

IJSTIJDEN

OF WE HET LEUK VINDEN OF NIET, we leven in een ijstijd. Oké wel een wat warmere periode, maar toch; een ijstijd. Er ligt namelijk ijs op de polen en er zijn gletsjers. Omdat wij mensen maar een beperkte levensduur hebben en uiterst conservatief zijn, weten we niet beter dan dat het ijs er altijd al was, het hoort zo. We kunnen ons geen voorstelling maken van een wereld zonder ijs. We ervaren de ijstijd als natuurlijk en normaal.

Als piloot moet je goede ogen hebben. Paul Tudge had die en hij bezat een scherp opmerkingsvermogen. Misschien kon hij zijn ogen eerst niet geloven, hij zag namelijk tijdens een helikoptervlucht in 1985 iets merkwaardigs: boomstompen. Boomstronken verwacht je niet op Alex Heiberg Island in het uiterste noorden van Canada. Een uitgezonden team van geologen vond perfect gemummificeerde bomen en bladeren van ca 45 miljoen jaar oud. Onmiskenbaar Vijvercipressen (*Metasequoia glyptostroboides*), bomen van een ornamentale pracht in onze parken. Deze bomen groeiden destijds ver boven de poolgrens op 750 tot 800 noorderbreedte.

Uit dezelfde tijd zijn op Spitsbergen fossielen van nijlpaarden en krokodillen gevonden. De vondst van deze dieren en het bestaan van poolbossen zijn ontegenzeggelijk aanwijzingen voor een subtropisch klimaat bij de poolcirkel en daarboven. De wereld zag er heel anders uit dan nu. Waardoor is de wereld zo veranderd?

AZOLLA EN DE NOORDPOOL

Er wordt beweerd dat een van de mooiste waterplantjes een invasieve exoot is. Alleen belooft de term invasieve exoot weinig goeds. Het is een immigrant met





slechte bedoelingen die luistert naar de naam *Azolla filiculoides*; in het Nederlands Groot kroosvaren en in het Fries Readkroas. Maar met kroos heeft het niets van doen. Het is een varentje. Evenals kroos is het een klein drijvend waterplantje dat slechts enkele centimeters groot wordt. Een vertakt steeltje is bedekt met kleine, elkaar overlappende, blaadjes. De onderste blaadjes drijven op het water en de bovenste steken schuin omhoog. Die werken daardoor als een zeil. Een paar lange wortels doen dienst als kiel. Jonge blaadjes zijn groen, maar kleuren rood onder stress (droogte, hitte of koude). Daar is de Friese naam van afgeleid.

Bij een sloot hebben we een beeld van water met Witte waterlelies, Gele plompen, kikkers, hier en daar een vis die kringen in het water maakt en dat alles omzoomd door riet. Een idyllisch plaatje. Heel natuurlijk allemaal. En dan, binnen enkele weken tijd, is alles overgroeid met Azolla. De invasieve exoot heeft toegeslagen. Maar deze immigrant is Europa niet binnengeslopen, hij is hier op uitnodiging. De Hortus van Leiden (evenals heel wat andere botanische tuinen) had wel belangstelling voor deze plant die oorspronkelijk uit Zuid Amerika komt en rond 1860 naar Nederland werd gehaald. Eerst Klein kroosvaren uit Noord-Amerika, later het Groot kroosvaren. Het Klein kroosvaren is nu vrijwel geheel verdrongen door zijn grotere soortgenoot.

Een hortus is geen gevangenis en de exoot ontsnapte. Op de term exoot valt trouwens nog wel wat af te dingen. Inderdaad Azolla komt uit Zuid-Amerika, maar graaf je diep genoeg in de Nederlandse bodem, tot voor de laatste ijstijd, dan vind je genoeg fossielen van Azolla. Dus eigenlijk was hij hier altijd al en zelfs eerder dan de moderne mens. De dikke laag landijs van de laatste ijstijd deed hem de das om en Azolla stierf hier uit. Het plantje is dus terug van weggeweest.



In de evolutietheorie lijkt concurrentie het toverwoord. Bij Azolla ligt dit anders, zijn kracht komt aanvankelijk tot uiting in samenwerking. In holtes van de blaadjes huist een blauwalg: *Nostoc azollae*. Zonder Azolla heeft deze cyanobacterie geen toekomst. Hij is volledig afhankelijk van zijn gastheer. Deze blauwalg bindt stikstof uit de lucht en levert zo ‘kunstmest’ aan Azolla. Die gaat woekeren en dan komt wel de concurrentie met andere waterplanten om de hoek kijken. Azolla bedekt het wateroppervlak en de ondergedoken waterplanten krijgen geen zonlicht meer. Die sterven af waarbij het ontbindingsproces zuurstof aan het water onttrekt. Dat maakt de vicieuze cirkel rond; het leven onderwater gaat dood. Het dode materiaal is meststof voor Azolla en die groeit in turbotempo door.

Zuid-Amerikaanse indianen uit het Andesgebergte maakten dankbaar gebruik van de kunst van Azolla om stikstof te binden. Het plantje tierde weelderig in hun irrigatiekanalen. Zij schepten de Azolla op hun akkerterrassen en mede dankzij de extra stikstof die Azolla leverde, was de oogst vele malen groter dan die op gewone laagland akkers.

Wat te doen? Azolla uit het water dreggen? In feite is dat dweilen met de kraan open. Binnen een paar weken is alles opnieuw overwoekerd. Het ecologisch evenwicht in water is wankel. De hoeveelheid fosfaten en carbonaten bepaalt de levensgemeenschap in het water. Boven een bepaalde drempelwaarde verandert onherroepelijk het karakter van het ecosysteem. Een sloot vol planten- en dierenleven lijkt stabiel. Maar door een kleine verandering gaat de gemeenschap volledig te gronde en wordt het oppervlak bedekt met kroos en/of Azolla. Eenmaal over het kantelpunt is herstel van de oude (door ons gewenste) situatie bijna onbegonnen werk. Een nieuwe levensgemeenschap heeft zich gevestigd. Het kantelpunt kan in licht vervuild water al door wat afgevallen bladeren overschreden worden.

Het heeft er alle schijn van dat Azolla het klimaat al eens over zo'n kantelpunt heeft geduwd. Waarschijnlijk niet geheel op eigen kracht, maar toch... De klimaatverandering was alleen niet in het voordeel van Azolla. Zo'n 50 miljoen jaar geleden lagen de landmassa's anders verdeeld over de aardbol en op de Noordpool heerste een warm subtropisch klimaat. Er kwamen daar nijlpaarden en krokodillen voor. Het gehalte aan het broeikasgas CO₂ was met 3500 ppm veel hoger dan de huidige 405 ppm.

In 2004 ging een expeditie (Arctic Coring Expedition) op pad om boorkernen uit de poolbodem te halen. Die bleken vol met fossiele resten van Azolla te zitten. De resultaten van de expeditie werden twee jaar later in het wetenschappelijk tijdschrift NATURE gepubliceerd. Door de ligging van de continenten was de poolzee vrijwel afgesloten van de oceanen. De situatie van de Noordelijke Poolzee (Ijszee zal ik het niet noemen, want er was geen ijs) leek sterk op die van de huidige Zwarte Zee. Verbindingen met andere grote zeeën zijn schaars en daardoor is er weinig stroming in het water. Het water uit de diepte vermengt zich nauwelijks met het water aan de oppervlakte. De zee is gestratificeerd (gelaagd). Het warme klimaat veroorzaakte subtropische stortbuien. Daardoor bestond de bovenlaag van de toenmalige Poolzee uit zoetwater

HET AZOLLA EVENT

Toen kwam Azolla. Die bedekte in de zomer het water met dikke lagen. Het hoge CO₂-gehalte in de atmosfeer bevorderde plantengroei. 's Winters stierven de planten en zakten naar de bodem. In de koude zuurstofarme waterlagen vergingen de planten niet. De opgeslagen CO₂ werd begraven en kwam niet in de atmosfeer terug. Het broeikasgas nam globaal snel af en daarmee zakte de temperatuur. Deze daling is zo opvallend dat het een eigen naam, het Azolla Event, heeft gekregen. Dit duurde ca 800.000 tot 1 miljoen jaar.

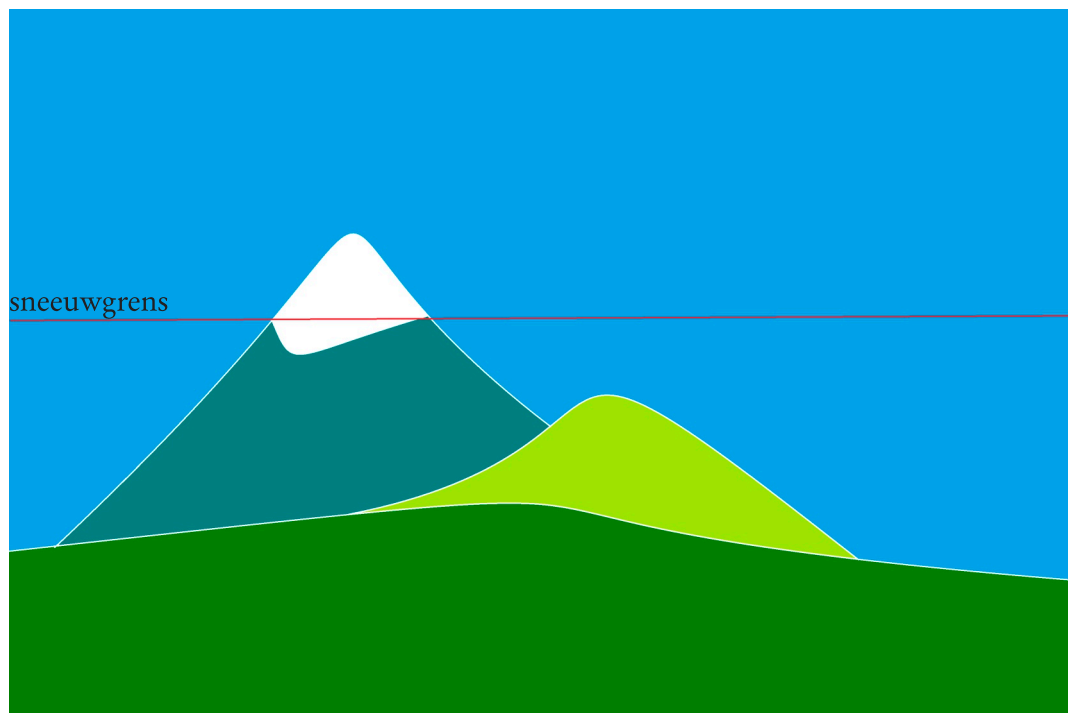
Waar het eerst regende op de pool, viel nu sneeuw. Sneeuw is wit en kaatst warmte van de zon effectief terug de ruimte in. Zodra sneeuw niet meer wegsmelt, heb je een kantelpunt naar een koeler klimaat. En daarin zitten we nog steeds; een warm deel van een ijstijd.

ANDERE FACTOREN

Andere factoren speelden ook een rol in de klimaatverandering. Het subcontinent India kreeg een zetje. Hoe? Dat is nog steeds een groot raadsel. Zozeer dat een geoloog verzuchtte dat God misschien wel een speciaal continent liet opduiken, India een zetje gaf en daarna weer spoorloos verzonk. Maar hoe dan ook, met een snelheid iets groter dan waarmee nagels groeien, dreunde India tegen Azië aan. Tibet en de Himalaya werden omhoog gestuwd. Dit proces is nog steeds gaande. De Himalaya blokkeerde de normale luchtstromingen. Het patroon van de winden wijzigde: de moesson boog af en regen kwam neer in India. Zuid-Afrika werd droger en regenwouden veranderden in savannes.

Ook de beide Amerikaanse continenten verschoven. Noord- en Zuid-Amerika werden verbonden door de Midden-Amerikaanse landbrug waardoor zeestromingen een ander patroon kregen.

Antarctica schoof als landmassa naar de Zuidpool. Toen dat continent ongeveer op de huidige plaats lag, staken de hoogste bergen boven de sneeuwgrens uit. De sneeuwgrens is de hoogte boven zeeniveau waarop gedurende het hele jaar sneeuw blijft liggen. Op de toppen kwam een sneeuwtapijt dat ook in de zomer niet meer wegsmolt. En is er eenmaal een beginnetje, dan kan het snel gaan. De zogenaamde HOOGTE-MASSABALANS-TERUGKOPPELING treedt in werking. Sneeuw blijft liggen en is wit. Een ijskap met daarop een verse sneeuwlaag kaatst wel 90% zonnestraling terug, waardoor de hoeveelheid opgenomen warmte klein is. De temperatuur aan de oppervlakte blijft laag en zorgt ervoor dat de sneeuw niet of nauwelijks smelt. In de volgende winter vergroot het gebied met sneeuw zich en het steeds groter wordende oppervlak versterkt het effect. De sneeuwgrens verschuift naar onderen. Er valt meer sneeuw dan er verdampt en de sneeuwmassa groeit. Daar waar de massabalans het grootst is, wordt de ijskap snel dikker.



De Aarde draait om zijn as, hierdoor ontstaan dag en nacht. Deze as helt ten opzichte van de omloopbaan van de Aarde rond de zon en dit levert de seizoenen op. Nu is de omloopbaan niet een zuivere cirkel, maar een ellips. Als de Aarde 's winters wat verder van de zon staat, is de temperatuur wat lager. De hellingsas varieert een beetje en ook de grootste afstand tot de zon valt niet altijd op dezelfde tijd van het jaar. Deze variaties kunnen elkaar versterken of verzwakken. Als de as wat meer rechtop staat en 's winters de afstand tot de zon het grootst is, valt er minder zonlicht op de polen en dat beïnvloedt de gemiddelde temperatuur negatief.

Als alle factoren elkaar versterken kan $1+1+1$ wel eens 4 zijn. Het ontstaan van ijstijden is dus nogal complex. Maar de sterke afname van CO₂ door het Azolla Event schijnt destijds, toen $1+1$ meer dan twee was, toch een belangrijke trigger te zijn geweest naar het ons zo vertrouwde ijstijdklimaat.

Onbewust gaf Azolla door zijn ongebreidelde groei het klimaat een zetje de verkeerde kant op. Azolla stierf daardoor in onze regionen uit. Geeft dit te denken? Azolla zag groeimogelijkheden en kon niet anders dan die benutten, maar dit ging ten koste van zijn areaal.

Doen wij het beter? Wij hebben tenslotte de gave gekregen om de gevolgen van onze daden te overzien. Doen we dat? ■