

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 Holoceen, 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 klimaatsceptis!'

Sinds dit jaar geeft Damsté leiding aan het Nederlands Earth System Science Centre (NESCC). 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-gehalten 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 PUUKKONEN

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, schoofde 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.

Dat 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 miljoenen, 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 connectivisme. 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 getoverd. *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.'

Dat 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