

## Geloofsbrieven

De stamboom van de moderne logica reikt tot de Klassieke Oudheid. De Griekse wijsgeer Aristoteles en de Stoicijnse School ontwierpen rond 300 voor Christus de eerste systematische theorieën van vaste redeneerpatronen in het menselijk denken. De Duitse wiskundigen Frege en Gödel brachten het vak voor WO II in zijn moderne gedaante, door een vruchtbare verbinding met het grondslagonderzoek van de wiskunde. In de daarop volgende Pax Americana is de logica een breed bloeiende discipline geworden in de USA en Europa. De laatste decennia zijn daarbij gekenmerkt door nieuwe uitdagingen vanuit de informatica en taalkunde. Zelf leef ik in het Amsterdamse Institute for Logic, Language and Computation, dat de pen voert van de KNAWse Landelijke Onderzoeksschool Logica. (Eigenlijk hadden de Stoicijnen al zo'n onderzoeksschool: ook dit concept is dus heel oud.) En om deze kroniek der voorvaderen te voltooien, ik bezet de leerstoel van Beth, de brede logicus en filosoof die ons vak in Nederland vestigde, naast het mysterieuze wiskundige genie Brouwer, wiens leerstoel thans wordt bezet door mijn collega proximus Troelstra.

## Fascinering

Redeneren is iets wat wij allen doen: plechtstatig in de wetenschap (testen, bewijzen), besluitvormend in de politiek, maar ook in de inrichting van ons dagelijks leven: zal ik nu wel of niet de rode das voor de Spinoza aantrekken? Dit vermogen is zo wijd verbreid dat we er nauwelijks bij stilstaan, net zoals taalgebruik, of ademen. Maar het is natuurlijk wezenlijk voor de mens. (Hoewel, de Grieken meenden dat ook honden logisch redeneren...) Wat mij tot de logica heeft geroepen is de fascinering van de ontdekking dat iets wat wij allen doen zonder erbij stil te staan, een vaste en bestudeerbare structuur heeft. Bovendien kon ik nooit kiezen in mijn studies. Logica heeft een alfa onderwerp: feitelijk redeneren levert minder harde evidentie dan fysisch meetbare bewegingen, maar blijkt toch exact te bestuderen met beta methoden. Ik heb dus van mijn gebrek mijn beroep gemaakt.

## Logica in een Notedop

Redeneringen beginnen in natuurlijke taal. "Als ik teveel opschrijf, wordt mijn lezing slecht. Als mijn lezing slecht wordt, beschaam ik NWO. Dus: als ik teveel opschrijf, dan beschaam ik NWO." U herkent een simpel patroon 1 'van  $A \rightarrow B$  en  $B \rightarrow C$  naar  $A \rightarrow C$ '. Er zijn vele logische patronen, die vele doelen dienen. "Als van Benthem de prijs krijgt, dan houdt hij eindelijk op met al die NWO aanvragen. Hij vraagt nog steeds aan. Dus: hij heeft de prijs niet gekregen." Deze weerlegging berust op het geldige patroon 2 'van  $A \rightarrow B$  en niet-B naar niet-A'. Ongeldig daarentegen is de populaire drogreden van een dokter tot zijn patiënt: 3 'van  $A \rightarrow B$  en niet-A naar: niet-B'. Men leze daartoe A als de bewering "U volgt mijn raad op", en B als "U wordt beter". Logica begon met het inzicht dat geldigheid en ongeldigheid wiskundig zijn te modelleren. Bijvoorbeeld, twee beweringen A, B spannen vier mogelijkheden op voor de wereld, nl.:  $\{AB, A-B, -AB, -A-B\}$ . Zolang we niets weten van de feitelijke situatie bestaat onze informatietoestand uit alle vier. Maar verdere gegevens kunnen deze onzekerheid inperken. Deze informatiegroei is als volgt te modelleren. Patroon 2 start met achtereenvolgende 'updates' met  $A \rightarrow B$ , hetgeen leidt tot toestand  $\{AB, -AB, -A-B\}$ , en dan met niet-B, hetgeen leidt tot  $\{-A-B\}$ , waarin we gemakkelijk niet-A kunnen

constateren. Ongeldigheid zien we in de berekening voor patroon 3. De eerste update is weer  $A \rightarrow B$ , maar de tweede met niet-A leidt tot toestand  $\{-AB, -A-B\}$  die de vermeende conclusie niet-B niet afdwingt. Overigens zijn er ook andere methoden, waaronder grafische (bijv. Venn diagrammen). Het praktisch belang van rekenmethoden voor geldigheid zal duidelijk zijn. Welke hoge ambtenaar zou geen Steen der Wijzen willen hebben om discussies te winnen? Deze droom heeft historisch geleid tot het ontwerp van logische machines, en van daaruit rechtstreeks tot de moderne informatica. Anderzijds heeft deze hoop ook geleid tot de diepe wiskundige inzichten in Gödel's Stellingen uit 1931, die onder meer zeggen dat er geen uniforme rekenmethode kan bestaan die alle vormen van geldig redeneren op voorhand beslist.

## Wetenschappelijke Buren

Sinds vele eeuwen zijn wijsbegeerte en wiskunde vrienden. Ook de taalkunde heeft veel met logica te maken. Redeneeranalyse start met grammaticale taalanalyse, en de vakken werken samen in computationele ontleding en taalverwerking. Dan is informatica voor de hand liggende partner: langs lijnen als rekenmodellen (Turing machines), programmeertalen, en redeneren met de informatie in data bases. Meer recent ontwikkelt zich de kunstmatige intelligentie als 'sterke arm' van de logica, die theorieën mechanizeert. Dit heeft geleid tot aandacht voor de diversiteit van onze redeneerstijlen. Bijvoorbeeld, de drogreden 3 'van  $A \rightarrow B$  en niet-A naar: niet-B' kan men verklaren als een computationeel begrijpelijke neiging alleen 'minimaal' te kijken naar aanwezige redenen voor B. Als A zich niet voordoet, dan nemen we vooralsnog maar aan dat B niet optreedt. Vooralsnog. Dit redeneren heeft namelijk de eigenschap dat het kan worden beïnvloed door verdere gegevens. Als er nog een mogelijke oorzaak genoemd wordt voor mijn beterschap (zeg, het ontvangen van Goed Nieuws), wordt de conclusie niet-B juist ingetrokken. Interessant is dat ook dit redeneren logisch te beschrijven is. De kunstmatige intelligentie behandelt overigens veel meer cognitieve processen dan redeneren, zoals leren en gissen. De logica gaat navenant mee naar een bredere wetenschap van informatiestructuren en -verwerking. Tenslotte kunnen we deze problematiek nog eens bezien vanuit de cognitieve psychologie, die feitelijk menselijk redeneergedrag empirisch registreert. (Zo heeft de beroemde Johnson-Laird test voor weerleggen van conditionals nogal wat logici verrast.) Ook daar ligt een, helaas momenteel nog verwaarloosd, nabuurschap voor de logica. Tussen Alfa Beta en Gamma Bekend is de kloof tussen de Two Cultures van 'alfa' en 'beta' - en 'gamma' bemiddelt daar niet tussen. Een enkele geleerde-annex-kunstkenner biedt hier geen soelaas. De logica verbindt echter qua aard en thematiek de hoofdgebieden der universiteit. Dit maakt het vak niet zozeer 'zachter' als wel subtieler dan de traditionele exacte wetenschappen. Evidentie over redeneren kan in de logische analyse veranderen, in tegenstelling tot 'objectief meten'. Deze combinatie is niet zonder zijn problemen. Reeds in de 16e eeuw wees de wiskundige en wijsgeer Pascal op het verschil in denkstijlen tussen 'esprit de géométrie' en 'esprit de finesse', zodra we de studie van de natuur verlaten.

## Logica in Beweging

Ik wees zojuist op het erfgoed van de traditie waarin ik werk. Dat erfgoed komt voort uit de grondslagen van de wiskunde, en een hang naar veiligheid van wetenschappelijke kennis. Zelf deel ik die bekommernissen niet meer. Het gaat mij

om dynamische processen. Ons menselijk fort is niet om altijd gelijk hebben (dat streven grenst aan krankzinnigheid), of een of ander logisch Deltaplan. Het schuilt veeleer in flexibiliteit en reparatie van fouten, waarin onze cognitieve vermogens excelleren. Dit perspectief past bij procesvisies in de informatica, en een bredere informatiewetenschap in statu nascendi. Welbeschouwd is het ook een natuurlijke voortzetting van Brouwer's constructivisme...

## **Cognitieve Dynamiek**

Dit thema laat zich preciezer uitwerken. In taal en cognitie, zien we vaak een samenspel tussen 'producten' en 'handelingen': "bewijs", "oordeel", "dans". Traditioneel heeft de logica zich gericht op producten ('kennis' als harde valuta op onze bankrekening, vergeleken bij meer speculatieve fondsen als 'geloof'). Even interessant zijn echter de cognitieve processen die deze bankrekening voeden: zoals kennisgroei via update, maar ook kennisrevisie door intrekken. Wiskundig valt dit te modelleren door veranderende informatietoestanden. Taalgebruik en redeneren kunnen we dan opvatten als een vorm van programmeren. Ik tracht bijvoorbeeld tijdens deze voordracht uw informatietoestand omte zetten van een begintoestand naar een eindtoestand die beter geïnformeerd is over de logica. Men kan dit in eerste benadering zien als bespelen van een willoos gehoor, maar in feite nemen wij gezamenlijk deel aan een complex proces met een collectieve informatietoestand. En ik sta hier real-time een cognitief probleem op te lossen vergelijkbaar met een fysisch meerlichamenvraagstuk. Dan zie ik nog af van geheel onbedoelde mogelijke computationele side effects (zoals het amuseren van de Nederlandse wetenschappelijke elite). Uitweiding. Dit alles is nog steeds een metafoor. Maar het valt heel concreet te maken. Denk aan de eerdere conditionele zinnen  $A \rightarrow B$ . In het echt zijn deze vaak driedelig, met een handeling  $p$ :  $A \rightarrow_p B$ : 'als bewering A geldt, dan levert uitvoeren van  $p$  een toestand waarin B geldt'. Voorbeelden zijn er te over in de informatica (programmacorrectheid), maar ook in ons dagelijks leven (denk aan planning van de boodschappen, 'onder geschikte condities'). Welnu, de logica kan zich evengoed bezig houden met dit soort dynamische redeneren. Beschouw daartoe de eerdere voorbeelden. Uit  $A \rightarrow B$  en  $B \rightarrow C$  volgde  $A \rightarrow C$ . Maar wat volgt in planning uit twee gegevens  $A \rightarrow_p B$  en  $B \rightarrow_q C$ ? Enig nadenken leert ons dat de juiste conclusie moet zijn  $A \rightarrow_{p;q} C$ , waarin sprake is van een gecombineerde handeling  $p;q$  (d.w.z.  $p$  gevolgd door  $q$ ). Evenzo volgde uit  $A \rightarrow B$  dat niet- $B \rightarrow$  niet- $A$ . Maar nu volgt uit gegeven  $A \rightarrow_p B$  conclusie niet- $B \rightarrow_{p^c}$  niet- $A$ , waarin  $p^c$  de omgekeerde handeling  $p$  is. Kennelijk zijn dit programmaconstructies van een algemene aard. Veel van mijn werk in de afgelopen jaren ging over de vraag wat nu natuurlijke logische operatoren zijn van dit soort. Overigens vindt aan mijn ILLC allerlei onderzoek plaats in dit dynamische paradigma, zowel in taalkunde, wiskunde als informatica. Ik vermeld dit omdat logisch onderzoek een teamsport is, en zelfs een Spinoza premiant zich soms voelt als Bergkamp zonder Ajax.

## **Mentaliteit**

Mijn jongste onderzoek leverde de boektitel "Exploring Logical Dynamics". Het landschap der logica is soms koud en nevelig (anders dan Plato zei, lijkt het Ideeënrijk meer op Nederland dan op Griekenland). Vaagheid heerst, maar soms zien we duidelijker contouren: paleizen, of griezelsloten. Dwaallichten flikkeren, de nevel verbergt zowel vrienden als vijanden en concurrenten... Waarom reis ik hier?

Gemengde motieven spelen: behoefte aan schoonheid, samenhangen begrijpen, puzzles oplossen (een verslavend spel!), inzichten gebruiken. Alleen interne agenda's zijn voor mij niet genoeg: externe motieven horen erbij. Voor de zege der westerse wetenschap is deze tweetakt ook de motor geweest. Interne fantasie alleen is soms veel armer dan de les van één extern verschijnsel (stoommachine, computer). Dit draagt ook mijn publiek functioneren. Het ILLC is een fundamenteel onderzoeksinstituut, dat zich moeilijk concreet laat demonstreren. Wij hebben geen rode reuzen, witte dwergen of zwarte gaten die tot de verbeelding van journalisten of TV-filmers spreken. Niettemin produceren wij ideeën en cultuurgoederen in wisselwerking met een brede omgeving, en leiden wij jonge mensen op die het human capital van Nederland beduidend verrijken. Alleen al dat laatste (los van welke intelligente telefoon of zelffrangerende trein ook) is een wezenlijke maatschappelijke bijdrage, want de rijkdom van een natie schuilt in zijn mensen. Wie dit te zweverig vindt, gelieve zich slechts te verdiepen in de succesformule van het contact tussen Stanford University en Silicon Valley...

### **Plannen met de Prijs**

Mijn eerste opwelling was de kans op een nieuw leven. Zoals U weet liggen ten zuiden van Miami de Florida Keys, een groep eilanden in ieder formaat. Ik wilde een logica-eiland kopen, en daar dan verder een retraite voor ons vak beheren. Maar is bij NWO de verbeelding wel aan de macht? (Ik bedoel niet het ambtelijke antwoord: "jawel, we hebben een logo".) Overigens ben ik ook best bereid mijn tropische eiland te bestieren met een NWO ooglapje, en rode UvA zakdoek om de gebronsde hals geknoopt... Helaas, 'wiser counsels prevailed' en ik mag u een klein politiek correct voorproefje geven. Uit het bovenstaande volgt dat ik graag de Nederlandse logica wil versterken in een aantal richtingen. Zeker valt er veel meer dynamische logica te onderzoeken, een spécialité van een internationaal opkomende Nederlandse School, en ik zal dat extra steunen. Dit thema zelf illustreert al een algemener doel, te weten de brugfunctie alfa-beta-gamma, die ik hoop uit te bouwen tussen de mammoetfaculteiten natuurwetenschappen, geesteswetenschappen en sociale wetenschappen die zich thans in Amsterdam aftekenen. Ik denk daarbij ook aan nieuwe contacten met psychologen en economen. Voorts is de mechanisering van de logica genoeg gevorderd om een echt computationeel laboratorium op te zetten, waar wij onze gedachtenspinsels kunnen beproeven in het felle licht der simulatie, als interne wetenschappelijke exploratie, maar ook als voorstadium naar praktische toepassingen. Extern denk ik ook aan vernieuwend onderzoek naar onderwijs, waarin de inzichten van de moderne logica kunnen dienen als kern voor een curriculum informatiewetenschap op middelbare scholen. Dit vergt passende leerboeken en nieuwe genres innovatieve software. Tenslotte denk ik aan 'sons of Spinoza': prijzen voor leerlingen, studenten en collega's die voor het bovenstaand programma goede ideeën hebben. Prijzen creëren natuurlijk vaak rolmodellen. Ik heb zelf ook zo'n behoefte, en hoop in de luwte van het bovenstaande tijd te vinden eens te kijken naar de voor mij meest fascinerende tijdgenoot van Spinoza, te weten de Nederlandse wiskundige, verzekeringseconoom en premier Johan de Witt.

### **Benedictus de Espinoza**

Een Stanfordse collega schreef me over de prijs: "Good that they chose logic! Baruch would have been pleased..." Was Spinoza een geestverwant? Inderdaad was hij de

filosoof die bij uitstek heeft gepoogd cognitieve aspecten van ons bestaan te vatten in de nieuwe natuurwetenschappelijke methode: "Ethica More Geometrico Demonstrata". Zonder bewijs citeer ik enkele stellingen, meest uit Spinoza's "Vertoog over de Zuivering des Verstands" (hetgeen ZWO zou aanspreken, en wellicht ook nog NWO). Tot ons genoegen zien we mijn geschetste cognitieve programma nauwkeurig voorspeld. I "De geest tracht zich zoveel mogelijk datgene voor te stellen, wat het vermogen tot handelen van het lichaam vermeerdert of bevordert." II "Wanneer de geest zichzelf in zijn vermogen tot handelen beschouwt, verblijdt hij zich, en dat te meer, naarmate hij zichzelf en zijn vermogen tot handelen te scherper onderscheiden voorstelt." Natuurlijk gaat het hier wel om een logische vreugde, waarvoor we eerst een definitie moeten raadplegen. III "Blijheid is 's mensen overgang van geringer tot groter volmaaktheid". Een kernstuk van Spinoza's werk is een wiskundige leer van de menselijke gemoedsaandoeningen, die tot uitkomsten leidt als deze. IV "De begeerte welke uit Blijheid voortspruit is, onder overigens gelijke omstandigheden, sterker dan de begeerte die uit Droefheid voortspruit." Men kan zich afvragen of dit nu het soort formalisering is wat de logica moet nastreven. Wordt hier niet gezondigd tegen het eerder genoemde inzicht van Spinoza's tijdgenoot Pascal, de spanning tussen 'esprit de géométrie' en 'esprit de finesse' voor de ethiek? De vraag is interessant, en niet onactueel. Ik meen zelf dat juridisch en ethisch redeneren een eigen logische structuur heeft, procedureel van aard, en even karakteristiek voor de westerse cultuur als de wiskundige bewijstrant. Het loont om zulke modellen te koesteren, als alternatief naast mijn programmeer paradigma. Morele cognitie heeft ook iets van 'pleiten voor het tribunaal van het geweten'. Maar hoe men Spinoza's verdiensten ook taxeert (de premie zal wel vernoemd zijn om zijn politiek aantrekkelijke kanten), kijken door zijn bril heeft althans troostrijke effecten. Ik citeer Goethe, die het volgende schreef, toen hij weer eens Spinoza ter hand nam na een periode van Leidenshaft. "Dezelfde atmosfeer van vrede woei mij weer aan. Ik gaf mij geheel over aan de lectuur, en dacht, terwijl ik in mijn eigen binnenste keek, nooit zo duidelijk de wereld te hebben gezien."

Dames en heren, ik ben aan vele hier aanwezigen op velerlei wijzen dank verschuldigd. Laat volstaan dat dit mij helder voor ogen staat, zowel in het algemeen, als in het bijzonder.