



DE APOLOGIE VOORBIJ kansrekening en het feilbare denken

RICHARD STARMANS

In 1985 publiceerde de Australische fysicus en AI-pionier Peter Cheeseman zijn befaamde, doch enigszins polemische artikel *In Defence of Probability* in de Proceedings van de Ninth International Joint Conference on AI (Cheeseman, 1985). De IJCAI geldt heden ten dage nog steeds als de meest gezaghebbende mondiale AI-conferentie. De auteur betoogt in zijn bijdrage onder meer dat kansrekening en probabilistische methoden toereikend zijn om automatisch redeneren met onvolledige en onzekere kennis en het in de AI beoogde *common sense* redeneren te bewerkstelligen. Hij hekelt de op dat moment dominante logische traditie binnen de symbolische AI en stelt dat alle kritiek op probabilistische benaderingen voortkomt uit misverstanden en onkunde. De *sources of error* worden vervolgens ragfijn en vilein geanalyseerd; verwarring over een frequentistisch kansbegrip versus *measures of belief*, verwarring over absolute en relatieve waarschijnlijkheid, over waarschijnlijkheid en de onzekerheid van die waarschijnlijkheid. Ook gispt hij de cri-

tici over hun – in zijn ogen – evidente onbegrip van de Bayesiaanse grondslagen. Bovenal betreurt Cheeseman de ‘proliferation of representation languages with associated inference procedures’, allemaal extensies van de klassieke logica, die voor het realiseren van het ultieme Project van de AI ongeschikt en onnodig zijn. ‘Probability is all that is needed’, aldus de auteur. Mede door de retorische fasering van het artikel en de soms enigszins verongelijkte toon krijgt Cheesemans oratio pro domo welhaast het karakter van een apologie. In dit korte essay zal worden beargumenteerd dat de publicatie evenzeer een boude stellingname is als een daad van revolte, bovendien zowel visionair als problematisch is gebleken, maar bovenal dat zijn apologie nog steeds actueel is.

Kansrekening en AI

Gedurfd is Cheesemans positie onmiskenbaar. Allereerst

omdat anno 1985 probabilistisch redeneren in de AI nog grotendeels in de kinderschoenen stond. Grote wapenfeiten ontbraken vooralsnog. Er waren noch vooraanstaande paradigma's, noch killer-applicaties. Noviteiten als het Certainty Factor model, de Dempster-Shafer Theory, Fuzzy Logic en Possibilistic Logic worden door Cheeseman gedeclareerd van de hand gewezen als aberraties van de ware kansrekening. De grafisch georiënteerde probabilistische (Bayesiaanse) netwerken zouden pas eind jaren 80 gestalte krijgen met het werk van onder meer Richard Neapolitan, David Spiegelhalter en Judea Pearl. Bovendien was de AI medio jaren 80 nog stevig in handen van de klassieke symbolische kennisrepresentatie, gold de declaratieve, logische programmeertaal PROLOG als de ‘lingua franca’ van de AI en lonkte het Vijfde Generatie Project van Japan. Dit alles leidde tot veel onderzoek en vooruitgang in de logica. Tal van modale logica's (epistemisch, deontisch, temporeel) werden ontwikkeld, niet-monotone logica's deden hun intrede, die tot ver in de jaren 90 invloedrijk bleven in weerwil van Cheesemans artikel. In feite was de symbolische, op logica, taal en semantiek georiënteerde AI ook veel meer salonfähig bij cognitieve psychologen, filosofen of mind en taalkundigen die het ideaal van Strong AI koesterden. Een theorie van de menselijke geest stond daarbij centraal, *high level cognitive functions* moesten worden gerepresenteerd, symboolmanipulatie gold als een voldoende en noodzakelijke voorwaarde voor intelligentie en redeneren. Een rijke logische taal vormde daarbij het fundament. Neurale netwerken waren uit den boze en meer in het algemeen speelde de subsymbolische AI, waartoe – terecht of niet- ook de probabilistische methoden werden gerekend, een tweede viool.

Dat alles was in feite al zo sinds de roemruchte Dartmouth-conferentie van 1956, die algemeen wordt beschouwd als het begin van AI als wetenschappelijke discipline. Hier muntte organisator John McCarthy de term Artificial Intelligence. Alan Newell en Herb Simon presenteerden er hun *Logical Theorist*, het eerst werkende AI-programma. Beiden zouden later de *General Problem Solver* ontwikkelen. Marvin Minsky, nota bene de ontwikkelaar van SNARC, het eerste neurale netwerk, dat de grondslag vormde voor zijn proefschrift uit 1954, bekeerde zich al snel tot de symbolische AI. Allen zouden uitgroeien tot

beogbeelden hiervan. Dat laatste geldt ook voor Patrick Hayes. Hij schreef in 1969 samen met McCarthy het invloedrijke *Philosophical Problems from the Point of View of AI*, stelde in 1979 het zogenaamde *Qualitative Physics Manifesto* op, deed fundamenteel onderzoek naar ontologieën en was rond de eeuwwisseling één van de grondleggers van het Semantisch Web. Diezelfde Patrick Hayes publiceerde in 1977 zijn fameuze *In Defence of Logic* en Cheesemans nadrukkelijke en veelzeggende allusie hieraan onderstreept de sterke antithese die hij beoogde.

L'Homme révolté en visionair

De wijze waarop Cheeseman Hayes op de korrel neemt geeft aan dat zijn artikel niet louter als een boude uitspraak of provocatie moet worden beschouwd, maar evengoed als een aanzet tot een bescheiden revolutie jegens het bastion van de symbolische AI. Subsymbolische methoden, die geen expliciete talige representaties koesterden en doorgaans minder nadrukkelijk mentalistische claims omarmden, werden tegen de achtergrond van de hooggestemde idealen van de symbolische AI nogal eens negatief geduid, soms genegeerd of volgens sommigen zelfs tegengewerkt. Historici en filosofen van kansrekening en statistiek komt deze *backlash* tegenover probabilistisch redeneren uiteraard niet onbekend voor. Wantrouwen en onbehagen bleken alomtegenwoordig in de evolutie van kansrekening en statistiek: in wetenschap, filosofie en *popular culture*. Beperken we ons in dit opzicht tot de AI ten tijde van Cheesemans artikel, dan moet hier een tweetal saillante voorbeelden volstaan. Het eerste betreft het revolutionaire ‘probabilistische werk’ van Claude Shannon, die wel in Dartmouth aanwezig was, maar geen actieve rol speelde. Dat werk betreft niet alleen zijn befaamde informatietheorie, maar ook zijn artikel ‘Programming a Computer for Playing Chess’, een fundamentele bijdrage op het gebied van computerschaak, die Shannon in 1950 had gepubliceerd in *Philosophical Magazine*. Het geldt thans als één van de ‘Federalist Papers’ van het ‘Empire of AI’. McCarthy en Hayes vermelden in hun voornoemde filosofische artikel uit 1969 beleefd de bijdrage van Shannon, maar negeren deze verder. Dat is opmerkelijk omdat Shannon hierin in grote lijnen reeds

het programma van de AI formuleert, zes jaar voor Dartmouth. Het tweede voorbeeld betreft de geschiedenis van neurale netwerken, die teruggaat tot het pionierswerk van McCulloch en Pitts uit 1943. In 1958 ontwikkelde Frank Rosenblatt op basis van hun werk zijn Perceptron, door hemzelf benoemd als een 'probabilistisch model'. In zijn eenvoudigste vorm is het een neuraal netwerk met een artificieel neuron, een *layer* van inputs en connecties/links die deze verbinden met een binaire output unit. Aan de links worden gewichten toegekend, deze worden vermenigvuldigd met de waarden van de inputs, waarna een gewogen som wordt berekend, die vergeleken wordt met een drempelwaarde. Wordt deze overschreden, dan wordt de output een 1 anders een 0. Door middel van *supervised learning* konden de gewichten automatisch worden aangepast, waardoor het systeem beter ging classificeren en dus leerde van nieuwe data.

Hoe dan ook, de jaren daarop ondervond Rosenblatt sterke weerstand van met name Minsky, die op allerlei manieren het Perceptron bestreed, alsmede de geestelijk vader ervan. In 1969 leidde dat tot het boek *Perceptrons; an introduction to computational geometry* geschreven door Minsky en Papert, waarin deze aantoonde dat het perceptron alleen lineair scheidbare data kon classificeren en onder meer de XOR niet aankon. Hun deels onbewezen beweringen dat de getoonde bezwaren evenzeer voor multi-layer netwerken en toekomstige netwerken zouden gelden, leidde tot de befaamde 'neurale winter'. Terrence J. Sejnowski spreekt met niet minder gevoel voor pathos in zijn recente *The Deep Learning Revolution* (2018) over *perceptrons eclipsed*. Het prille onderzoek naar neurale netwerken werd de das omgedaan, financiering ervan bleek vrijwel onmogelijk. Het verhaal behoort tot een van de meest beschreven episodes uit de geschiedenis van de informatica en AI. Dat Minsky niet de enige antagonist was wordt eveneens treffend geïllustreerd in Sejnowski's boek.

Tegen deze achtergrond moet Cheesemans artikel worden gezien. Zijn opstand miste zijn uitwerking niet. Sommigen beschouwden hem als een Partisan of Probability in AI, anderen als een Don Quichote, maar hij lijkt bovenal toch L'Homme révolté, die het debat over probabilistische methoden binnen de AI lange tijd heeft beïnvloed.

Toch kan *In Defense of Probability* tegelijkertijd in diverse opzichten visionair worden genoemd. De reeds vermelde probabilistische netwerken dienden zich zoals gezegd al spoedig aan. De subsymbolische AI nam een hoge vlucht en de neurale winter lijkt definitief voorbij. Deep Learning vormt in zekere zin de kroon op dit werk. Het zijn bovendien juist deze resultaten die huidige maatschappelijke debatten over risico's en kansen van AI beheersen. De roep om Responsible en Explainable AI wordt luider. De vele ethische bezwaren jegens de opake en onbegrepen, schijnbaar objectieve en waarde vrije deep learning algoritmen, die zonder menselijke tussenkomst de levens van velen beïnvloeden, illustreren het succes van de subsymbolische AI; geen tekentafelwerk of *toy-examples*, maar werkende systemen die de maatschappij ingrijpend kunnen veranderen. Ook Shannons informatietheorie als grondslag voor vele learning algoritmen, statistical learning, machine learning, computational intelligence en data mining, die het pad effenden voor de huidige data science, zijn allemaal probabilistisch. Ofschoon Cheeseman uiteraard niet de eerste was die een lans brak voor Bayesianisme, stelt hij nadrukkelijk dat het een *major aim* van de paper is *to put forward the older view*, te weten het werk van Bayes en Laplace. Pas de jaren daarna zou het Bayesianisme doorbreken, binnen de wiskundige statistiek, binnen de informatica/AI, maar ook in de wetenschapsfilosofie/kennisleer (confirmatietheorie), zij het op geheel verschillende wijzen.

Het feilbare denken

Uiteraard bleef Cheesemans positie niet onweersproken en enkele bezwaren zullen hier kort de revue passeren. Allereerst heeft de geschiedenis van de AI aangetoond dat zijn claim nuancerend mist. Het postuleren van kansrekening als noodzakelijke en voldoende voorwaarde voor redeneren in AI behelst een te rigide stellingname. Ook de symbolische AI heeft de decennia daarna grote vooruitgang geboekt en vandaag de dag lijken de stofwolken enigszins opgetrokken. Er is meer symbiose bespeurbaar, die ook tijdens grote AI-conferenties zichtbaar is. Een volledige synthese is misschien utopisch en in real-lifesytemen die er echt toe doen, kan men wellicht beter een

logic-probability tradeoff postuleren, waarin maximalisatie van de een ten koste van de ander onvermijdelijk tot een minder functionerend systeem leidt. Historisch past dit alles ook beter bij het oude ideaal van een *calculus ratiocinator* van Leibnitz in de 17e eeuw en vooral bij dat van George Boole, die 'de wetten van het denken' expliciet koppelde aan een taal waarin zowel logica als kansrekening verdisconteerd zijn.

Er zijn evenwel nog andere overwegingen. Cheeseman verwijst nota bene zelf naar een vroege studie van Pearl over causaal redeneren uit 1983 en het baanbrekende psychologische onderzoek van Tverski en Kahneman, zoals beschreven in *Judgement under Uncertainty: Heuristics and Biases* uit 1974. Dat causaal redeneren noch in de logische, noch in de probabilistische traditie in de jaren 80 en 90 veel aandacht kreeg is een veelzeggende constatering, die hier verder buiten beschouwing moet blijven. Relevanter nog zijn de talrijke psychologische studies die aantoonde dat de mens geen intuïtieve statisticus is. Dikwijls maakt hij onbetwistbaar fouten tegen de kansrekening, ook na jaren wetenschappelijke scholing, en die fouten en *bias* dienen uiteraard te worden vermeden of gecorrigeerd. Soms volgt hij echter de kansrekening niet, maar hanteert heuristieken en analogieën, die voor vele intelligente alledaagse taken juist zeer geschikt blijken, (evolutionair) succesvol zijn en dus relevant voor de AI. Het leverde Kahneman in 2002 de Nobelprijs voor Economie op en zijn wereldwijde bestseller *Thinking, Fast and Slow* uit 2011 werd door Peter van Huizen en Jonas de Vries treffend vertaald als *Ons feilbare denken*. Voor sommige filosofen leidde dat tot een afzweren van de kansrekening en haar vermeende tegen-intuïtieve karakter. Een meer nuchtere conclusie is dat de mens nu eenmaal geen natuurlijke 'kansrekenaar' is en dat een en ander dus aangeleerd moeten worden. Bij de vele pogingen die de afgelopen vijftig jaar in Nederland zijn ondernomen om het wiskundeonderwijs te hervormen staat de rol van kansrekening en statistiek stevast op de agenda. STA^tOR-columnist Henk Tijms brak in zijn recente *Kansrekening in Werking* (2018) onlangs opnieuw een lans voor kansrekening in het middelbaar onderwijs en eventueel nog eerder op de basisschool.

Hoe dan ook, omdat kansrekening nog nauwelijks is verankerd in het middelbaar onderwijs, ontstaat de situa-

tie dat velen aan een natuurwetenschappelijke opleiding of technische opleiding beginnen zonder basis op dit terrein. Dat is curieus aangezien deze disciplines vrijwel allemaal een probabilistische wending hebben ondergaan. Methoden, kernbegrippen en grondslagen ervan kunnen niet begrepen worden zonder kansrekening en statistiek. Zoals betoogd in (Starmans, 2018) geldt dat deels ook voor de samenleving en bijbehorende instituties, modellen van beleid, bestuur en organisatie, die geënt zijn op probabilistische principes om greep te krijgen op onzekerheid. A fortiori heeft dit gevolgen voor concepties die direct de morele ervaring betreffen of een sterke morele dimensie bezitten; verantwoordelijkheid, rechtvaardigheid, redelijkheid, betrouwbaarheid, vertrouwen, macht, democratie, zorgvuldigheid, veiligheid en risico. Deze blijken steeds minder in overeenstemming met de vertrouwde categorieën van denken en handelen, de individuele morele ervaring, de beproefde imperatieven voor ethiek en het daarmee verbonden morele houvast. Zeker in het licht van Kahnemanns inzichten en de huidige roep om Responsible en Explainable AI dient zich een fors spanningsveld aan.

In tijden van data science, big data en AI lijkt dit alles problematisch. Zonder kansrekening, geen statistiek; zonder statistiek geen data science. Dat lijkt een open deur bij uitstek, een gemeenplaats zonder weerga, maar de status quo maakt duidelijk dat Cheesemans opvatting nog steeds op actualiteit aanspraak kan maken en zijn soms wat krampachtige apologie niet aan belang heeft ingeboet.

LITERATUUR

- Cheeseman, P. (1985). In Defense of Probability. In *Proceedings of the Ninth International Joint Conference on Artificial Intelligence* (Volume 2, pp. 1002–1009). Los Angeles: IJCAI.
- Starmans, R.J.C.M. (2018). Een eigentijds Eutyphro-dilemma: over Deep Learning en de kolommen van orakeltaal. *Filosofie Tijdschrift*, 28(3).
- Tijms, H. (2018). *Kansrekening in werking; een moderne aanpak*. Amsterdam: Epsilon Uitgaven.

RICHARD STARMANS is verbonden aan de Faculteit Bèta-wetenschappen (Department of Information and Computing Sciences) van de Universiteit Utrecht. Hij doet onderzoek op het snijvlak van filosofie, statistiek en informatica. E-mail: starmans@cs.uu.nl