

Uit het hoofd

Opgedragen aan alle mensen die me tijdens mijn leven iets zinvol
hebben geleerd: van metselen tot daken leggen, van programmeren tot
het vertellen van verhalen, van koken tot lezen en luisteren.

Opgedragen aan Liesbeth, Joosfien en Bowie.

Met dank aan Ted Nelson.

Kris Merckx

UIT HET HOOFD

EEN GESCHIEDENIS VAN DE
MENSELIJKE INTELLIGENTIE

Sterkck & De Vreese

© 2022 Kris Merckx | uitgeverij Sterck & De Vreese

Omslagontwerp Mijke Wondergem

Boekverzorging Elgraphic

ISBN 978 90 5615 926 9

NUR 680 | 984

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van uitgeverij Sterck & De Vreese, postbus 234, 8400 AE Gorredijk, Nederland –info@sterckendevreese.nl.

De uitgeverij heeft ernaar gestreefd alle copyrights van de in deze uitgave opgenomen illustraties te achterhalen. Aan hen die desondanks menen alsnog rechten te kunnen doen gelden, wordt verzocht contact op te nemen met Sterck & De Vreese.

Sterck & De Vreese is onderdeel van
20 leafdesdichten en in liet fan wanhoop bv

www.sterckendevreese.nl

INHOUD

Waar gaat dit boek over? 7

1 Vormen van intelligentie 9

2 Brein en cultuur 30

3 Sensorische waarneming 63

4 Geheugenapparaten en verwerkingseenheden 80

5 Uit onze handen en uit ons hoofd 121

6 Machines die leren en kunstmatige intelligentie 150

Slot 201

Bibliografie 203

De auteur 219

WAAR GAAT DIT BOEK OVER?

Dit boek gaat op zoek naar wat menselijke intelligentie nu precies is en welke andere vormen van intelligentie nog voorkomen in de natuur. Wat dacht je van planten die kunnen tellen of honden die een paar honderd woorden kunnen onderscheiden? Intelligentie is nauw verbonden met interactie met de leefomgeving. Mensen beschikken niet enkel over een zesde, maar over enkele tientallen zintuigen die de waarneming van onze omgeving vergemakkelijken.

De mens ziet zich nog veel te vaak als het toppunt van de evolutie. Geen enkel levend wezen lijkt de inventiviteit en innovatiedrang van de mens te evenaren. Is alleen de mens in staat tot intelligent gedrag, tot innovatie en cultuur? Ook dieren en zelfs planten lijken vaak in staat tot verrassend slim gedrag en vormen van communicatie die we tot voor kort niet voor mogelijk achtten.

Daarnaast koestert de mens de eeuwenoude droom om zichzelf opnieuw uit te vinden. De werktuigen en technieken die de mens sinds de prehistorie bedacht, dienden niet enkel om het werk te verlichten, maar ook om onze hersenarbeid te verminderen. Het schrift ontlastte de belastingcontroleurs in het Oude Egypte van heel wat geheugenwerk. In het oude Babylon bedacht men indexeringstechnieken om in de massa kleitabletten informatie snel terug te kunnen vinden. Slimme en verrassende algoritmes voor automatisering en automatische gegevensverwerking vinden we reeds terug in de klassieke oudheid. Al vanaf de prehistorie halen we letterlijk de data en het denkwerk uit het hoofd.

Welk voordeel biedt het ons evolutionair gezien om informatie te kunnen onthouden? Hoe onthouden we informatie zowel in als buiten het hoofd? Welke technieken hebben we gedurende de geschiedenis be-

dacht om voor lange tijd data ‘buiten de hersenen’ te bewaren en waarom doen we dit? Waarom verzamelen grote techbedrijven, zoals Google en Facebook, massa’s data? Hoe komt het dat negentig procent van alle data die de mens in de geschiedenis produceerde, stamt uit de laatste decennia?

We verzamelen zodanig veel gegevens dat er te weinig hersenen zijn om al die informatie te verwerken. De mens zet in op kunstmatige intelligentie, waarbij machines in staat zijn om zelf te leren uit data, razendsnel patronen te herkennen en zelfs voorspellingen te doen. Zal ‘artificial intelligence’, AI, ooit de menselijke intelligentie kunnen benaderen of zelfs voorbijstreven? Waarom geloven sommige computerwetenschappers dat dit punt in de tijd, de singulariteit, binnen zeer korte tijd zal plaatsvinden en menen neurowetenschappers of sommige fysici dat dit misschien wel nooit zal gebeuren?

Wat is kunstmatige intelligentie? Hoe kunnen machines zelfstandig leren, net zoals mensen en sommige dieren dat doen?

Intelligentie kan je niet zonder meer meten in IQ. Intelligentie heeft de maken met informatieverwerking, met waarneming, maar ook met groepsgedrag. Op bepaalde momenten in de menselijke geschiedenis is de herseninhoud niet toe-, maar juist afgenomen. Hoe komt dit? Klopt het dat de groei van de hersenen in de evolutie gradueel verloopt, zoals de bioloog Dunbar meent? Kan de menselijke intelligentie nog toenemen? Bepaalt de grootte van de hersenen de intelligentie? Vind je vormen van groepsintelligentie en zwermintelligentie, zoals bij onder meer mierenkolonies, ook bij de mens?

VORMEN VAN INTELLIGENTIE

Wat is intelligentie?

‘Mensen die opscheppen over hun IQ zijn losers.’

– STEPHEN HAWKING

‘De maatstaf voor intelligentie is het vermogen om te veranderen.’

– ALBERT EINSTEIN

‘In werkelijkheid is “intelligentie” een louter vocale klank geworden, een woord met zoveel betekenissen dat het er uiteindelijk geen heeft.’

– SPEARMAN, 1927

Welke menselijke intellectuele eigenschappen zal een computer of AI nooit kunnen hebben? Die vraag stel ik stevast aan mijn studenten aan het begin van een nieuw semester. Meestal voeren dan twee begrippen de boventoon: ‘emoties’ en ‘creativiteit’. Dat zijn echter niet meteen de begrippen die we tijdens ons leven koppelen aan intelligentie. We prijzen Albert Einstein en Stephen Hawking niet omdat ze emotionele liedjes teksten schreven. Einstein zou eveneens hebben gezegd dat ‘alle grote prestaties van de wetenschap moeten beginnen met intuïtieve kennis.’ Staan intuïtie en creativiteit dan nog een trapje hoger dan intelligentie? Anderzijds, ervaren dieren niet ook emoties, ook al schatten we de menselijke intelligentie toch een stap hoger in dan die van je, hoe lief je ze ook vindt, hond of kat?

Wat is intelligentie? Het lijkt bijzonder moeilijk, ook voor wetenschappers, om hiervoor een eensluidende definitie op te stellen. Intelli-

gentie heeft te maken met kunnen leren en plannen, probleemoplossend denken, creatieve oplossingen bedenken, kennis kunnen representeren... Ook bij het grote publiek bestaat er geen eenduidige kijk op intelligentie. Over een docent hoor je wel eens: 'Hij kan het niet uitleggen, maar hij is wel heel intelligent.' Anderzijds hoor je: 'Een moeilijk probleem eenvoudig kunnen uitleggen, getuigt van intelligentie.'

Vaak onderscheidt men diverse soorten intelligentie, waardoor de ene mens bekwaamer is in de ene vaardigheid dan in de andere. Algemene intelligentie beschouwen we eerder als het vermogen om te leren of om te leren hoe je problemen moet oplossen (= vloeiende intelligentie), dan het vermogen om eerder geleerde kennis te reproduceren (= gekristalliseerde intelligentie).

In het boek *The Abilities of Man* (1927) stelde de Britse psycholoog Spearman dat er twee soorten intelligentie bestaan: algemene en specifieke intelligentie, bijvoorbeeld wiskundig redeneren. Ook David Hebb onderscheidde twee vormen van intelligentie. Aangeboren intelligentie, die beïnvloed is door genetische factoren, is verantwoordelijk voor de verschillen in intelligentie tussen mensen. Op dat fundament ontwikkelt zich een tweede laag van intelligentie door interactie met de leefomgeving.

Groot probleem bij deze stelling is dat je moeilijk kan bepalen waaraan de intellectuele verschillen tussen mensen dan precies te wijten zijn. De Amerikaanse psycholoog Louis L. Thurstone (1938) was het oneens met Spearman. Volgens hem bestond intelligentie uit zeven bouwstenen: verbaal begrip, verbale vlotheid, getal (rekenen en problemen oplossen), geheugen, perceptuele snelheid, inductief redeneren en ruimtelijke visualisatie. Horn en Cattell onderscheidden dan weer negen vermogens, maar de bekendste zijn gekristalliseerd vermogen en vloeiend vermogen. Flexibel denken en abstract redeneren zijn vloeiend, maar het aanleren van feitenkennis en vaardigheden zagen ze als gekristalliseerd. Carrolls (1993) hiërarchische theorie of drielagenstelling plaatst helemaal bovenaan de algemene intelligentie. Daaronder zit de tweede laag, waarin onder meer vloeiend vermogen, leren en geheugen en perceptuele snelheid thuishoren. De derde laag bevat meer specifieke vermogens, zoals wiskundig redeneren.

Louis Guttman (1954) legde de basis voor het vernieuwende radex-

model. Daarin rangschikte hij vaardigheden langs een gelaagde cirkel. Algemene intelligentie ('g') vind je in het centrum van de cirkel. Hoe dichter een vaardigheid bij 'g' ligt, hoe complexer ze is en hoe meer energie ze vergt. Hoe dichter een geteste vaardigheid bij de rand van de cirkel ligt, hoe eenvoudiger en hoe minder energie ze vraagt. Vaardigheden die op elkaar lijken (bijvoorbeeld woordenschat en begrijpend lezen), liggen dicht bij elkaar. Laat duidelijk zijn dat dit vooral een bruikbaar model is bij intelligentietests, maar relatief weinig vertelt over de werking van de hersenen zelf.

Intelligentie meten

Intelligentie is geen batterij waarvan je de lading kan meten. Het is een functionele kwaliteit van een biologisch systeem: onze hersenen. Omdat ieder mens over een stel hersenen beschikt, kan je er dus ook van uitgaan dat iedereen intelligent is. Maar waarom de ene persoon nu eerder dom is en de andere een genie, dat is lang niet duidelijk.

Vroeger bevatten intelligentietests vaak een groot aantal vragen gebaseerd op feitenkennis (gekristalliseerde intelligentie). Moderne tests zijn gebaseerd op verbaal redeneren, ruimtelijke manipulatie en wiskunde. Om het IQ te bepalen berekent men het gemiddelde en de standaardafwijking van de testresultaten van een steekproef van een onderzoeksgroep. De gemiddelde score stelt men gelijk aan honderd. Een standaardafwijking komt overeen met vijftien IQ-punten. Intelligentietests en de daaraan gekoppelde scores zijn vaak controversieel en subjectief. Anderzijds bleken ze een waardevol hulpmiddel bij wetenschappelijk onderzoek naar intelligentie en bij het selecteren van sollicitanten door bedrijven.

Wil je echter controleren in welke mate dieren of computersystemen intelligent zijn, dan kom je met een IQ-test niet ver. Je kan je kat bijvoorbeeld moeilijk een intelligentietest met vragen op papier voorleggen. We moeten dus op zoek gaan naar universele maatstaven om intelligentie te kunnen meten bij zowel mensen en dieren, als kunstmatige systemen.

Beeld je in dat een duif een intelligentietest zou samenstellen, dan zou niet wiskunde of verbaal redeneren centraal staan, maar ruimtelijk

navigeren. Ongetwijfeld zouden de meeste duiven beter scoren op dit soort test dan mensen. Willen we dus een test die zowel valabel is voor mensen als voor pakweg vogels en bijen, dan kan je zowel wiskundige vaardigheden als ruimtelijk redeneren testen. Maar nemen we ook een smartphone op in ons testpubliek, dan zal dat toestel buitensporig goed scoren zowel wat rekenen betreft als navigeren.

Onszelf als maatstaf nemen is niet noodzakelijk een foutief uitgangspunt. We kunnen dieren en machines rangschikken naargelang die vaardigheden waarin ze de menselijke intelligentie evenaren of overtreffen, beduidend minder scoren of compleet 'de mist ingaan'. In die zin zou een allesomvattende intelligentietest voor dieren, machines een soort Turing-test worden.

Mensen onderscheiden zich van andere organismen door een sterke mate van tijdsbesef. We kijken terug op een verleden van (goede en slechte) ervaringen, waarvan we in het beste geval heel wat geleerd hebben. Die kennis en ervaringen gebruiken we om, vaak onbewust, voorspellingen te doen over te nemen beslissingen. Een ezel stoot zich geen twee keer aan dezelfde steen, zegt het spreekwoord. Zoals je in hoofdstuk 6 zal zien, heeft het huidige succes van kunstmatige intelligentie veel te maken met voorspellende analyse.

De hersenen als zetel van intelligentie

Intelligentietests en bijhorende modellen zeggen weinig over het orgaan waar alle intelligente vermogens tot stand komen: de hersenen. De hersenen bevatten naar schatting 86 miljard neuronen (een soort zenuwcellen). Ze zijn onderling met elkaar verbonden in netwerken. In totaal zouden er tussen die neuronen ongeveer honderd biljoen verbindingen bestaan. Dat is natuurlijk een schatting, want niemand heeft ze echt geteld. Neurowetenschappers zijn steeds beter in staat om vast te stellen welke delen van hersenen actief zijn bij een bepaalde taak. Zo hebben ze een vrij duidelijk beeld van waar intelligentie zich in de hersenen bevindt (of zou kunnen bevinden).

Begin twintigste eeuw ontdekte de reeds eerder vermelde Charles Spearman een verbazingwekkend verband. Studenten die goed presteerden in één vak, hadden de neiging om ook goed te presteren in andere,

totaal andere vakken. Een leerling die goed kon lezen, was bijvoorbeeld ook goed in wiskunde. Die ontdekking suggereerde een verborgen verband. Hij noemde dit de 'g-factor' of 'algemene intelligentie'. De g-factor staat voor een soort 'all round'-vermogen om informatie te begrijpen en verwerken en toe te passen in nieuwe probleemsituaties. Iemand die be- gaafd is in wiskunde, zal waarschijnlijk ook goed presteren in patroon- herkenning en begrip- pend lezen.

Veel neurowetenschappers probeerden de locatie van die 'algemene intelligentie' terug te vinden in de hersenen. Angst huist bijvoorbeeld in de amygdala en het coderen van herinneringen lijkt zich hoofdzakelijk in de hippocampus af te spelen. Het schakelen tussen taken en zelfbe- heersing lijken plaats te vinden in de prefrontale cortex. Maar daarmee is nog lang niet duidelijk waar taken als patroonherkenning, een kriti- sche houding of gewoonweg 'nadenken' thuishoren.

Anders dan vaak is gesteld, lijkt het weinig waarschijnlijk dat speci- fieke hersengebieden verantwoordelijk of gespecialiseerd zijn in één bepaald soort intelligentie. Dankzij neuro-imaging-technieken geloven veel neurowetenschappers dat een netwerk van meerdere hersengebie- den verantwoordelijk is voor intelligentie. Volgens de pariëtofrontale integratietheorie, of P-FIT, bevinden die netwerken zich voornamelijk in de frontale en pariëtale kwabben. De efficiëntie van communicatie en variaties in dat netwerk zouden bepalen hoe intelligent iemand is. Intel- ligentie zou dus gerelateerd zijn aan hoe goed informatie door de herse- nen reist.

P-FIT steunt echter hoofdzakelijk op fMRI-scans. Daarin controleert men welke zones in de hersenen oplichten bij het uitvoeren van een be- paalde taak, maar dat wil natuurlijk nog niet zeggen dat dat gebied dan ook daadwerkelijk verantwoordelijk is voor het uitvoeren van een speci- fieke taak. Een fMRI volgt de bloedstroom door de hersenen, maar kijkt niet naar de activiteit van specifieke neuronen.

Ook het bestuderen van hersenletsels helpt bij het lokaliseren van bepaalde hersenfuncties die een rol spelen bij intelligentie. Beschadi- gingen in het gebied van Wernicke leiden tot problemen met het begrip- pen van taal, ook al kan de persoon nog gewoon spreken. De productie van taal huist immers in het gebied van Broca. P-FIT lijkt deze taakver- deling te bevestigen.

P-FIT is niet het enige model over de oorsprong van intelligentie. Sommigen beweren dat hersengolven het meest invloedrijke onderdeel van intelligentie zijn, omdat ze de activiteit van neuronen coördineren. Weer anderen menen dat intelligentie een gevolg is van de reorganisatie van hersennetwerken: hoe flexibeler je hersenen zijn, des te slimmer je bent.

Het brein als computer

Computationele stellingen over intelligentie gebruiken de computer als metafoor voor de menselijke intelligentie. Het brein vormt dan de informatieverwerkende hardware, de aangeboren en aangeleerde vaardigheden een aantal softwarefuncties. De ontwikkeling van de computer, en later kunstmatige intelligentie in de twintigste eeuw, ging hand in hand met het gebruik van de computationele metafoor. Klopt het dat het brein een computer is? In hoofdstuk 6 komen we hier nog uitgebreid op terug.

Intelligentie en bewustzijn

‘Natuurlijk heb ik geen van de termen “intelligentie”, “begrip” of “besef” gedefinieerd. Ik denk dat het zeer onverstandig zou zijn om te proberen hier volledige definities te geven. We zullen tot op zekere hoogte moeten afgaan op onze intuïtieve perceptie van wat deze woorden eigenlijk betekenen. Als ons intuïtief begrip van “begrip” is dat het iets is dat nodig is voor “intelligentie”, dan zal een argument dat de niet-computationele aard van “begrip” vaststelt, ook de niet-computationele aard van “intelligentie” vaststellen. (...) Intelligentie vereist begrip. Begrip vereist besef (= “awareness”). Besef beschouw ik als één aspect – het passieve aspect – van het verschijnsel bewustzijn. Bewustzijn heeft ook een actief aspect, namelijk het gevoel van vrije wil.’

– ROGER PENROSE, *Shadows of the Mind*, 1994

Intelligentie en bewustzijn zijn overlappende functies of ze zijn naar alle waarschijnlijkheid met elkaar verbonden. Maar betekent dit dat kunstmatige intelligentie dan eveneens over een bewustzijn kan beschikken? Volgens Gamez vormt ieder van ons het centrum van zijn eigen erva-

ringsbubbel. Die bubbel bestaat uit onze directe omgeving, inclusief alle objecten, maar ook niet-fysische eigenschappen, zoals kleuren en geuren. Als ik kook, dan is die bubbel de keuken, met de geuren van de kokende groenten en de kruiden, de geur en kleur van de spaghettisaus, de warmte van het fornuis... Maar ik ben me er ook van bewust dat mijn dochter op haar kamer zit te studeren (dat hoop ik in ieder geval), dat mijn vrouw ook ergens in huis aan het werk is en dat de kat, die ik even niet zie, wellicht ergens op een stoel aan het slapen is. Ook heel veel dieren zijn bewust, maar dat kan ik niet zeggen van de laurier- en de korianderplant op de vensterbank. Dat hoop ik althans, want als ik een paar blaadjes neem voor mijn saus, dan schreeuwt die plant het niet uit van de pijn. Ook in onze dromen zitten we in een ervaringsbubbel, maar daarin lopen bestaande omgevingen wel eens vaag of geheel in elkaar over.

Maar het blijft natuurlijk moeilijk om bewustzijn exact te definiëren. Veel mensen hebben het nog steeds moeilijk met het idee dat bewustzijn kan worden herleid tot een fysisch fenomeen dat enkel en alleen maar tot stand komt dankzij een biologisch orgaan, de hersenen. Immers, dan moet je bewustzijn kunnen zien in de vorm van een patroon van oplichtende hersenzones, heen en weer schietende neuronen of elektromagnetische golven. Volgens Hameroff en Penrose is bewustzijn eerder een kwantumfenomeen... een tijdelijk en ruimtelijk patroon in fysisch materiaal, zoals een bewegend elektron een magnetisch veld produceert, maar een bewegend neutron dan weer niet.

Andere wetenschappers, zoals Dehaene en Tononi, hebben weer andere hypothesen over de oorsprong van het bewustzijn gedefinieerd. GWT (global workspace theory) is daar één van. Vaak gebruikt men het theater als analogie. In het theater van het bewustzijn is een spot gericht op een bepaalde plak op het podium. De kijker (de persoon in kwestie) focust zich op wat zich afspeelt binnen de lichtkring. Maar ook achter de schermen speelt zich heel wat af. Er zijn muzikanten, een regisseur, andere acteurs, licht- en geluidstechnici, enzovoort. Al die mensen en activiteiten bepalen mede wat er gebeurt op het podium, maar ze bevinden zich onzichtbaar op de achtergrond. Dehaene veronderstelt het bestaan van een soort geheugenbuffer die externe stimuli enkele honderden milliseconden vasthoudt.