

Puzzelen met de prehistorie

Bij zijn onderzoek naar oerbacteriën in de oceanen deed Jaap Sinninghe Damsté verbluffende ontdekkingen over het klimaat in prehistorische tijden. Oliebedrijven houden hem in de gaten, want informatie over het oudste leven op aarde is informatie over olie.

door Jelmer Mommers

'Zeeonderzoek' staat er in grote witte letters op de gevel van het Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ). De letters zijn al te onderscheiden als de pont Texel nadert en meeuwen hun zweefvlucht naast de boot staken om af te zwaaien naar het wad.

Jaap Sinninghe Damsté (1959) maakt het tochtje elke dag om vanuit zijn woonplaats Schagen op zijn werk te komen. In 1993 kreeg hij de kans om op het NIOZ zijn eigen onderzoeksgroep te beginnen. Hij had net een Pionier-subsidie op zak van de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO). Met dat geld startte Sinninghe Damsté een onderzoeksprogramma voor het chemisch uitlezen van de 'sedimentaire archieven' van het leven op aarde. Daarin is hij – met zijn onderzoeksgroep van 35 man – nu wereldleider.

De boekenkast in zijn kamer reflecteert de reikwijdte van zijn werk. *Early Organic Evolution, Oceanography, Fundamentals of Geobiology*. Hij promoveerde in 1988 aan de faculteit chemische technologie van de Technische Universiteit Delft, omringd door 'hardcore chemici en fabriekenbouwers', zo vertelt hij nu. Als eerste ter wereld beantwoordde hij de vraag waar de zwavel in olie vandaan komt. 'Dankzij zijn promotieonderzoek [moesten] de theorieën over de wereldwijde koolstofkringloop en zwavelcyclus worden herzien', zo oordeelde de jury die hem in 2004 de Spinozapremie toekende. Achter zijn beeldscherm hangt nog een aandenken: een poster waarin zijn hoofd in het bekende portret van Spinoza is gefotoshopt.

De KNAW heeft de Dr. A.H. Heinekenprijs voor milieuwetenschappen 2014 toegekend

aan Sinninghe Damsté voor zijn pionierswerk in de organische geochemie, het vakgebied dat door onderzoek van chemische fossielen kennis levert over de evolutie en de geologische toestanden op aarde in prehistorische tijden. Sinninghe Damsté publiceerde meer dan zeshonderd wetenschappelijke artikelen, werd meer dan 26.000 keer aangehaald door collega's, en is daarmee wereldwijd de productiefste en meest geciteerde wetenschapper in het sedimentonderzoek van de afgelopen tien jaar.

Sinninghe Damsté trad in de voetsporen van Geoffrey Eglinton, die alkenonen analyseerde – vetachtige moleculen die geproduceerd worden door kalkalgies in de oceaan. De onderzoeker van de Universiteit van Bristol ontdekte in de jaren tachtig een verband tussen de temperatuur van het zeewater en de moleculaire eigenschappen van de alkenonen. Niemand wist waarom, maar in warmer water bleken de kalkalgies meer alkenonen met driedubbele bindingen te produceren. In kouder water maken ze meer alkenonen met tweedubbele bindingen. Neem een bodemonster van pak 'm beet twintig miljoen jaar geleden, check de verhouding tussen de verschillende alkenonen, en je kunt heel behoorlijk inschatten hoe warm het zeewater toen was.

De kunst is om dit soort informatie uit de archieven van de aarde te lichten. Sinninghe Damsté loopt daarin voorop. Hij ontwikkelt sinds begin jaren negentig nieuwe methodes en nieuwe instrumenten om prehistorische condities te reconstrueren. De grondstoffen van zijn analyses zijn organische overblijfselen die een microscoop niet eens kan waarnemen. Zulke moleculaire fossielen zijn niet zo spraakmakend als dinosaurusbotten of krokodillenkieszen, maar ze geven wel aanleiding tot grote verhalen over de fenomenen en het leven op aarde. In de publicaties van Damsté en zijn collega's figuren zuurstofloze zeeën, klimaatschommelingen die zo hevig waren dat ze de sneeuw op de Kilimanjaro deden smelten, en een zeespiegel in het midden van het tijdperk Krijt die 250 meter hoger ligt dan vandaag. De implicaties zijn even divers. Dankzij de biogeochemici weten we steeds meer van het oudste leven op aarde, kunnen oliebedrijven hun reserves beter op waarde schatten en kunnen klimaatwetenschappers hun modellen verbeteren.

In het lab van het NIOZ is een handjevol analisten aan het werk. De ene prepareert een monster, de andere kijkt op een scherm naar een grafiek vol pieken en dalen. 'Wat wij hier doen, is pure analytische chemie', zegt Sinninghe

Damsté. 'We isoleren en analyseren voor ons interessante stoffen uit een duizelingwekkend complex mengsel van tienduizenden stoffes.'

In 2001 herschreef zijn onderzoeksgroep de boeken over het leven in de oceaan. De Texelse wetenschappers ontdekten met een nieuwe techniek dat de *archaeae*, een tot op dat moment als buitenissig beschouwde eencellige levensvorm die ook wel bekendstaat als de 'oerbacterie', in feite doodnormaal is. 'We dachten lange tijd dat oerbacteriën alleen in extreem

Hoe meer koolstofringen in de celmembranen van de oerbacteriën, hoe warmer het zeewater

zoute, zure of warme condities voorkwamen. Nu bleken ze overal in gewoon oceaanwater te zitten, zelfs rond Antarctica.' Qua aantallen bleken deze eencelligen het leven in de oceaan zelfs te domineren, iets wat de wetenschap tot op dat moment was ontgaan. Omdat de oerbacteriën zich bovendien net als planten bleken te voeden met ammonium en CO₂ moest onze kennis over de stikstof- en koolstofkringloop op de schop.

De vondst riep ook evolutionaire vragen op. Kennelijk waren de extremofiele oerbacteriën op enig moment geëvolueerd om te gedijen onder gangbare omstandigheden. Sinninghe Damsté vond door analyse van oude sedimenten een explosieve toename van de koude minnende oerbacteriën in het Midden-Krijt, 112 miljoen jaar geleden. 'Wij dachten dat we een sprong in de evolutie hadden gevonden, een mutatie waardoor deze variant van de *archaeae* kon ontstaan. Inmiddels is die theorie een beetje achterhaald. We vonden de koude minnende oerbacteriën later terug in nog oudere sedimenten.'

Maar toen had de theorie over een evolutionaire sprong al in *Science* en in de krant gestaan. 'Dat hoort bij de wetenschap. Ik ben een puzzelaar. Ik probeer stukjes bewijs in elkaar te passen en daar een verhaal van te maken. Het probleem is dat je relatief weinig gegevens hebt, maar wel een conclusie wilt trekken. Uiteindelijk blijft alles wat wij over de prehistorie zeggen een interpretatie van beperkte gegevens. Het kan nooit de volledige waarheid zijn.'

Shell bood hem een baan aan toen hij net was gepromoveerd. Het bedrijf zag een goede oliezoeker in de promovendus uit Delft. Want wie zoals Sinninghe Damsté aan de hand van chemische fossielen kan reconstrueren waar

en wanneer organisch materiaal van prehistorisch leven is neergeslagen op de oceaانبodem, weet ook waar en wanneer olie is ontstaan. Sinninghe Damsté vond het vooruitzicht zijn eigen baas te zijn aantrekkelijker dan het salaris van de industrie. Maar zijn interesse bleef overlappen met die van Shell. Het was geen verrassing dat zijn onderzoeksgroep in 2004 de basis legde voor een nieuwe techniek om aardolie te dateren – aan de hand van chemische fossielen, inderdaad. Een vondst van groot belang voor de olie-industrie, die de techniek al gauw kon gaan gebruiken om de omvang van reservoirs beter in te schatten, en nieuwe olie te vinden.

‘We hebben nu best een goede samenwerking met Shell’, zegt Sinninghe Damsté. ‘Zij hebben apparatuur die we hier niet hebben, en ze vinden het prima als wij bepaalde monsters in hun lab analyseren.’ Soms benadert de olie- en gasgigant hem met een vraag, bijvoorbeeld of hij wil nadenken over manieren om de *sweet spots* voor schaliegasboringen beter te identificeren. ‘Als wij denken dat zulk onderzoek ook voor ons meerwaarde heeft, dan geven ze ons geld, en voeren wij het onderzoek uit. Ik doe dat natuurlijk alleen als het mijn onafhankelijkheid als onderzoeker niet beïnvloedt.’

Hij zou zich niet tot de vragen van Shell willen beperken. Sinninghe Damsté praat liever over naaldvormige kiezelalgen en de manier waarop die 91 miljoen jaar geleden wijdverspreid raakten in de Atlantische Oceaan, toen de continenten Afrika en Zuid-Amerika uit elkaar dreven, dan over olie. Hij veert nog steeds op van zijn stoel als hij vertelt over de bizarre moleculaire structuur van de ladderlipiden die hij in 2002 ontdekte – ‘heb je daarvan gehoord?’ Ja, de wetenschap was voor hem een goede keus.

Het meest gefascineerd is hij door het Midden-Krijt, zo’n honderd miljoen jaar terug. De aarde was toen een broeikas. De CO₂-concentratie in de atmosfeer was minstens vier keer zo hoog als voor de industriële revolutie – een toestand die we mogelijk aan het eind van deze eeuw weer zullen meemaken. Er waren geen ijskappen op de polen en door grootschalig onderwatervulkanisme lag de zeespiegel ongeveer 250 meter hoger. West-Europa en hele stukken van Afrika lagen onder water en de Atlantische Oceaan was zo warm als een subtropisch zwembad.

Dat laatste weten we dankzij een nieuwe ‘paleothermometer’ die Damsté begin deze eeuw met zijn groep ontwikkelde, een van zijn belangrijkste wapenfeiten. De Texelse techniek werkt volgens het principe dat Geoffrey Eglinton eerder met de kalkalgies had uitgevogeld, maar kan veel verder terug in de tijd omdat de restanten



JUSSI PIKKONEN

Jaap Sinninghe Damsté.
‘Als ik ergens niet mee
geassocieerd wil worden,
is het klimaatscepsis’

van de stokoude oerbacteriën het uitgangspunt van de analyse zijn. Hoe meer koolstofringen in de celmembranen van de oerbacteriën, hoe warmer het zeewater is geweest.

Deze keer was het de klimaatwetenschap die zich verheugde met de vondst van Sinninghe Damsté. Want als je de Texelse reconstructies van de prehistorische temperaturen combineert met schattingen van de toenmalige CO₂-concentraties, heb je sterk empirisch bewijs voor het broeikaseffect in handen. Wat dat betreft voorspelt het Midden-Krijt weinig goeds. Tot nu toe blijkt het op aarde in periodes met hogere CO₂-concentraties consequent warmer te zijn geweest, veel warmer. 'Dat verband gaat prachtig op', aldus Damsté. Dat er vandaag de dag discussie is over de snelheid van de opwarming snapt hij wel – je kunt altijd steggelen over de details –, maar dat er mensen zijn die de grote lijn van het klimaatprobleem ontkennen, daar kan hij niet bij. 'Ik denk dat wetenschappers op dit moment wel duidelijk genoeg hebben gemaakt dat het voor de mensheid behoorlijk ernstig kan worden.' Zelf denkt hij dat de prognoses van het IPCC aan de conservatieve kant zijn.

Ironisch was dat in 2009 klimaatsceptici aan de haal gingen met een van zijn publicaties. Texelse analyse van een boorkern uit het kratermeer Challa in Kenia wierp licht op hevige klimaatschommelingen rond de Kilimanjaro aan het begin van het Holocene, elfduizend jaar terug. Afwisselende natte en droge periodes maakten dat de top van de berg nu eens wel en dan weer niet met sneeuw was bedekt. Dat de sneeuwmutts nu smelt, heeft dus niet per se te maken met door de mens veroorzaakte klimaatverandering. 'Al Gore moet een ander symbool gaan zoeken voor zijn klimaatprobleem', schreef weekblad *Elsevier* triomfantelijk.

'Ik had Al Gore's film zelf aangehaald in het persbericht', zegt Damsté. 'Het beeld dat hij had gekozen was niet het meest gelukkige. Maar het was heel onverstandig van me om dat in het persbericht te zetten, want het vormde natuurlijk direct aanleiding voor klimaatsceptici om met mijn onderzoek aan de haal te gaan. Dat was wel het dieptepunt van mijn wetenschappelijke carrière. Als ik ergens niet mee geassocieerd wil worden, is het klimaatscepsis!'

Sinds dit jaar geeft Damsté leiding aan het Nederlands Earth System Science Centre (NESSC). Met twee flinke subsidies van het ministerie van ocw gaat dit nieuwe interdisciplinaire centrum van Nederlandse wetenschappers onderzoeken hoe vroegere klimaatveranderingen tot stand kwamen. De reconstructie van CO₂-gehaltes in de prehistorische atmosfeer staat nog in de kinderschoenen. Als de onderzoekers daar voortgang weten te boeken, zullen ze ook beter kunnen voorspellen hoe warm het aan het einde van deze eeuw gaat worden. Dát het warmer wordt, staat helaas al vast.

Zie ook knav.nl/damste



JUSSI PIUKKONEN

Hoe werkt ons brein? Hoe maken onze hersenen kaas van alle informatie die ze binnenkrijgen? Cognitief psycholoog James McClelland ontdekte ruim dertig jaar geleden hoe neuronen met elkaar communiceren en informatie verwerken.

door Frank Mulder

Cognitiewetenschapper James McClelland

Breinbreker

In Duitsland kwetteren de kleutertjes foutloos de naamvallen. Wat de Genitiv of de vierde naamval is, daar hebben ze nooit van gehoord, toch weten ze zonder met hun ogen te knippen de juiste lettertjes te laten volgen op *mit*, *bei*, *seit* of *neben*. Jaloersmakend.

Grammatica zit in ons brein, maar hoe werkt dat? Hoe maakt ons brein die keuzes? Hoe verwerkt het informatie? Dat is waar cognitief psycholoog James 'Jay' McClelland (1948), winnaar van de C.L. de Carvalho-Heinekenprijs voor de cognitieve wetenschappen 2014, al meer dan veertig jaar onderzoek naar doet. Dertig jaar geleden zorgde hij voor een revolutie in het vak-

gebied, waardoor we nu veel beter begrijpen hoe onze hersenen kaas kunnen maken van alle informatie die ze binnenkrijgen.

Tot begin jaren tachtig nam men aan dat het menselijk brein informatie verwerkt zoals een computer. Of we nu een boom zien, een naamval verzinnen of een besluit nemen, de modellen gingen ervan uit dat het proces in principe te werk gaat volgens de regels van de formele logica, waar symbolen stap voor stap worden bewerkt tot er een uitkomst uitrolt. Om een voltooid deelwoord te krijgen, kijkt het brein in het vakje van de stam, plakt er 'ge' voor en 't' achter – en checkt nog even het vakje met 't kofschip' –

en klaar is Kees. En de uitzonderingen, daar legt het brein een aparte tabel voor aan. Het brein als super-Excelsheet dus.

De tekortkomingen van dit paradigma werden echter steeds duidelijker. Zo stuitte men op voorbeelden die lieten zien dat denkprocessen in ons hoofd elkaar beïnvloeden, iets wat in Excel helemaal niet kan. Een concreet voorbeeld was de herkenning van letters. Onze hersenen bleken zich bij de herkenning te laten leiden door de letters die eromheen staan.

**James McClelland.
'Kenners vonden
me naïef'**

In 1974 besloot McClelland zich hierop te storten als postdoc aan de Universiteit van California in San Diego. 'Ik wilde weten welke factoren van invloed waren

op de herkenning', zegt hij in een telefonisch interview. 'Ik ontdekte dat het voor ons brein eigenlijk niet uitmaakt of de letters samen een bestaand woord vormen. Alleen al de uitsprekbaarheid van de combinatie maakt dat we een letter sneller herkennen. *Gee*, dacht ik, dit is niet te verklaren met de theorie. De letterherkenning en de woordherkenning werken tegelijkertijd op elkaar in!'

Maar hoe zou dit kunnen werken? Wiskundig was dit eigenlijk te complex. Om tot een werkbaar model te komen, schoolde McClelland zich om tot programmeur. 'Het was intussen 1977. Programma's moest je schrijven met ponskaarten. Die moest je inleveren, zodat de computer 's nachts kon draaien en je de volgende dag het resultaat kon bekijken. Als je dan op kaart 72 een fout ontdekte, kon je opnieuw beginnen.' Maar de computers werden al snel beter en McClelland ging door met het zoeken naar een wiskundig model. 'Kenners lachten me uit. Ze vonden het naïef, een psycholoog die dacht dat hij kon oplossen wat wiskundigen niet konden.'

Op een dag ontmoette hij neurowetenschapper David Rumelhart. 'Die bleek toevallig ook op zoek te zijn naar een algoritme om ditzelfde soort processen te beschrijven.' Toen de computers sneller werden, boekte hij succes. Samen met een groep onderzoekers maakten Rumelhart en McClelland er een werkbaar model van dat ze Parallel Distributed Processing (PDP) noemden en in 1986 presenteerden in een boek.

Deze publicatie zette de hele cognitiewetenschap op z'n kop, vertelt Axel Cleeremans, cognitiewetenschapper en onderzoeksdirecteur van het Fonds de la Recherche Scientifique in Brussel. 'Tot die tijd vonden psychologen de biologie van het brein niet interessant. Het maakte voor een computerprogrammeur toch ook niet uit wat voor hardware er in de computer zat? Maar McClelland en Rumelhart beweerden van wel.'

Het brein bestaat uit ontelbaar veel neuronen die continu met elkaar communiceren via parallelle verbindingen, die sterker of zwakker worden naarmate we leren. Waarbij een zender ook kan ontvangen en andersom. En daar was ook het computermodel van McClelland en Rumelhart op gebaseerd. Het bestond uit ver-

werkende eenheden die hun informatie doorgeven via verbindingen van wisselende sterkte. En het unieke is: zij gaven het programma niet mee wat de aard en de sterkte van de verbindingen was. Dat deed het model zelf. Dat kreeg de gewenste uitkomst te horen, en moest daar zelf de goede verbindingen voor uitrekenen.

'Dit was dus een lerend model', zegt Cleeremans. 'Je programmeert de regels niet, maar geeft alleen heel veel voorbeelden, en het model moet zelf de regels zoeken.' En het werkte. 'Waar de oude school geloofde dat mensen twee aparte systemen nodig hadden om een taal te leren, de regels en de uitzonderingen, toonde McClelland aan dat het brein dat allemaal zelf kon doen met een en hetzelfde neurale netwerk, zonder voorgeprogrammeerde regels.'

Cleeremans werkte vier jaar lang bij McClelland voor zijn promotieonderzoek. 'Ik was erg onder de indruk van zijn intelligentie. Wauw, dacht ik, hij denkt honderd keer zo snel als ik. Na een half uur praten had hij al een dozijn ideeën geopperd waar ik een half jaar over zou hebben moeten nadenken.' Hij vindt het opvallend hoe McClelland erin geslaagd is gewoon een aardig en goed mens te blijven. 'Hij is gemakkelijk in de omgang, heeft humor en heeft oog voor menselijke interactie. Dat kun je niet van veel mensen zeggen die het in de wetenschap zo ver hebben geschopt. Er zijn een hoop *assholes* en nerds.' Dat neemt niet weg dat McClelland soms ook wel een beetje nerdy en analytisch kan praten, geeft Cleeremans toe.

'Connecties die vaker worden gebruikt, worden sterker. Dat zou met Excel-hersenen veel moeilijker zijn'

In Stanford, waar hij hoogleraar sociale wetenschappen is, richtte McClelland het Center for Mind, Brain, and Computation op. 'Onderzoek is zijn leven', zegt Cleeremans. 'Zijn grootste droom is meer onderzoek doen, en zijn grootste angst is niemand meer te hebben om erover te praten. Hij praat altijd over zijn onderzoek.'

McClelland wordt gedreven door de grote vraag: hoe kunnen mensen leren en onthouden? *McClelland*: 'Hoe leidt ervaring tot connecties? Dat wil ik weten. Dat is immers het fundament voor onze intelligentie.' In de Excelsheet van het oude paradigma lagen alle herinneringen in aparte vakjes opgeslagen, ook wel bekend als grootmoederneuronen – omdat er bij wijze van spreken een aparte zenuwcel zou zijn voor de herinnering aan je grootmoeder.

Daar werkt dus anders. 'Een gedachte of een herinnering is een bepaalde configuratie in de sterkte van verbindingen tussen vele neuronen, die allemaal een bepaalde eigenschap vertegenwoordigen. Er is niet een neuron voor hond en een neuron voor kat. Er is een hele groep een-

heden, misschien wel miljoen, die allemaal een eigenschap vertegenwoordigen.' Zoals 'dier' of 'behaard' of 'eetbaar'. De combinatie van wel en niet geactiveerde neuronen vormt samen de gedachte aan een kat. 'Maar die gedachte speelt zich dus af in dezelfde set neuronen als de neuronen die je nodig hebt om aan een hond te denken.'

Maar is de configuratie van al deze verbindingen die bij 'kat' hoort dan niet ergens opgeslagen? 'Nee, dat is precies de cruciale ontdekking! De verbindingen zelf herinneren zich de correlaties tussen de geactiveerde eenheden. Er zijn er heel veel mogelijk. Bij honderd neuronen heb je al tienduizend mogelijke verbindingen. Het netwerk kan dus heel veel verschillende patronen opslaan in een en dezelfde set neuronen. Zo kan het gebeuren dat het systeem al aan een kat gaat denken als nog niet eens het hele beeld bekend is. Connecties die vaker worden gebruikt, worden bovendien sterker. Daardoor zijn we zo goed in staat om te generaliseren. Dat zou met Excel-hersenen veel moeilijker zijn.'

Geheugen is een 'emergente' eigenschap van de neuronen, zegt McClelland. Een emergente eigenschap van een systeem is een eigenschap die niet besloten ligt in de losse onderdelen, zoals de eigenschappen van water of ijs niet herkenbaar zijn in afzonderlijke H₂O-moleculen. Het geheugen is in onze hersenen niet aan te wijzen, het is alleen aanwezig in het systeem als geheel. Daarom staat de benadering van McClelland tegenwoordig bekend als connectionisme. Ons denken, ons bewustzijn, het zit niet in de neuronen, maar in de connecties.

Dit is intussen gemeengoed geworden in de cognitiewetenschappen, waar dit soort neuronale patronen met *brain imaging*-technologie zelfs op een scherm kunnen worden getoond. *McClelland*: 'Ze kunnen tegenwoordig laten zien dat de patronen uitgebreider worden als je meer leert. Als je voor het eerst naar een bos kijkt, denk je dat er twee soorten bomen zijn: spitse naaldbomen en ronde loofbomen. Maar als je vaker in het bos loopt, leer je dat er nog veel meer subtiele verschillen zijn. Je leert ze steeds beter onderscheiden. Door ervaring leggen de hersenen meer connecties aan.'

Intussen wil McClelland weer nieuwe onderzoekswegen inslaan. 'Ik heb besloten dat ik me meer wil richten op hoe mensen wiskunde leren en wat de rol van intuïtie daarbij is. Weer een voorbeeld van de naïviteit van McClelland, haha! Wiskunde is het symbolische, rigide redeneren bij uitstek, denken mensen. Maar Archimedes ontdekte de wet op verplaatsing van water niet door wiskundig te redeneren. Hij stapte in zijn bad en – eureka! – hij zag het.'

Daar a+b altijd hetzelfde is als b+a, dat hoeven we niet te leren, dat voelen we intuïtief aan. 'Intuïtie is ook een emergente eigenschap van de hersenen. Ik wil weten hoe dat werkt.'

Lezing
1 oktober,
14.00 uur,
Radboud
Universiteit
Nijmegen
knaw.nl/
mcclelland