steen, maar Ed Murray op de Geologisch Mijnbouwkundige Dienst van Suriname is een wonderkind op de röntgendiffractie en maakt een diffractogram aan twintig korreltjes. Het monster wordt dan naar Nederland gestuurd, en met veel kunst en vliegwerk lukt het om de samenstelling en de eenheidscel te bepalen. Het is inderdaad een nieuw mineraal, de Commission On New Minerals And Mineral Names (CNMMN) van de International Mineralogical Association accepteert de gegevens en erkent het mineraal. Emond doopt het surinamiet, de goeierd. Het is een magnesium-aluminium-silikaat, eigenlijk een heel gewone samenstelling, maar toch een apart mineraal omdat het bij extreem hoge drukken en temperaturen is gevormd, zo'n dertig kilometer onder het aardoppervlak.

Maar toch wringt er iets. De totalen van de chemische analyses zijn eigenlijk iets te laag, en bovendien is niet duidelijk waarom saffirien en surinamiet, allebei magnesium-aluminiumsilikaten, naast elkaar in hetzelfde gesteente voorkomen. Maar voor verder onderzoek is geen materiaal meer beschikbaar. We besluiten op expeditie te gaan, in onze vrije tijd, wel te verstaan, want voor onze bazen heeft dit geen prioriteit. Er moeten delfstoffen gevonden worden, geen nieuwe mineralen. Maar hoe de vindplaats op te sporen? Het monster is diep in het oerwoud verzameld, ver van wegen en vliegvelden, op een van de duizenden verkenningstochten te voet die het GMD personeel in het hele binnenland heeft uitgevoerd. Van elke verkenning wordt een veldschets gemaakt, een foliovel ruitjespapier waarop precies de afstanden, zoals die bepaald zijn met passen tellen, en de kompasrichting is uitgezet. Elke gepasseerde kreek staat erop, elke berg is met vormlijnen aangegeven, primitieve hoogtelijnen, een voor elke manshoogte die je stijgt.

Ook het veldarchief klopt. Rijen met klappers vol veldschetsen, gesorteerd op de naam van de verkenner. Het monster staat ook ingetekend op de 1:40,000 topografische kaart, maar daarom vind je de plaats nog niet zomaar. Op de kaart staan hoogtelijnen, rivieren en kleinere kreekjes, en verder niets. Er zijn geen wegen, geen dorpen, het is volstrekt onbewoond gebied, met alleen maar tropisch regenwoud. De lijnen die Emile Waterval vijftien jaar geleden gekapt heeft zijn allang weer dichtgegroeid; zo'n lijn wordt alleen maar gemarkeerd door wat afgekapte palmtakjes, en hier en daar een inkeping in een boom op de plek waar een kreek wordt gepasseerd. Op grote afstand van het punt is jaren geleden wel een weg gemaakt voor de bauxietexploratie, maar die wordt al vijf jaar niet meer gebruikt.

Maar het avontuur lokt, we besluiten het erop te wagen. De steen achterna. Met mijn tweetakt Suzuki jeep rijden we over de laterietweg naar West-Suriname, we vinden de half dichtgegroeide bauxietweg, manoeuvreren door diepe erosiegeulen, zagen met een geleende kettingzaag de over de weg gevallen bomen door, en zetten de auto neer op acht kilometer van de vindplaats. Met de houwer in de ene hand, de veldschets in de andere kappen we een nieuwe lijn door het bos, terwijl we onze passen tellen om de afstand te bepalen. Honderddertig passen op honderd meter, hebben we tevoren gemeten. We volgen de kreekjes en de vormlijnen, klimmen over dolerietruggen, en ja, hier zou het moeten zijn. Het zouden de paar losse stenen kunnen zijn die hier op de bosgrond liggen. Ze lijken op EW 1115, maar ook weer niet helemaal. Zit het mineraal erin? We kunnen het niet zien, de korreltjes zijn immers mikroskopisch klein. We verzamelen een paar handstukken, het voelt als een anticlimax. Misschien is het wel niks.

Pas drie maanden later zijn de slijpplaatjes klaar. Het is niet precies hetzelfde gesteente, er zit kyaniet in, dat zat niet in EW 1115. Maar toch zitten er korrels surinamiet in. Het is gelukt! Maar Emond's contract in Suriname is inmiddels afgelopen. Gelukkig krijgt hij een post-doc plaats van drie maanden aan de universiteit van Bochum in Duitsland om het uit te zoeken. Hij ontdekt dan dat er ook beryllium in zit, een heel licht element dat bij de eerste analyses niet gemeten kon worden. Nu kloppen de totalen eindelijk, en het beryllium verklaart waarom het naast saffirien voor kan komen.

Biologen zouden het steenbrokje EW 1115 het holotype van surinamiet noemen, maar waar is het? Liggt het in een museum? Is het toegankelijk voor het publiek en voor de wetenschap? Ik heb Emond er onlangs naar gevraagd. Het lag destijds in de safe bij René

Cambridge, toenmalig hoofd van de Geologisch Mijnbouwkundige Dienst van Suriname op de Kleine Waterstraat in Paramaribo. Maar het gebouw is afgebroken, er staat nu een protserig hotel voor in de plaats, en de GMD is naar de andere kant van de stad verhuisd. Is de safe er nog? Zit het er nog in? En als het er inzit weet iemand dan nog wat het is? Niemand die het kan zeggen. Voor de zekerheid heeft Emond de gepolijste dunne doorsnede, waaraan de chemische samenstelling is bepaald, achtergelaten bij de analist op de Vrije Universiteit, dezelfde Wim Kieft die al eerder werd genoemd. Maar Kieft is overleden, en veel oud materiaal is weggegooid bij de VU.

Heeft de Commission for New Minerals and Mineral Names van de IMA dan niet geëist dat er een toegankelijk exemplaar in een museumcollectie zou worden geplaatst? Nee, IMA vereist alleen dat de optische, chemische en kristallografische gegevens kloppen, en wil weten waar het mineraal bewaard wordt. Inmiddels is het nog op vijf andere plaatsen ter wereld gevonden. Maar er is geen museum die ernaar gevraagd heeft. Collectievorming is geen punt meer in de mineralogie. Mineralogische taxonomie is een achterhoedegevecht. Een enkel instituut houdt zich er nog mee bezig, zoals het Natural History Museum in Londen, de École des Mines in Parijs en het Smithsonian Institution in Washington, in Nederland niemand meer. Ook ons eigen prachtige Mineralogisch Geologisch Museum in Delft verzamelt niet meer: de collectie wordt vooral gebruikt voor onderwijsdoeleinden en publieksvoorlichting. De voorzitter van de IMA commissie, de mineraloog Ernst Burke van de Vrije Universiteit, verzuchtte laatst in een column dat de systematische mineralogie vooral lijkt op het samenstellen van een telefoonboek. Alle gegevens staan op internet, op www.mindat.org, en andere websites. Waarom zou je dan nog een collectie aanhouden?

Waar houdt de mineralogische wetenschap zich dan mee bezig? De mineralogie is geen beschrijvende wetenschap meer, maar een verklarende. Men wil weten waaróm een bepaald mineraal ergens wordt gevonden, onder welke omstandigheden. Onder welke omstandigheden van druk en temperatuur is surinamiet stabiel? Allemaal vragen die we pas sinds de jaren zestig kunnen beantwoorden, sinds we laboratoriumexperimenten onder precies gecontroleerde druk en temperatuur kunnen doen, zoals in het HPT lab in Utrecht, en sinds we met massaspectrometrie verschillende isotopen van een element kunnen bestuderen om chemische reacties te reconstrueren. Ook kunnen we nu de precieze ouderdom van verschillende groeistadia van één enkel zirkoonkristal determineren: soms zit er wel een miljard jaar tussen twee groeiringen. De nieuwe granaatvariant majoriet is met name interessant omdat die uit de aardmantel lijkt te komen. Nieuwe varianten van SiO₂ zoals coesiet en stishoviet komen alleen voor in inslagkraters van meteorieten. Onlangs is vast kooldioxide gevonden als inluitseltjes in diamant, wat erop wijst dat er ook broeikasgas honderden kilometers diep in de aarde zit. En met nieuwe elektronenmicroscopische technieken kunnen we de ionen in de mineralen zien zitten. Maar verzamelen om het verzamelen? Nee.

De enigen die nog wel aan collectievorming doen zijn de amateurgeologen. Er is vrijwel geen hoogleraar geologie meer die nog een mineraal kan determineren, maar de amateurs kunnen dat uitstekend. In hun vrije tijd stropen zij verlaten mijnen af op zoek naar mooie kristallen, maken prachtige micromounts van piepkleine mineraalbrokjes en verhandelen die op mineraalbeurzen, werken ook al met de polarisatiemicroscoop of verzamelend allerlei soorten zand van verschillende mineralogische samenstelling. Ook veel professionele geologen zijn lid van hun verenigingen en schrijven in hun bladen.

Daarnaast zijn er natuurlijk de edelsteenhandelaren. Soms hebben die geluk, en wordt er een nieuw mineraal gevonden van edelsteenkwaliteit, zoals de paarse tanzaniet, een zoisietvariant uit Tanzania, en de frambozenrode lithium-caesium beryl pezzottaïet uit Madagascarië die zo zeldzaam is dat mooie kristallen honderdduizenden dollars waard zijn.

Maar o wee, als er ooit een techniek wordt ontdekt die onvermoede nieuwe eigenschappen van mineralen aan het licht brengt. Dan is er geen enkel museum ter wereld meer waar je terecht kunt om die technieken op alle mineralen te testen.

Staat de biologie hetzelfde te wachten als de mineralogie? Gaan de planten en de dieren de stenen achterna? Zijn het straks alleen nog maar de vogelaars die een vogel op naam kunnen brengen? Tot in de negentiende eeuw lijken mineralogie, botanie en zoölogie in de natuurhistorische musea gelijkop te gaan: men verzamelde planten in herbaria, dieren werden opgeprikt met speldjes of verdronken in de formaline, en gesteenten en mineralen in vitrines en houten laden. Maar nu is die situatie radikaal veranderd. Terwijl het verzamelen van mineralen voor de museumcollecties vrijwel is afgelopen, gaat het verzamelen voor de botanische en zoölogische collecties onverminderd door. Hoe komt dat? En hoe gaat het verder? Die vragen staan centraal in dit verhaal.

Als er één persoon de systematische zoölogie symboliseerde, dan was het wel mijn oom Lipke Holthuis, die vorige maand op 86-jarige leeftijd is overleden. Hij was 68 jaar aan het Rijksmuseum voor Natuurlijke Historie, het tegenwoordige Naturalis verbonden, en tot op het laatst toe stond hij 's morgens om half zeven op de stoep zodra het gebouw openging. Hij was volstrekt onpensioneerbaar. Hij maakte talloze verzameltochten over de hele wereld, hoewel hij later bekende dat hij eigenlijk niet van reizen hield. “Als ik ooit een autobiografie schrijf, noem ik die *Een huismus op reis* zei hij. Hij schreef meer dan 600 artikelen over krabben, kreeften en garnalen, en legde een unieke verzameling boeken over Crustacea aan, die hij bij zijn overlijden aan het museum heeft vermaakt. Hij bezat alle kankerpostzegels van de wereld, want er stond een krabbetje op. Hij bezat een indrukwekkende collectie Chinees porselein, Japanse netsuke, Romeinse munten, Delftse tegels, Panamese molas, Afrikaanse beeldjes van neushoornivoor, alles waar een krabbetje opstond kreeg een plaats in zijn collectie. Op zijn crematie noemde Paul Clark, zijn collega van het Natural History Museum in Londen hem dé Crustacea specialist van de twintigste eeuw.

Ik ken die emoties, het fantastische gevoel iets te herkennen, op naam te kunnen brengen. Het hoort bij het structureren van je wereldbeeld. Ik verzamelde vroeger postzegels en munten, verzamelingen waar Lipke met zijn reizen ook de basis voor legde. Ik herken het ook in het enthousiasme van Rinus Hoogmoed, voormalig conservator van reptielen en amfibieën van Naturalis, die met mijn geologische expedities in Suriname meeging om kikkers te verzamelen voor de kikkerkaart van het land. Ik vond het prachtig, ik kon er zelf op het laatst ook wel vijftig soorten herkennen. Ik had zelfs een stelling in mijn proefschrift over kikkers:

Dendrobates trivittatus dient te worden ondergebracht in het genus *Phyllobates*. Ik zou hem niet meer kunnen verdedigen. Rinus was een van mijn paranymfen. Herkennen geeft een gevoel van triomf, misschien zelfs wel van macht over de natuur. Taxonomen zijn trots op hun kennis, en niets streelt de ijdelheid meer dan van overal uit de wereld verzoeken te krijgen om moeilijke soorten op naam te brengen. Het gevoel dat

die kennis verloren zou gaan, al was het alleen maar omdat er geen opvolger zou zijn in hun eigen vakgebied, is eigenlijk onverdraaglijk. Aan de andere kant is het ook heerlijk om een nieuwe soort te ontdekken, zolang het er maar niet te veel tegelijk zijn. Lipke vertelde het verhaal van een collega die mijten verzamelde op Nieuw Guinea: “nu wil ik wel eens een soort vinden die ik wél ken”.

Lipke was een taxonoom in hart en nieren. Maar dat betekende ook dat hij geen belangstelling had voor ecologie of evolutie. Hij vond het maar lastig, als de ene soort in de andere over kon gaan, of zich in meerdere soorten splitste. “Maar je hebt wel twee boeken van Darwin in je kast staan!” zei zijn collega Chris Smeenk eens. “Ja” zei Lipke, die gaan over zeepokken. Zijn beste werken.” Dat was de keerzijde. Want de vraag: hoe komt het eigenlijk dat er zoveel soorten zijn, stelde hij niet.

Linnaeus heeft de botanie en de zoologie een grote voorsprong gegeven op het gebied van de systematiek, een voorsprong die de mineralogie nooit meer in heeft kunnen halen. En de botanici en zoölogen kregen een nog grotere voorsprong toen Darwin duidelijk maakte wat de drijvende kracht was achter het ontstaan van de soorten: de natuurlijke selectie. Darwin's *Origin of Species* verscheen een halve eeuw voordat duidelijk werd hoe de meeste mineralen werden gevormd. Pas in 1928 liet Norman Bowen zien hoe de kristallisatie van mineralen in magmas in zijn werk gaat. In de jaren dertig beschreef Pentti Eskola de opeenvolging van mineralen in metamorfe gesteenten onder toenemende temperatuur en druk, en pas in de jaren zestig van de vorige eeuw kon experimenteel worden vastgesteld hoe graniet ontstaat.

Er zijn drie redenen waarom de systematisch mineralogen toch eerder klaar lijken te zijn met hun inventarisatie van de natuur dan de systematische botanici en zoölogen. In de eerste plaats zijn er maar ongeveer vierduizend mineralen bekend, en de vijftig à zestig nieuwe die er jaarlijks worden bijgevonden zijn merendeels varianten op reeds bestaande mineralen. Bovendien waren al die mineralen er voor een groot deel al bij het ontstaan van de aarde: geen evolutie dus. Spectraal onderzoek van het oppervlak van Mars en andere planeten laat zien dat ook daar grotendeels dezelfde mineralen voorkomen. Veel nieuwe mineralen zullen er wel niet meer bijkomen.

Maar de diversiteit van het leven is oneindig veel groter. Er zijn nu zo'n anderhalf miljoen soorten beschreven, waarvan minstens de helft insecten, maar er bestaan misschien wel veertig miljoen soorten, tienduizend keer zoveel als er mineraalsoorten zijn. En die waren er niet al vanaf het ontstaan van de aarde, maar hebben zich bijna exponentieel ontwikkeld door de evolutie. Elke nieuwe boomsoort creëert weer nieuwe niches voor nieuwe insecten, voor nieuwe kikkersoorten in hun vochtige okselholten, voor nieuwe apensoorten die hun bladeren eten, voor nieuwe torren die hun schors opeten als ze omgevallen zijn. En als je dan ook nog in aanmerking neemt dat vijftien procent van alle soorten die ooit bestaan hebben inmiddels zijn uitgestorven, dan staan de taxonomen nog voor een gigantische taak. Ze mogen maar blij zijn dat de evolutie niet sneller nieuwe soorten creëert dan zij kunnen beschrijven.

De tweede reden waarom er nog zoveel werk te doen is dat de aandacht van de meeste taxonomen in de natuurhistorische musea uitgaat naar een miniem gedeelte van de tree of life. Het is leuk van krabben en garnalen nieuwe vormen te ontdekken, maar het overgrote deel van de levensvormen bestaat uit Archaea en andere ééncelligen, bacteriën en virussen, die niet in museumcollecties voorkomen en alleen in gespecialiseerde

laboratoria worden bewaard. Die beesten zijn wat minder sexy voor het publiek, zo niet gevaarlijk, maar zij hebben evenveel recht op een plaatsje in de levensboom als wijzelf.

Maar de belangrijkste reden is het feit dat de mineralogie in één opzicht een enorme voorsprong had op de biologie. Laue ontdekte het kristalrooster van de mineralen al in 1912, en daardoor kunnen we de eigenschappen van de mineralen al vroeg koppelen aan hun interne structuur. Maar het kristalrooster van het leven, het DNA, werd pas in 1953 ontdekt. En weer was het een röntgenopname die de doorslag gaf: die gemaakt door Rosalind Franklin, die van de ontdekkers Crick en Watson nooit de credit heeft gekregen die ze verdiende. Pas nu kunnen we de eigenschappen van *levende* wezens koppelen aan hun interne structuur. En pas nu kunnen we zien dat mutaties de drijvende kracht zijn achter Darwin's natuurlijke selectie.

Sinds de ontdekking van DNA moeten we eigenlijk weer helemaal opnieuw beginnen. Door studies van DNA weten we dat de grootste bloem ter wereld, de Rafflesia, die wel een meter in doorsnee kan worden, maar geen bladeren of stengels heeft, familie is van de kerstster en de christusdoorn. Pas door DNA weten we zeker dat de dodo van Mauritius familie was van de duif. Nog maar anderhalf procent van de soorten die in de collecties van Naturalis aanwezig zijn, is nu gekarakteriseerd met een DNA fingerprint. En een groot gedeelte kán helemaal niet meer worden gesequenced, omdat veel preparaten in formaline worden bewaard, die het DNA vernietigt. Beesten op formaline zijn als het ware fossielen geworden, al worden er nu toch weer technieken bedacht om ook daar een oplossing voor te vinden. Gelukkig zijn er ook exemplaren op alcohol geconserveerd. En pas de laatste tien jaar beschikken we over het volledige genoom van een klein aantal soorten.

We staan pas aan het allereerste begin van een volstrekt nieuwe wereld, waarin het genoom van alle soorten op het internet te raadplegen valt, van olifant tot vogelgriepvirus, allemaal op dezelfde manier toegankelijk. Een wereld waarin biologen met draagbare DNA sequencing kits het veld ingaan om elke soort direct te karakteriseren, en nieuwe soorten vast te leggen. Een wereld waarin je een hap grond of een hap sediment *bulk* kunt laten analyseren op alle soorten bodemleven die erin zitten, of je ze nu kent of niet. Dat levert taxonomische kennis op, maar niet noodzakelijkerwijs van hetzelfde soort als wij nu verzamelen. De morfologie blijft belangrijk, maar minder dan vroeger, want iedereen kan een DNA profiel maken en opzoeken wat voor soort het is, maar voor morfologische kenmerken heb je een specialist nodig. Misschien zijn toekomstige taxonomen eerder specialisten in een bepaald deel van de genetica dan in een bepaalde plant- of diergroep.

Maar waaróm willen we eigenlijk doorgaan met de taxonomie en de systematiek? Wat wordt het meer dan het telefoonboek van het leven? Er zijn twee belangrijke vragen die nog lang niet zijn beantwoord: de eerste is: hoe werkt evolutie, en met name in wat voor tijdschalen? En de tweede is: hoe is de huidige biodiversiteit ontstaan, en hoe moeten we er in de toekomst mee omgaan?

Evolutie door natuurlijke selectie is een grondbeginsel van de biologie, maar we weten eigenlijk slecht in wat voor tijdschalen het zich afspeelt. We zien soorten verschijnen en verdwijnen in de geologische geschiedenis, maar het is moeilijk om het proces op heterdaad te betrappen. Wie heeft het ooit zien gebeuren in zijn menselijk bestaan? En

gaat evolutie vanzelf, door constante mutaties die binnen het genenmateriaal plaatsvinden, zoals de genetici vinden, of gaat het met sprongen, en moet je naar oorzaken buiten de organismen zelf zoeken, zoals de paleontologen beweren?

Genetici ontdekten in de jaren zestig dat hoe langer geleden twee soorten van elkaar waren afgesplitst, des te groter het verschil was in de aminozuren in de eiwitten van die soorten. Zij verklaarden dat door aan te nemen dat er in de genen die voor die eiwitten coderen mutaties plaatsvinden met een constante snelheid. Veel van die mutaties hebben geen merkbare invloed op de eigenschappen van de organismen, en zouden niet opgemerkt zijn zonder genetisch onderzoek. Als een mutatie nadelig is voor de soort, worden de dragers daarvan vanzelf geëlimineerd door het proces van natuurlijke selectie. Omgekeerd, als die mutaties positief uitpakken, worden de dragers bevoordeeld door de natuurlijke selectie en kan na geografische isolatie een nieuwe soort ontstaan. Als je de snelheid van die mutaties kent, kun je terugrekenen hoe lang het is geleden dat twee soorten met dezelfde eiwitten uit elkaar zijn gegaan. Je kunt zodoende een stamboom maken van de verwantschappen tussen de verschillende soorten. De stamboom van het fruitvliegje laat zien dat de familie al 55 miljoen jaar geleden is afgesplitst van haar naaste verwanten. Op dezelfde manier kun je laten zien dat de verschillende ordes van de zoogdieren 70 miljoen jaar geleden van elkaar zijn afgesplitst, de monocotyle planten van de dicotyle 125 miljoen jaar, de bedektzadigen (bloeiende planten) van de naaktzadigen (naaldbomen) 220 miljoen jaar, de zoogdieren van de amfibieën 350 miljoen jaar, de viervoeters van de vissen 400 miljoen jaar, en de gewervelden van de ongewervelden 600 miljoen jaar geleden, de zogenaamde Cambrische explosie.

Geografische isolatie is het sleutelwoord om speciatie te bewerkstelligen. Want als twee populaties gescheiden worden kunnen ze overgaan in nieuwe soorten. Maar het merkwaardige is dat er de laatste twee miljoen fantastische veranderingen aan het aardoppervlak hebben plaatsgevonden door de ijstijden, zonder dat dat tot speciatie heeft geleid. Door zeespiegelverlaging in de ijstijden zijn er talloze eilanden en landbruggen tussen continenten ontstaan, zodat uitwisseling mogelijk werd. Door zeespiegelstijging na de ijstijden zijn juist talloze gebieden weer geïsoleerd geraakt, zodat nieuwe speciatie op kon treden. Klimaatveranderingen hebben reusachtige verschuivingen teweeg gebracht in de biogeografie. Maar niets van dat alles heeft tot speciatie geleid. Thomas van der Hammen en Henry Hooghiemstra kunnen de vegetatieveranderingen van de noordelijke Andes in de laatste vijf miljoen jaar perfect volgen zonder ooit het woord evolutie in de mond te hoeven nemen. De vegetatietypen rond de Kaspische zee zijn de laatste vijf miljoen jaar alleen heen en weer geschoven, maar niet essentieel geëvolueerd. Koraalterrassen op Curaçao uit vorige warme perioden hebben precies dezelfde soorten als de moderne. Zelfs Darwin's eigen Galapagos vinkjes zijn volgens de genetici al een half miljoen tot een miljoen jaar uit elkaar gegaan. Maar hoe werkt het dan?

Heb je er meteorietinslagen voor nodig, zoals aan het einde van het Krijt? Maar grote inslagen zijn zeldzaam, en kleine inslagen hebben alleen lokaal effect. Zijn het dan omkeringen van het aardmagnetisch veld, zodat zeeschildpadden en trekvogels de weg kwijtraken en uitsterven? Maar ze hebben vorige ompolingen wél doorstaan, en ook in perioden zonder ompolingen gaat de evolutie door, zoals de ammonieten uit het Mesozoïcum laten zien. We weten nog niet hoe het werkt.

En wat bedoelen we dan eigenlijk met een soort? De vermaarde Amerikaanse bioloog Edward O. Wilson definieert de soort als volgt: 'a species is a population whose members

are able to interbreed freely under natural conditions'. Maar een paleontoloog die naar fossielen kijkt, kan niet testen of zijn variant zich kon voortplanten of niet. Die heeft alleen de uiterlijke vorm, en soms chemische kenmerken, om zijn soorten te karakteriseren.

Voor de geneticus is niet de soort de basiseenheid van het leven, maar het gen. De geneticus kan bovendien uitspraken doen over de evolutie van organismen die vrijwel nooit fossiliseren, zoals kwallen en bacteriën. Dat is zijn voorsprong op de paleontoloog. Er zal een tijd komen dat een soort in de eerste plaats gedefinieerd wordt aan de hand van zijn genoom, en pas daarna door de uiterlijke kenmerken. Maar de geneticus heeft weer een ander probleem. Vijfennegentig procent van de organismen die ooit geleefd hebben in de geologische geschiedenis is al uitgestorven. Daar zal hij nooit genetisch materiaal van in handen krijgen, daar heeft hij de paleontoloog weer voor nodig. Systematici, paleontologen en genetici zullen er samen uit moeten komen.

Gaat evolutie dan zó langzaam? Minstens miljoenen of tientallen miljoenen jaren, zoals we zien bij de ammonieten van het Krijt, de vogels van de Galapagos, de koralen van Curaçao, de fruitvliegjes van de genetici? Niet altijd. Virussen worden heel snel resistent tegen de vaccins die tegen ze worden gemaakt. Dat is ook evolutie. En in bijzondere gevallen gaat het wél snel, zoals de beroemde vijfhonderd cichliden-soorten, de visjes in het Victoriameer die zo prachtig zijn beschreven door Tijs Goldschmidt in *Darwins hofvijver*. Maar ook daar is men het er nog niet over eens hóé snel: de eerste lichting geologen zei 750 000 jaar, de tweede lichting geologen zei 14 000 jaar, pas sinds de laatste ijstijd, en de moleculair biologen zeggen nu weer 100 000 jaar. Wat bepaalt dan de snelheid waarmee evolutie plaatsvindt? Het zijn nog onopgeloste vragen, en er zijn genetisch onderlegde taxonomen nodig om de antwoorden te vinden.

De tweede vraag is daarmee verwant: hoe is onze biodiversiteit ontstaan? En dan heb ik het niet over datgene dat men in Nederland biodiversiteit noemt, want die is grotendeels door mensenhand gemaakt. Driekwart van de biomassa in Nederland is exotisch, en van de 12000 plantensoorten in Duitsland zijn er 8000 geïmporteerd. Onze tarwe komt uit het Midden-Oosten, onze mais uit Mexico, onze aardappelen uit de Andes en onze tulpen uit Kazakhstan, en de hoeveelheid geïmporteerde laanbomen, sierheesters en kamerplanten is huiveringwekkend. Wij betalen de boeren om de weidevogels te beschermen, maar die horen hier helemaal niet thuis. Die kwamen uit de steppegebieden van Zuid-Oost Europa, toen wij hier in de Middeleeuwen ons landschap rigoureuus ontbosten, volgens het prachtige boek *Eine kurze Naturgeschichte des letzten Jahrtausendes* van Josef Reichholf. Wat wij in Nederland natuur noemen is een gewas, een verzameling planten die eruit ziet zoals wij vinden dat het eruit moet zien. Dat heeft niets met biodiversiteit te maken, het is gewoon tuinieren. Echte natuur krijg je alleen als je erafblijft met je vingers. En die vertoont een veel kleinere biodiversiteit dan het park dat wij er nu van gemaakt hebben.

Nee, ik bedoel met biodiversiteit dan ook de natuurlijke biodiversiteit: het organisch gegroeide geheel van op elkaar afgestemde levensvormen dat zijn meest uitbundige vorm bereikt in het tropisch regenwoud en in de koraalriffen. Waarom vinden we zoveel meer soorten in de tropen dan in de gematigde streken? Komt dat door een snellere evolutie in gunstige klimaten, of komt het doordat in de ijstijden veel soorten in de gematigde streken in de knel kwamen en het patroon dus alleen maar verarming weerspiegelt? En

hoe veerkrachtig is die biodiversiteit als het klimaat verandert? Wat heeft het verzamelen van kikkers met Rinus Hoogmoed voor effect gehad op het tropisch regenwoud? Zijn er nieuwe soorten ontstaan in de niches van de gevangen kikkers, die met een kaartje om de poot in de pot met formaline belandden? Was het kappen van lijnen voor de zoektocht naar surinamiet niet nét het breekpunt voor een bepaalde plantensoort? Wat is de functie van een gen in het tropisch regenwoud? Hoeveel ingrepen kan een ecosysteem verdragen zonder definitief over het kantelpunt heen te gaan? Die vragen kunnen alleen maar worden beantwoord als de soorten die in die ecosystemen voorkomen bekend zijn, en niet alleen hun morfologie en genetische vingerafdruk, maar ook hun levenswijze, hun eigen niche in het voedselweb en hun relatie tot andere organismen.

Die vragen oplossen is een gigantische taak. Dat kunnen de musea niet alleen. Door de jaren heen was het al vaak zo dat de libellenspecialist niet werd opgevolgd, maar vervangen werd door een spinnenspecialist omdat die toevallig voorhanden was. Mijn oom Lipke Holthuis heeft geluk gehad dat hij werd opgevolgd door een specialist op zijn eigen vakgebied, Charles Fransen, al hield die laatste zich wel bezig met genetica, waar Lipke niets mee ophad. Geen enkel museum, geen enkel land kan het zich veroorloven alle levensvormen te bedienen. Nu al worden er Europese afspraken gemaakt om te komen tot een taakverdeling. Dat is verstandig. Maar ook binnen Nederland is specialisatie al lange tijd gemeengoed. De drie vestigingen van het Nationaal Herbarium Nederland hebben elk hun eigen specialisatie: Wageningen richt zich op Afrika, Utrecht op tropisch Amerika en Leiden op tropisch Azië.

De musea kunnen het ook niet zonder de universiteiten. Promovendi aan de universiteiten verrichten het meeste onderzoek, maar de musea hebben de collecties die ze voor hun onderzoek nodig hebben. Ze zullen het samen moeten doen.

Maar er is meer afstemming nodig. Het onderzoek naar systematiek, evolutie en biodiversiteit kan alleen maar succesvol zijn als thema's, onderzoeksmethodieken, registratiesystemen van collecties en databases geïntegreerd zijn. Er is daarvoor in 2006 een prachtig initiatief van de grond gekomen, het Nationaal Centrum voor Biodiversiteit. Het omvat het natuurhistorisch museum Naturalis, het Zoölogisch Museum Amsterdam, het Nationaal Herbarium Nederland, de Hortus Botanicus en de universiteiten van Amsterdam, Leiden, Wageningen en Utrecht, en hun natuurhistorische collecties.

Die collecties omvatten 36 miljoen objecten: 8 miljoen planten in het Herbarium, 16 miljoen dierlijke specimina in het Zoölogisch Museum Amsterdam, en 12 miljoen geprepareerde dieren, fossielen, gesteenten en mineralen. Hé, gesteenten! Mineralen! Die hebben wij ook in Delft! Waarom doet het Mineralogisch Geologisch Museum van de Technische Universiteit Delft niet mee? Zolang er nog broeikasgassen uit vulkanen komen, zolang er nog exotische levensvormen ontstaan rond black smokers op de midoceanische ruggen, zolang het zinkvioletje nog bestaat, heeft Delft hier ook belang bij. Gauw op de bandwaggon springen, Delft!

Maar het Nationaal Centrum voor Biodiversiteit is er nog niet. Het zijn goede intenties, iedereen is het er over eens dat het moet gebeuren, de plannen liggen klaar, de ambtenaren van de ministeries vinden het prachtig, er is een mooie website, maar alleen – het geld is er nog niet. Er is eenmalig 23 miljoen euro nodig voor het integreren van de collecties, en 10,5 miljoen structureel voor de lopende kosten. De universiteiten dragen zelf 3,7 miljoen bij. Plasterk vindt het ook mooi, maar de beurs blijft dicht. Kom op,

Ronald, één euro per onontdekte soort, dat is toch niet veel? Anders gaat het leven de stenen achterna.