

STROOM

David Eagleman

Stroom

OVER ONS VOORTDUREND
VERANDERENDE BREIN

Vertaald door
Rogier van Kappel



2021

DE BEZIGE BIJ
AMSTERDAM

Copyright © 2020 David Eagleman
Copyright Nederlandse vertaling © 2021 Rogier van Kappel
Oorspronkelijke titel *Livewired*
Oorspronkelijke uitgever Pantheon Books, New York
Omslagontwerp Moker Ontwerp
Vormgeving binnenwerk Perfect Service, Reeuwijk
Druk- en bindwerk Wilco, Amersfoort
ISBN 978 94 031 2171 0
NUR 320

debezigebij.nl



Bij de productie van dit boek is gebruikgemaakt van papier dat het keurmerk van de Forest Stewardship Council (FSC®) mag dragen.
Bij dit papier is het zeker dat de productie niet tot bosvernietiging heeft geleid.

Ieder mens wordt geboren als velen en sterft als enkeling.
– *Martin Heidegger*

Inhoud

1 Het van leven zinderende weefsel 11

Het kind met een half brein • Het andere levensraadsel • Als je een stuk gereedschap mist, maak het dan zelf • Een voortdurend veranderend systeem

2 Je hoeft alleen maar wat wereld toe te voegen 29

Hoe je een goed stel hersenen opkweekt • Ervaring is onmisbaar • De grote gok van de natuur

3 De binnenwereld weerspiegelt de buitenwereld 40

De zaak van de apen uit Silver Spring • Het hiernamaals van de rechterarm van Lord Horatio Nelson • Timing is alles • Kolonisatie is een fulltime bezigheid • Hoe meer, hoe beter • Oogverblindend snel • Wat heeft dromen te maken met de omwenteling van de aarde? • Zo buiten, zo binnen

4 Aanpassen aan de input 73

De technologie van het aardappelhoofd die de hele wereld overwint • Sensorische substitutie • De pony die maar één kunstje kent • ‘Eye Tunes’ • Goede vibraties • Opgevoerde randapparatuur • Een nieuw sensorium opbouwen uit het niets • Je een nieuwe kleur voorstellen • Ben je klaar voor een nieuwe gewaarwording?

5 Hoe krijg je een beter lichaam? 149

Wil de echte Doc Ock alsjeblieft zijn handen opsteken? • Geen standaardblauwdrukken • Motorisch gebrabbel • De motorische cortex, marshmallows en de maan • Jezelf aansturen • Toys are us • Eén stel hersenen, een oneindig aantal lichaamskaarten

6 Waarom van belang zijn van belang is 187

De motorische cortex van Perlman versus die van Ashkenazy • Landschapsarchitectuur • Stug volhouden is niet genoeg • Toelaten dat het onroerend goed zich aanpast • De hersenen van een digitaal geborene

7 Waarom de liefde haar eigen diepte niet kent tot het uur van de scheiding 213

Een paard in de rivier • Het verwachte onzichtbaar maken • Het verschil tussen wat je dacht dat er zou gebeuren en wat er werkelijk is gebeurd • Het streven naar licht, suiker of data • Je aanpassen om verdacht te zijn op het onverwachte

8 Balanceren op de rand van verandering 232

Als er territorium verdwijnt • Hoe drugsdealers zich evenwichtig over een bepaald gebied verspreiden • Hoe neuronen hun sociale netwerk uitbreiden • De voordelen van een goede dood • Is kanker uit de hand gelopen plasticiteit? • Het redden van het hersenwoud

9 Waarom is het zo moeilijk om oude honden nieuwe kunstjes te leren? 256

Geboren als velen • De sensitieve periode • Deuren sluiten in verschillend tempo • ‘Still changing after all these years’

10 Weet je nog toen... 277

Praten met je toekomstige zelf • Herinneringen worden niet aangetast door de tijd, maar door andere herinneringen • Delen van de hersenen onderwijzen andere delen • Voorbij de synapsen • Een reeks met elkaar vervlochten tijdschalen • Vele verschillende soorten geheugen • Veranderd door de geschiedenis

11 De wolf en het Marswagentje 309

12 Ötzi's lang verloren gewaande geliefde vinden 321

We hebben de gedaanteveranderaars ontmoet, en zij zijn ons

Dankwoord 329

Noten 331

Verder lezen 389

Illustratieverantwoording 405

Register 407

Het van leven zinderende weefsel

Stel je eens voor dat we in plaats van een wagentje van bijna tweehonderd kilo naar Mars te sturen, één enkel bolletje op die planeet zouden afschieten, een bolletje dat op een speldenknop past. Als het Mars bereikt heeft, splitst het bolletje zich met behulp van energie uit externe bronnen op in een heel leger van soortgelijke bolletjes. De bolletjes blijven bij elkaar in de buurt, ontwikkelen specifieke eigenschappen: wielen, lenzen, temperatuursensoren en een inwendig besturingssysteem. En zo ontstaat er een wagentje. Je zou stomverbaasd zijn als je zag hoe zo'n systeem zich ontwikkelde.

Je hoeft echter alleen maar naar een crèche te gaan om getuige te zijn van een soortgelijke ontwikkeling. Daar zie je huilende baby's die zijn begonnen als één microscopisch klein bevrucht eitje, en die nu druk in de weer zijn om zich te ontwikkelen tot enorm grote mensen, vol fotondetectoren, ledematen met verschillende gewrichten, druksensoren, bloedpompen en machinerieën om energie uit hun omgeving te metaboliseren.

Dit is trouwens niet eens het mooiste aan mensen, want wat nog veel opmerkelijker is: onze apparatuur is niet volledig voorgeprogrammeerd, maar vormt zichzelf door interactie met de wereld. Tijdens onze groei worden de neurale netwerken in onze hersenen zodanig aangepast dat ze tegen specifieke uitdagingen opgewassen zijn, buitenkansjes zo goed mogelijk uitbuiten en de sociale structuren in onze omgeving doorgronden.

Onze species is erin geslaagd om zich in alle hoeken en gaten van de aardbol te vestigen omdat wij de tot in het uiterste doorge-

voerde consequentie zijn van een door Moeder Natuur ontdekte truc: zorg dat je het brein niet opzadelt met een volledig uitgeschreven script, maar voorzie het van de fundamentele bouwstenen die het nodig heeft, en zet het daarmee op de wereld neer. Het jammerende kindje houdt na verloop van tijd op met huilen, kijkt om zich heen en neemt zijn omgeving in zich op. Het past zich aan en maakt zich alles om zich heen eigen, van de plaatselijke taal en cultuur tot de wereldpolitiek. Het kindje neemt de overtuigingen en vooroordelen van zijn opvoeders over en zet ze voort. Elke dierbare herinnering waarover het beschikt, elke les die het leert, elk druppeltje informatie dat het indrinkt is van invloed op zijn neurale netwerken, zodat die zich ontwikkelen tot iets wat nooit van tevoren gepland is, maar in plaats daarvan een weerspiegeling vormt van de wereld om zich heen.

In dit boek laat ik zien hoe onze hersenen hun eigen bedrading voortdurend aanpassen, en wat dat inhoudt voor ons leven en onze toekomst. Terwijl we daarmee bezig zijn, zullen we op vele vraagtekens stuiten: waarom hebben mensen in de jaren tachtig van de twintigste eeuw – en alleen in dat decennium – boekpagina's iets roods zien uitstralen? Waarom heeft de beste boogschutter ter wereld geen armen? Waarom dromen we elke nacht weer, en wat heeft dat te maken met de omwenteling van onze planeet? Wat hebben ontwenningverschijnselen te maken met een gebroken hart? Waarom is de grootste vijand van onze herinneringen niet de tijd maar onze andere herinneringen? Hoe kan een blinde leren zien met haar tong of een dove leren horen met zijn huid? Zullen we ooit de ruwe details van iemands leven kunnen aflezen uit de microscopische structuren in het uitgestrekte woud van zijn zenuwcellen?

Het kind met een half brein

Toen Valerie S. aanstalten maakte om naar haar werk te gaan, zakte haar drie jaar oude zoontje Matthew plotseling in elkaar.¹

Hij was niet meer wakker te krijgen. Zijn lippen werden blauw.

In paniek belde Valerie haar man. ‘Waarom bel je mij?’ brulde hij. ‘Bel de dokter!’

De rit naar de EHBO werd gevolgd door een lange reeks afspraken. De kinderarts vond dat Matthews hartfunctie gecontroleerd moest worden, en de cardioloog voorzag hem van een hartmonitor, maar Matthew trok die telkens weer los. Geen van die consulten bracht ook maar iets bijzonders aan het licht. Zijn ouders waren enorm geschrokken, maar daar bleef het bij.

Althans, dat dachten ze, maar toen Matthew een maand later zat te eten verscheen er plotseling een vreemde uitdrukking op zijn gezicht. Hij keek strak voor zich uit, stak zijn rechterarm recht omhoog en bleef een minuut lang zo zitten, zonder nog op iets te reageren. Opnieuw reed Valerie snel met hem naar het ziekenhuis, en ook deze keer leidde dat niet tot een duidelijke diagnose.

De volgende dag gebeurde het wéér.

Een neuroloog sloot elektroden aan op Matthews hoofd om zijn hersenactiviteit te meten, en constateerde dat het jongetje aan epilepsie leed. Hij kreeg medicijnen om toevallen te voorkomen.

De medicijnen hielpen even, maar het duurde niet lang voordat Matthew een reeks onbeheersbare toevallen kreeg, aanvankelijk met tussenpozen van een uur, toen van drie kwartier, en toen van dertig minuten... net als de elkaar steeds sneller opvolgende barensweeën van een aanstaande moeder. Na een tijdje kreeg hij om de twee minuten een toeval. Elke keer dat er weer zo’n reeks toevallen begon, reden Valerie en Jim haastig met hem naar het ziekenhuis, en daar werd hij dan dagen- of zelfs wekenlang opgenomen. Nadat dat verschillende keren zo gegaan was, wachtten ze tot zijn ‘weeën’ twintig minuten na elkaar kwamen en als ze dan het ziekenhuis hadden gebeld dat ze in aantocht waren, stapten ze in de auto. Onderweg haalden ze vaak bij McDonald’s nog even iets te eten voor Matthew.

Het kostte Matthew grote moeite om tussen al die toevallen door van het leven te genieten.

Het gezin ging ongeveer tien keer per jaar naar het ziekenhuis, en dat ging drie jaar lang zo door. Valerie en Jim begonnen te rouwen om het verlies van hun gezonde kind – niet omdat Matthew dood zou gaan, maar omdat een normaal leven voor hem niet meer weggelegd leek. Ze gingen van woede naar ontkenning. Hun ‘normaal’ veranderde. Ten slotte, na een drie weken durend verblijf in het ziekenhuis, moesten de neurologen toegeven dat Matthews probleem groter was dan ze in het lokale ziekenhuis aankonden.

Dus nam het gezin een ambulancevliegtuig vanuit hun huis in Albuquerque, New Mexico, naar het Johns Hopkins Hospital in Baltimore. Op de intensive care van de afdeling Pediatrie werd duidelijk dat Matthew aan Rasmussens encefalitis leed, een zeldzame, chronische ontstekingsreactie. Het probleem van deze ziekte is dat hij niet slechts een klein deel van de hersenen aantast, maar een complete hersenhelft. Valerie en Jim deden navraag naar de verschillende mogelijkheden en tot hun schrik kregen ze te horen dat er maar één behandeling was: een hemisferectomie, ofwel het chirurgisch verwijderen van een complete hersenhelft. ‘Ik heb geen idee wat artsen daarna hebben gezegd,’ zei Valerie tegen me. ‘Je sluit je gewoon af. Het is net alsof iedereen plotseling een vreemde taal spreekt.’

Valerie en Jim probeerden andere benaderingen, maar die bleken zinloos. Toen Valerie een paar maanden later Johns Hopkins belde om een afspraak te maken voor de hemisferectomie vroeg de arts haar: ‘Weet u het zeker?’

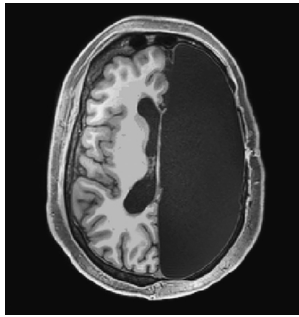
‘Ja,’ zei ze.

‘Kunt u elke dag in de spiegel kijken met de zekerheid dat u gekozen hebt voor iets noodzakelijks?’

De angst was zo verpletterend dat Valerie en Jim geen oog dichtdeden. Zou Matthew de ingreep overleven? Was het eigenlijk wel mogelijk om met een half stel hersenen voort te leven? En zelfs als dat mogelijk was, zou de verwijdering van een complete hersenhelft Matthew dan niet van zoveel vermogens beroven dat zijn leven nauwelijks levenswaardig meer zou zijn?

Alle andere mogelijkheden waren echter uitgeput. Met verschillende toevallen per dag werd een normaal leven voor Matthew onmogelijk. Ze moesten de ellende waarmee hij nu te kampen had, afwegen tegen een chirurgische ingreep met onzekere gevolgen.

Opnieuw namen Matthews ouders samen met hem het vliegtuig naar Baltimore. Met een piepklein anesthesiemaskertje werd Matthew in slaap gebracht. Voorzichtig werd er met een scalpel een incisie gemaakt in zijn kaalgeschoren hoofdhuid, en met een boortje werd er een gat in zijn schedel gemaakt.



De helft van Matthews hersenen werd chirurgisch verwijderd.

In enkele uren verwijderde de chirurg geduldig de helft van het delicate roze materiaal dat de basis vormde van Matthews verstand, emotie, taal, gevoel voor humor, angsten en liefdes. Het geëxtraheerde hersenweefsel, dat buiten zijn biologische milieu nutteloos was, werd opgeslagen in doosjes. De lege helft van Matthews schedel vulde zich langzaam met cerebrospinaal vocht, dat op scans zichtbaar was als een zwarte leegte.²

In de verkoeverkamer dronken zijn ouders ziekenhuiskoffie en wachtten tot Matthew zijn ogen zou opslaan. Hoe zou hun zoon nu zijn? Wie zou hij zijn met slechts een half stel hersenen?

Van alle voorwerpen die onze species op deze planeet heeft ontdekt, is niets complexer dan onze eigen hersenen. De menselijke hersenen bestaan uit 86 miljard ‘neuronen’: cellen die snel informatie heen en weer sturen in de vorm van elektrische pulsen.^{3*} Neuronen zijn met elkaar verweven in hechte, ingewikkelde netwerken, die enigszins doen denken aan een bos; het totale aantal connecties tussen de neuronen in je hoofd ligt in de honderden biljoenen (ongeveer $0,2 \times 10^{15}$). Om een idee te krijgen van de grootte van dat aantal: één kubieke centimeter hersenschors bevat méér connecties dan het totale aantal mensen op aarde.

Toch zijn het niet deze grote aantallen onderdelen die de hersenen zo interessant maken, maar de wisselwerking tussen al die onderdelen. In schoolboeken, reclamespotjes en de volkscultuur worden de hersenen over het algemeen voorgesteld als een orgaan met verschillende gebieden die met specifieke taken zijn belast. Dit gebied *híer* is bestemd voor het gezichtsvermogen, dat grote stuk *dáár* heb je nodig om met werktuigen te kunnen omgaan, deze regio wordt actief als we de verleiding weerstaan om snoepgoed naar binnen te werken, en die plek *dáár* licht op als we diep nadenken over een moreel dilemma. Alle gebieden laten zich keurig labelen en in categorieën opdelen.

Dit schoolboekjesmodel gaat voorbij aan het meest interessante deel van het verhaal. Het brein is een dynamisch systeem dat voortdurend zijn eigen bedrading aanpast aan de eisen van zijn omgeving en de vermogens waarover zijn lichaam al dan niet beschikt. Als je een magische videocamera zou hebben, waarmee je kon inzoomen op de levende, microscopische kosmos in je schedel, zou je zien hoe de tentakelachtige uitsteeksels van afzonderlijke neuronen op de tast hun omgeving afspeuren

* De termen *pulse*, *spike* en *action potential* zijn in het Engels min of meer uitwisselbaar, maar in het Nederlands wordt over het algemeen de voorkeur gegeven aan ‘actiepotential’. Omdat in de Engelse tekst van dit boek consequent de term *spike* wordt gehanteerd, en *action potential* niet voorkomt, is hier echter gekozen voor de term ‘puls’. (Vert.)

op connecties om aan te knopen of af te wijzen, net als burgers van een land die vriendschappen en huwelijken sluiten, zich in een bepaalde buurt vestigen of lid worden van een politieke partij, conflicten aangaan of aansluiting zoeken bij een sociaal netwerk. De hersenen kunnen het beste gezien worden als een levende gemeenschap van duizenden miljarden met elkaar verstrengelde organismen. Het brein is dan ook veel vreemder dan het beeld dat er in de lesboeken van wordt geschetst: het bestaat uit een geheimzinnig soort rekenweefsel, een levend, veranderlijk, driedimensionaal materiaal dat zich voortdurend aanpast aan zijn omgeving om zo efficiënt mogelijk te kunnen functioneren. Het uitgebreide patroon van verbindingen in de hersenen is vol leven; de talloze connecties tussen neuronen zijn continu aan het opbloeien en afsterven en zo maakt hun configuratie allerlei veranderingen door. Vandaag ben je iemand anders dan vorig jaar op deze datum, want het gigantische weefsel van je hersenen heeft zichzelf inmiddels omgevormd tot iets nieuws.

Als je een stukje informatie verzamelt – de locatie van een restaurant dat je goed vond, een roddelpraatje over je chef, een verslavend nieuw deuntje op de radio – verandert je brein daarvoor. Hetzelfde gebeurt als je financieel succes hebt, een sociaal fiasco beleeft of een emotioneel ontwaken doormaakt. Telkens als je een basketbal werpt, van mening verschilt met een collega, in een vliegtuig zit dat landt in een stad waar je nooit eerder bent geweest, naar een nostalgische foto tuurt of de welluidende klanken van een dierbare stem hoort, vormen de immense, met elkaar verstrengelde oerwouden in je hersenen zich om tot iets wat net een klein beetje anders is dan wat ze het moment daarvoor waren. Deze veranderingen vormen tezamen je herinneringen: de neerslag van je leven en liefdes. En je herinneringen, de talloze veranderingen in je hersenen, die zich in de loop van minuten, maanden en decennia ophopen, vormen samen het wezen dat we jou noemen. Of liever gezegd, het wezen dat we op dit moment jou noemen. Gisteren was je net een klein beetje anders en morgen zul je weer iemand anders zijn.

Het andere levensraadsel

In 1953 kwam Francis Crick een Engelse pub binnengestormd, en riep hij tegen de geschrokken drinkers daar dat hij samen met James Watson zojuist het levensraadsel had opgelost: ze hadden de dubbele-helixstructuur van het DNA ontcijferd. Van alle momenten in de geschiedenis waarop een wetenschappelijk onderzoeker een kroeg is binnengestormd, was dit een van de belangrijkste.

Naderhand bleek echter dat Crick en Watson slechts de *helft* van het raadsel hadden opgelost. De andere helft zul je niet aantreffen in een uitgeschreven sequentie van DNA-basenparen... Nu niet, en in de toekomst niet.

Want die andere helft bevindt zich overal om je heen en bestaat uit elke ervaring die je ooit met de wereld hebt gehad: de smaken en de substanties, de liefkozingen en de auto-ongelukken, de talen en de liefdesverhalen.⁴ Als je goed wilt kunnen inschatten wat dat inhoudt, stel je dan eens voor dat je dertigduizend jaar geleden geboren bent. Je beschikt over precies hetzelfde DNA als nu, maar nadat je de baarmoeder uit bent geperst, sla je je ogen op in een heel andere tijd. Wat zou jij dan voor iemand zijn? Zou je ervan genieten om gekleed in dierenhuiden rond het kampvuur te dansen terwijl je vol verwondering naar de sterren kijkt? Zou je hoog in een boom zitten om de anderen te waarschuwen voor naderende sabeltantijgers? Zou je zien hoe zich grote regenwolken vormen en je ongerust afvragen of je de nacht in de openlucht moet doorbrengen?

Wat er ook bij je opkomt, je hebt het mis. Het is een strikvraag.

Want die holenmens met zijn identieke DNA zou zelfs in de verste verte jou niet zijn. Wat zijn uiterlijk betreft zou hij misschien wel een beetje op je lijken, omdat hij is voortgekomen uit hetzelfde genetische receptenboek, maar hij zou heel anders denken dan jij. Zijn manier om strategieën te ontwerpen zou heel anders zijn dan die van jou, en dat geldt ook voor zijn beeld van het verleden en de toekomst en de wijze waarop hij de liefde bedrijft.

Waarom? Omdat de ervaringen die die holenmens heeft op-

gedaan heel anders zijn dan die van jou. Hoewel je DNA deel uitmaakt van jouw levensverhaal, is het niet meer dan een klein onderdeel daarvan. De rest van het verhaal heeft te maken met de rijke details van jouw eigen ervaringen en omgeving, die allemaal bijdragen aan het reusachtig uitgestrekte, microscopische weefsel van jouw zenuwcellen en hun onderlinge verbindingen. Het wezen dat we als jou beschouwen is een soort fles waar een klein stukje tijd en ruimte in wordt gegoten. Je neemt de cultuur en technologie van jouw omgeving in je op met behulp van je zintuigen. Wie jij bent, heb je evenzeer te danken aan je omgeving als aan je DNA.

Vergelijk dit verhaal eens met een hedendaagse komodovaraan en een soortgenoot van dertigduizend jaar geleden. Waarschijnlijk zou het moeilijker zijn om die twee varanen uit elkaar te houden aan de hand van hun gedrag.

Wat is het verschil tussen mensen en varanen?

Een komodovaraan komt ter wereld met een brein dat zich telkens weer min of meer op dezelfde wijze ontplooit. De competenties op zijn cv – Eten! Paren! Zwemmen! – zijn grotendeels vastgelegd in de structuur van zijn hersenen, en die gedragingen stellen varanen in staat om een stabiele niche in hun ecosysteem bezet te houden. Maar het zijn inflexibele werknemers. Als ze vanuit hun woongebied in het zuidoosten van Indonesië zouden worden overgevoerd naar het besneeuwde Canada, zouden er al snel geen varanen meer zijn.

Mensen daarentegen gaat het in ecologieën overal ter wereld voor de wind en het zal niet lang meer duren voordat we ook buiten onze planeet te vinden zijn. Wat is het geheime recept? Niet dat we harder of woester zijn dan andere diersoorten, of beter tegen een stootje kunnen: als het om dergelijke eigenschappen gaat, leggen we het af tegen bijna alle andere species. In plaats daarvan komen we ter wereld met een stel hersenen dat grotendeels onaf is. Als gevolg daarvan maken we in onze vroege kindertijd een hulpeloze periode door die veel langer duurt dan die van alle andere diersoorten. Die kosten worden naderhand

echter meer dan goedge maakt, want ons brein nodigt de wereld uit om het vorm te geven – en zo kunnen we gretig onze lokale talen, culturen, modes, politiek, religie en moraal indrinken.

Met een halfbakken brein in de wereld worden geworpen, is voor mensen een succesvolle strategie gebleken. We hebben ons in de strijd om het bestaan beter weten te weren dan alle andere species ter wereld: we hebben ons op alle continenten gevestigd, we hebben de zeeën veroverd, en met een reuzensprong hebben we zelfs de maan weten te bereiken. We hebben onze levensduur verdrievoudigd. We componeren symfonieën, bouwen wolkenkrabbers en meten de details van onze eigen hersenen met steeds grotere precisie. Niets van die projecten is in onze genen vastgelegd... in elk geval niet rechtstreeks. In plaats daarvan realiseert ons genetisch materiaal een eenvoudig principe: *Bouw geen inflexibele hardware; bouw een systeem dat zich aanpast aan de omringende wereld.*

Ons DNA is geen vaststaande blauwdruk voor de bouw van een organisme; in plaats daarvan bouwt het een dynamisch systeem op, dat voortdurend zijn eigen bedrading herschrijft om zo de omringende wereld te weerspiegelen en daarbinnen zo efficiënt mogelijk te kunnen opereren.

*

Denk eens aan de wijze waarop een schoolkind naar een globe kijkt en er dan van uitgaat dat de landsgrenzen een fundamentele onveranderlijke eigenschap daarvan zijn. Een geschoold historicus daarentegen begrijpt dat landsgrenzen toevallig bepaald zijn, en dat het verhaal van de mensheid zich ook met allerlei kleine variaties had kunnen voltrekken: iemand die voorbestemd was om koning te worden, sterft als kind; een plaag die de graanoogst doet mislukken wordt vermeden of een oorlogsschip wordt tot zinken gebracht zodat een zeeslag anders afloopt. Kleine veranderingen kunnen talloze gevolgen hebben, en die kunnen tot andere wereldkaarten leiden.

Zo is het ook met de hersenen. Hoewel de traditionele plaatjes in de schoolboeken de indruk wekken dat neuronen net als snoepjes in een glazen fles allemaal rustig naast elkaar in de hersenpan liggen, is dat beeld misleidend: neuronen zijn verwickeld in een onderlinge strijd op leven en dood. Net als landen maken ze aanspraak op een bepaald territorium en verdedigen ze dat tegen alle indringers, en die strijd wordt geleverd op elk niveau van het systeem: elk neuron en elke connectie tussen verschillende neuronen is verwickeld in een gevecht om middelen. Terwijl deze grensconflicten gedurende de hele levensduur van de hersenen blijven woeden, worden de landsgrenzen steeds zodanig opnieuw ingetekend dat iemands ervaringen en doelstellingen worden weerspiegeld in de structuur van zijn hersenen. Als een accountant haar werk opgeeft om pianiste te worden, zal het aan haar vingers gewijde neurale territorium zich uitbreiden; als ze in plaats daarvan met een microscoop gaat werken, zal haar visuele cortex steeds beter ingesteld raken op het signaleren van de kleine details waarnaar ze dan op zoek is; en als ze parfums gaat ontwerpen, zullen de op geur gerichte delen van haar hersenen in omvang toenemen. Alleen iemand die van buitenaf toekijkt, kan de indruk krijgen dat de hersenen net een globe met van tevoren bepaalde, vaststaande landsgrenzen zijn.

Het brein wijst bestaansmiddelen toe aan wat belangrijk is, en doet dat door alle onderdelen waaruit het bestaat te onderwerpen aan een concurrentiestrijd op leven en dood. Dit fundamentele principe zal licht werpen op verschillende vragen waarop we binnenkort zullen stuiten: waarom heb je zo nu en dan het gevoel dat je mobieltje zojuist is gaan zoemen in je zak, terwijl je het toch op tafel ziet liggen? Waarom heeft de in Oostenrijk geboren acteur Arnold Schwarzenegger een zwaar accent als hij Amerikaans Engels spreekt, en spreekt de in Oekraïne geboren actrice Mila Kunis accentloos Engels? Waarom is een autistisch kind met het savantsyndroom in staat om in 49 seconden een Rubiks kubus op te lossen, maar kan het geen normaal gesprek voeren met een leeftijdgenoot? Kunnen mensen hun technologie

aanwenden om nieuwe zintuigen te bouwen, zodat ze infraroodlicht, mondiale weerpatronen of de beurskoersen rechtstreeks kunnen waarnemen?

Als je een stuk gereedschap mist, maak het dan zelf

In 1945 bevond Tokio zich in een netelig parket. In de loop van de veertig jaar durende periode die de Russisch-Japanse Oorlog en de beide wereldoorlogen omvatte, had Tokio zijn intellectuele hulpbronnen grotendeels besteed aan militair denken. Dit had het land toegerust met talenten die op maar één doel gespitst waren: nog meer oorlogvoering. Atoombommen en oorlogsmoeheid hadden Japan echter beroofd van zijn lust om delen van Azië en de Stille Oceaan te veroveren. De oorlog was voorbij. De wereld was veranderd, en de Japanse natie zou met die veranderingen moeten meegaan.

Maar dat riep een moeilijke vraag op: wat moest het land beginnen met de enorme aantallen militaire ingenieurs die sinds het begin van de eeuw waren opgeleid om betere wapens te produceren? Al die militaire ingenieurs gingen eenvoudigweg niet samen met het kortgeleden opgekomen Japanse verlangen naar rust en vrede.

Althans, zo leek het. Maar binnen enkele jaren wist Tokio zijn maatschappelijke en economische landschap ingrijpend te veranderen door zijn ingenieurs nieuwe opdrachten te geven. Duizenden van hen kregen de taak om de hogesnelheidstrein te bouwen die bekend zou komen te staan als de Shinkansen.⁵ Ingenieurs die zich tot dan toe hadden beziggehouden met de aerodynamica van marinevliegtuigen, tekenden nu gestroomlijnde treinwagons. Ingenieurs die aan de ontwikkeling van de Mitsubishi Zero-jachtvliegtuigen hadden gewerkt, ontwierpen wielen, assen en treinsporen die ervoor zorgden dat de hogesnelheidstrein ook bij hoge snelheden veilig kon rijden.

Tokio paste de middelen waarover het land beschikte zodanig

aan dat ze beter op hun omgeving afgestemd raakten. De Japanners smeedden hun zwaarden om tot ploegscharen; ze bouwden hun machinepark zodanig om dat het beter aansloot op de eisen van het heden.

Tokio deed niets anders dan wat hersenen doen.

Het brein speelt voortdurend in op de uitdagingen en doelstellingen waarmee het zich geconfronteerd ziet. Het geeft zijn middelen zodanig vorm dat die beter aansluiten op de eisen die hun omstandigheden stellen. Wat het niet heeft, vormt het zelf.

Waarom is dat een goede strategie voor de hersenen? Per slot van rekening is door mensen ontwikkelde technologie zeer succesvol geweest, ook al bedienen we ons daarbij van een volkomen andere strategie. We bouwen hardware met een bepaald doel en draaien er softwareprogramma's op die keurig doen wat we van ze verwachten. Wat zou het opleveren om beide lagen met elkaar te laten versmelten, zodat de hardware door het draaien van de programma's voortdurend wordt aangepast?

Het eerste voordeel is snelheid.⁶ Je kunt vlot op je laptop typen omdat je niet hoeft na te denken over de positie van je vingers en wat je hoopt te bereiken door bepaalde functietoetsen aan te slaan. Het gaat allemaal vanzelf, als bij toverslag, omdat typen deel is gaan uitmaken van de bedrading van je hersenen. Door de bedrading van onze neuronen aan te passen worden dergelijke taken geautomatiseerd, en dat stelt ons in staat om snel te beslissen en te handelen. Er zijn miljoenen jaren evolutie voorafgegaan aan het ontstaan van het schrift en – een tijdje later – het toetsenbord, en toch kost het onze hersenen geen moeite om hun voordeel te doen met deze innovaties.

Vergelijk het eens met het aanslaan van de juiste toetsen van een muziekinstrument waarop je nooit eerder hebt gespeeld. Bij zulke niet-geautomatiseerde taken verlaat je je op je bewuste denken, en dat is een stuk trager. Het snelheidsverschil tussen amateurisme en professionalisme is de reden waarom een amateurvoetballer voortdurend de bal kwijtraakt aan een prof, die de signalen leest die zijn tegenstanders afgeven, met wat snel

voetenwerk de bal weet te bemachtigen en die met grote precisie wegschiet. Onbewuste handelingen verlopen sneller dan bewust nadenken; een akker laat zich gemakkelijker bewerken met een ploeg dan met een zwaard.

Het tweede voordeel van gespecialiseerde apparatuur voor belangrijke taken is de efficiënte omgang met energie. Iemand die pas is gaan voetballen begrijpt gewoon niet hoe alle bewegingen op het veld in elkaar passen, terwijl de professional het verloop van het spel op verschillende manieren kan beïnvloeden, en daarmee een grotere kans maakt om te kunnen scoren. Wiens hersenen zijn dan actiever? Je zou misschien denken dat het de topscorer is – want deze expert begrijpt de structuur van het spel en neemt razendsnel allerlei mogelijkheden en ingewikkelde manoeuvres door voordat hij de juiste kiest. Toch zou je het dan mis hebben. Het brein van de expert heeft neurale netwerken ontwikkeld die speciaal zijn toegesneden op voetbal, zodat hij zijn spel kan uitvoeren met verrassend weinig hersenactiviteit. In zekere zin is de expert één geworden met het spel. De hersenen van de amateur daarentegen staan roodgloeiend: hij probeert erachter te komen welke manoeuvres van belang zijn en welke niet. Hij weegt verschillende interpretaties van de situatie tegen elkaar af, en probeert te bepalen welke correct is... als er al een correcte interpretatie tussen zit.

Doordat het voetballen in de bedrading van zijn hersenen is ingebrand, weet de topvoetballer zowel snel als efficiënt te handelen. Hij heeft zijn neurale netwerken geoptimaliseerd voor iets wat in zijn wereld voor hem van belang is.

Een voortdurend veranderend systeem

Voor het idee van een systeem dat kan worden veranderd door gebeurtenissen van buitenaf – en vervolgens zijn nieuwe vorm behoudt – heeft de Amerikaanse psycholoog William James de term ‘plasticiteit’ bedacht. Een plastisch voorwerp is een voorwerp dat

zich laat kneden en de vorm behoudt waarin het is gekneet. Zo is het materiaal dat wij *plastic* noemen, aan zijn naam gekomen: we vormen er speelgoed en telefoons mee door het materiaal te kneden of in een mal te spuiten, en vervolgens behoudt dat zijn nieuwe vorm. Zo is het ook met hersenweefsel: onze belevenissen veranderen dat, en die veranderingen behoudt het.

‘Neuroplasticiteit’ is de term die we binnen de neurowetenschap voor deze eigenschap hanteren, maar die zal ik in dit boek slechts incidenteel gebruiken, omdat je daarmee soms de plank mis kunt slaan. Bedoeld of niet, ‘plasticiteit’ suggereert dat het kernidee is dat je iets één keer in een bepaalde vorm kneedt en dat het die vorm dan altijd behoudt, zoals een plastic bad-eendje altijd zijn vorm behoudt. Maar zo werken de hersenen niet. Ze blijven zich gedurende je hele levensloop voortdurend in nieuwe vormen kneden.

Denk aan een stad in ontwikkeling en kijk naar de wijze waarop die groeit, zich optimaliseert en op de wereld om zich heen reageert. Kijk waar de stad zijn truckstops bouwt, hoe de stad zijn immigratiebeleid vormgeeft, zijn onderwijssysteem en stelsel van wetten en voorschriften inricht. Een stad is voortdurend aan het veranderen. Een stad wordt niet door stadsplanners ontworpen en dan als een plastic bad-eendje geïmmobiliseerd. Een stad is constant in ontwikkeling.

Net als steden bereiken hersenen nooit een eindpunt. We bloeien ons hele leven naar iets toe, maar dat ‘iets’ is geen vaststaand doel. Denk aan het gevoel dat je kan overvallen als je op een aantekening in een dagboek van jaren geleden stuit. Die vertegenwoordigt het denken, de meningen en het gezichtspunt van iemand die op z’n minst net een beetje anders was dan jij nu bent, en soms zelfs bijna onherkenbaar is. Zo iemand mag dan dezelfde naam en dezelfde vroege voorgeschiedenis hebben als jij, maar in de jaren tussen die dagboekantekening en het moment waarop jij die nu leest, ben je veranderd.

Het begrip ‘plastisch’ kan ook dit idee van voortdurende verandering omvatten, en om in contact te blijven met de bestaan-

de literatuur zal ik het zo nu en dan hanteren,⁷ maar de tijd dat we diep onder de indruk waren van het zo kneedbare plastic ligt achter ons. In dit boek willen we doorgronden hoe dit levende systeem werkt, en om dat te beschrijven zal ik een term hanteren die beter weergeeft waar het hier om gaat: *livewiring* ofwel ‘levende bedrading’. Zoals we hieronder zullen zien, is het inmiddels onmogelijk aan het worden om de hersenen te beschouwen als iets wat kan worden onderverdeeld in hardware en software. Om dit dynamische, aanpassingsvaardige, informatiezoekende systeem te kunnen begrijpen, zullen we behoefte hebben aan een derde categorie: *liveware*.

*

Om een goed idee te krijgen van de kracht van een zichzelf configurerend orgaan keren we terug naar het verhaal van Matthew. Nadat er bij hem een complete hersenhelft was verwijderd, was hij niet alleen incontinent geworden, maar kon hij ook niet meer lopen en praten. De ergste angsten van zijn ouders waren bewaarheid.

Met dagelijkse fysio- en taaltherapie slaagde hij er echter in om langzaam opnieuw te leren praten. Zijn taalverwervingsproces doorliep dezelfde stadia als bij een klein kind: eerst één woordje, dan twee, en daarna korte zinnnetjes. Drie maanden later was hij weer op het niveau dat bij zijn leeftijd paste.

Nu, vele jaren later, kan Matthew zijn rechterhand niet goed gebruiken en loopt hij een beetje mank,⁸ maar verder leidt hij een normaal leven, en er is maar weinig wat erop wijst dat hij iets buitengewoons heeft doorgemaakt. Zijn langetermijngeheugen is uitstekend. Hij heeft drie semesters lang gestudeerd, maar omdat het hem moeite kostte om met zijn rechterhand aantekeningen te maken heeft hij zijn studie gestaakt en is hij in een restaurant gaan werken. Hij neemt er de telefoon op, onderhoudt het contact met de gasten, serveert het eten en doet ook verder zo'n beetje alles wat er gedaan moet worden. Mensen die hem ont-

moeten, hebben geen flauw idee dat hij de helft van zijn hersenen mist. Zoals Valerie het omschrijft: ‘Als ze het niet wisten, zouden ze het niet weten.’

Hoe kan zo’n ingrijpende vernietiging van hersenweefsel onopgemerkt blijven?

Nou, doordat de resterende helft van Matthews brein zijn bebrading op dynamische wijze heeft aangepast om de ontbrekende functies over te nemen. De blauwdrukken van zijn zenuwstelsel hebben zich zodanig aangepast dat ze minder plaats innemen op de veel kleinere hersenschors, zodat hij met niet meer dan de helft van de apparatuur toch een volledig leven kan leiden. Hardware is fragiel. Je kunt niet de helft van de elektronica uit je smartphone slopen en er dan nog mee bellen. Maar liveware blijft functioneren.

*

In 1596 zat de Vlaamse cartograaf Abraham Ortelius over een wereldkaart gebogen toen hem plotseling iets inviel: Amerika en Afrika zagen eruit alsof ze als stukjes van een legpuzzel in elkaar pasten. Het was wel duidelijk dat de kustlijnen van beide continenten elkaar weerspiegelden, maar hij had geen idee wat ze ‘uit elkaar had getrokken’. In 1912 kwam de Duitse geofysicus Alfred Wegener met het concept van continentverschuiving: hoewel tot dan toe altijd was aangenomen dat de continenten onveranderlijk op hun plaats lagen, dreven ze misschien wel als reusachtige waterlelies rond. De continentverschuiving verloopt traag (met dezelfde snelheid waarmee je vingernagels groeien), maar als je de aarde een miljoen jaar lang vanuit de ruimte zou filmen, zou je zien dat de landmassa’s deel uitmaken van een dynamisch, stromend systeem dat de continenten volgens de wetmatigheden van hitte en druk over de aarde verschuift.

Net als de wereld zelf vormen de hersenen een dynamisch, stromend systeem, maar welke wetmatigheden bepalen het gedrag daarvan? Het aantal wetenschappelijke artikelen over neu-

roplasticiteit ligt inmiddels in de honderdduizenden. Maar zelfs vandaag de dag beschikken we, als we naar dit vreemde, roze, zichzelf configurerende materiaal turen, niet over een overkoepelelnd kader dat ons vertelt hoe en waarom de hersenen doen wat ze doen. Dit boek biedt dat kader en stelt ons daarmee in staat om beter te begrijpen wie we zijn, hoe we zo zijn geworden, en waar we heen gaan.

Zodra we in ons denken eenmaal uitgaan van livewiring lijkt onze huidige hardware hopeloos ontoereikend voor onze toekomst. In de traditionele techniek is alles van enig belang per slot van rekening zorgvuldig ontworpen. Als een autofabrikant het chassis van een auto opnieuw vormgeeft, zijn de ingenieurs maanden bezig om een motor te ontwerpen die daarin past. Stel je voor dat je het koetswerk lukraak zou kunnen veranderen, gewoon zoals het in je opkomt, en het dan aan de motor zou kunnen overlaten om zich daaraan aan te passen! Zoals we hieronder zullen zien, kunnen we, zodra we de principes van livewiring eenmaal doorgronden, het genie van Moeder Natuur inzetten voor de fabricage van nieuwe machines: apparaten die op dynamische wijze hun eigen bedrading bepalen door zich optimaal aan te passen aan hun input en te leren van hun ervaringen.

De spanning en vreugde van het leven hebben geen betrekking op wie we zijn, maar op wie we aan het worden zijn. En hetzelfde geldt voor onze hersenen: de magie daarvan ligt niet in de elementen waaruit die zijn opgebouwd, maar in de wijze waarop die elementen onophoudelijk in nieuwe netwerken met elkaar verweven raken en zo een dynamisch, van leven zinderend weefsel vormen.

Als je maar een handvol pagina's van dit boek hebt gelezen, zijn je hersenen al veranderd: de symbolen op deze bladzijden hebben de aanzet gegeven tot miljoenen piepkleine veranderingen in de uitgestrekte zeeën van je neurale verbindingen, en je daarmee zorgvuldig omgevormd tot iemand die net een beetje anders is dan degene die je aan het begin van dit hoofdstuk was.