

Jan Willem Klop

Afdeling Informatica

Vrije Universiteit Amsterdam

j.w.klop@vu.nl

In Memoriam Nicolaas Govert de Bruijn (1918–2012)

Wiskundige, informaticus, logicus

Op 17 februari 2012 overleed Nicolaas Govert (Dick) de Bruijn in zijn woonplaats Nuenen op de leeftijd van 93 jaar. Hij was een veelzijdig en productief onderzoeker, die wereldwijd gerespecteerd werd om zijn baanbrekend werk op diverse gebieden. Onze gemeenschap verloor in hem een vooraanstaand wiskundige, informaticus en logicus. In dit nummer blikken we in een aantal artikelen terug op zijn leven en werk. Als eerste een algemene herinnering van Jan Willem Klop, emeritus hoogleraar toegepaste logica aan de Vrije Universiteit. Daarna gaan Guido Janssen, Pieter Moree, Nico Temme, Ton Kloks en Rob Tijdeman, Roel de Vrijer, en Henk Barendregt in op specifieke onderwerpen waaraan De Bruijn belangrijke bijdragen geleverd heeft.

Dick de Bruijn werd in Den Haag geboren op 9 juli 1918, in een gezin met acht kinderen, Dick inclusief. Hij bezocht van 1930 tot 1934 de hbs; in vier jaar voltooide hij deze vijfjarige opleiding. Het maatschappelijk klimaat was grimmig in deze jaren van depressie. Banen waren schaars, studiebeurzen bestonden nog niet, renteloze voorschotten waren er wel. Maar het vooruitzicht van schulden was niet aantrekkelijk. Het leidde de jonge De Bruijn tot zelfstandigheid en zelfstudie. Een gelukkig toeval was dat er thuis wiskundeboeken van zijn broer rondzweven. Dick werd door de inhoud gefascineerd en bekwamde zich in de wiskunde door de mo-aktes K1 en K5 te behalen (dit was een niet ongebruikelijke route; ook de eminente wiskundigen Hendrik Kloosterman, David van Dantzig en Bartel van der Waerden behaalden deze diploma's). Een van de boeken die hem inspireerden was geschreven door Fred Schuh, hoogleraar aan de Technische Hogeschool Delft. De Bruijn vertelde dat hij de diverse bewijzen eerst zelf vond, en pas daarna deze vergeleek met die in het boek.

In zijn jonge jaren was De Bruijn verlegen van aard, zoals hij in zijn terugblik bij zijn negentigste verjaardag vertelde (zie www.win.tue.nl/debruijn90/video/debruijn.html.) Hij voegde eraan toe dat dat eigenlijk altijd zo gebleven is, naar zijn beleving. Zijn geheugen was ook niet geweldig, vond hij, en ter compensatie leerde hij associatief te denken. Dit mentale mechanisme bleef hem kennelijk zijn

hele leven bezig houden; na zijn emeritaat ontwikkelde hij een cognitieve theorie van het brein, vormgegeven door een model voor associatief geheugen. Henk Barendregt geeft in zijn artikel 'Het bewustzijnsmodel' in dit nummer een uiteenzetting van De Bruijns ideeën hierover.

Loopbaan in vogelvlucht

Op achttienjarige leeftijd, in 1936, mede dank zij de mo-diploma's, verwierf Dick toch een studiebeurs, en begon hij met de wiskundestudie in Leiden. Hier werd hij zeer geïnspireerd door de jonge lector Hendrik Kloosterman, die colleges over topologie, groepentheorie en getaltheorie vanaf de grond opbouwde, een aanpak die Dick de Bruijn uit het hart gegrepen was. Kloosterman en De Bruijn vonden elkaar in een voorliefde voor een zeer precieze formulering en presentatie, recht op het doel af en zonder overtoeligheden. In deze periode was De Bruijn assistent aan de Technische Hogeschool in Delft, van september 1939 tot juni 1944. Zijn onderzoek verrichtte hij onder supervisie van Kloosterman. Maar door de belemmeringen van de oorlog was het niet mogelijk de doctorsgraad in Leiden te behalen, en zo vond de officiële verdediging van zijn proefschrift plaats aan de Vrije Universiteit in Amsterdam, 26 maart 1943 met Jurjen Koksmas als promotor. Zijn proefschrift was getiteld *Over modulaire vormen van meer veranderlijken*. Hij promoveerde cum laude.

Met de promotie achter de rug trouwde Dick de Bruijn met Elizabeth (Bep) de Groot. Zij kregen vier kinderen.

De jonge doctor begon zijn loopbaan als onderzoeker aan het Natuurkundig Laboratorium (NatLab) van Philips in Waalre bij Eindhoven, van 1944 tot 1946, daartoe door hoogleraar Balthasar van der Pol gerekruteerd. De Bruijn floreerde in deze omgeving en genoot van het contact met de vertegenwoordigers van uiteenlopende disciplines, natuurkundigen en technici, voor wie hij een diep respect opbouwde.

De volgende stap in zijn loopbaan was zijn benoeming tot hoogleraar wiskunde aan de Technische Hogeschool Delft van oktober 1946 tot september 1952, vervolgens aan de Universiteit van Amsterdam (UvA) van september 1952 tot september 1960, waar hij Evert Willem Beth en Arend Heyting als collega's had. In deze periode werd De Bruijn benoemd tot Akademielid. Men zou kunnen denken dat de aanwezigheid van leidende logici als Beth en Heyting aan de UvA hem in de richting van grondslagenonderzoek gedreven zou kunnen hebben, maar dat gebeurde niet en uit deze periode stamt



Dick de Bruijn, achttien jaar, studierend voor de akte K5



veel van zijn beste wiskundige werk, onder andere zijn boek uit 1958, *Asymptotic Methods in Analysis*. Nico Temme geeft in zijn artikel 'Asymptotiek' in dit nummer een uitvoerige behandeling van dit 'magnum opus'.

Ondanks de eminente status van de wiskunde aan de UvA verkoos hij toch zijn loopbaan te vervolgen in Eindhoven aan de toenmalige Technische Hogeschool, daartoe overgehaald door Jaap Seidel (1919–2001), vriend en vroegere medestudent in Leiden. Seidel had een nieuwe afdeling Wiskunde in Eindhoven opgezet, en de uitdaging om mee te werken aan deze jonge onderneming sprak De Bruijn zeer aan, ook door de vrijheid in de keuze van onderwerpen die deze nieuwe omgeving mogelijk maakte. Deze afdeling Wiskunde nam gestaag toe in prominentie. Zo waren in 1972 vier van de tien leden van de Sectie Wiskunde van de KNAW afkomstig uit de Eindhovense afdeling Wiskunde; de andere drie, naast De Bruijn, waren C.J. (Chris) Bouwkamp, E.W. (Edsger) Dijkstra en J.H. (Jack) H. van Lint. De Bruijn bleef tot zijn emeritaat in 1984

verbonden aan de Technische Hogeschool Eindhoven, nu Technische Universiteit Eindhoven genaamd. Vanaf 1960 tot zijn emeritaat was hij tevens adviseur van het NatLab van Philips.

De Bruijn vertelde later dat de overstap hem altijd uitstekend is bevallen. Een van zijn redenen voor de carrièrewending was zijn verwachting dat wiskunde een belangrijke rol zou gaan spelen in de industrie. In de jaren zeventig werd hij door de Amerikaanse universiteit Caltech gepolst voor een hooglerschap in de Verenigde Staten, maar De Bruijn koos definitief voor Eindhoven.

Ook na zijn emeritaat bleef hij actief, tot op late leeftijd, en in 2008 werd er ter ere van zijn negentigste verjaardag nog een symposium georganiseerd aan de TU/e, waarbij zijn bijdragen aan de wiskunde en informatica werden belicht en gevierd (zie www.win.tue.nl/debruijn90).

Werkwijze

De Bruijn was een productief onderzoeker.

Zijn eerste artikel verscheen in 1937. In zijn terugblikkende voordracht op zijn verjaardagssymposium in 2008 vertelde De Bruijn met enige trots dat ook achteraf gezien deze eersteling niet eens zo'n slecht artikel was. Maart 2004 telde de lijst van zijn publicaties 196 tijdschriftpublicaties en ongeveer 120 technische (interne) rapporten. Verder waren er bijdragen aan diverse boeken en is er zijn reeds genoemde bekende boek uit 1958, *Asymptotic Methods in Analysis*, dat vaak herdrukt is, het laatst in 1981 door uitgeverij Dover.

Naar eigen zeggen voelde hij zich nooit een 'geleerde'. Opgroeiend in het grote gezin met acht kinderen leerde hij al vroeg zelfstandig te zijn en te denken. Veel van zijn wetenschappelijke vorming was autodidactisch. Hij las niet veel wetenschappelijke literatuur, mede door zijn zo gevoelde beperkte geheugen capaciteit. In zijn eigen beleving ervoer hij zichzelf, althans in zijn jongere jaren, als in sociaal opzicht niet sterk. Maar hij was ook begiftigd met een nieuwsgierige, speelse, zelf-

standige attitude, geneigd om dingen voor zichzelf uit te denken vanaf de eerste principes. Zijn beleving van aanvankelijke verlegenheid en sociale beperktheid contrasteert opmerkelijk met de diepe erkentelijkheid en genegenheid die diverse prominente wetenschappers over de hele wereld voor hem voelden, beschreven in hun felicitatiebrieven aan de negentigjarige in het brievenboek dat hem werd aangeboden ter ere van zijn verjaardag in 2008. Hij was een invloedrijk mentor in hun leven en loopbaan, zo getuigden zij. Deze brievenbundel is beschikbaar op eerdergenoemde URL.

In zijn eigen ogen was De Bruijn geen bouwer van grote, weldoordachte wiskundige bouwwerken die voortbouwen op het werk van anderen. Veeleer liet hij zich leiden door zijn speelsheid, en vaak ook door het toeval.

De Bruijn was ook niet de stichter van een omvangrijke school. Hij had elf leerlingen die bij hem gepromoveerd zijn. Toch onderhield hij vele contacten, wereldwijd, onder meer door verscheidene gasthooglerschappen. In de zomer van 1959 was hij Gauss-hoogleraar in Göttingen, in de zomer van 1965 gasthoogleraar aan de Universiteit van Parijs in Orsay, in de lente van 1973 was hij Sherman Fairchild Distinguished Scholar aan het California Institute of Technology in Pasadena, en in April 1984 gasthoogleraar aan de Universiteit van Tel Aviv.

Gebieden

Dick de Bruijn drukte zijn stempel op verschillende gebieden in de wiskunde, logica en in-

formatica. Zijn bijdragen lagen voornamelijk in de volgende gebieden; de lijst is niet uitputtend, maar demonstreert op indrukwekkende wijze hoe breed het spectrum van zijn belangstelling was.

- *Klassieke analyse*: complexe functietheorie, asymptotiek, Fouriertheorie (De Bruijn–Newman-constante), Wigner-distributies.
- *Functionaalanalyse*: gegeneraliseerde functies.
- *Getaltheorie*: \mathbb{R} zonder \mathbb{Q} , analytische getaltheorie, complementaire verzamelingen in abelse groepen.
- *Discrete wiskunde*: De Bruijn-sequences, partitieproblemen, Pölya-theorie, De Bruijn–Erdős-stelling, niet-periodieke vlakvullingen, quasikristallen.
- *Proof checking en wiskundige talen*: Automath, Wiskundige Omgangstaal.
- *Logica*: propositielogica, getypeerde lambda-calculus, propositions-as-types, De Bruijn-indices, termherschrijfsystemen (confluentie criterium via decreasing diagrams).
- *Theorie van het brein*: model voor associatief geheugen.

De belangrijkste onderwerpen uit dit scala worden belicht door een serie artikelen in dit nummer, respectievelijk geschreven door Guido Janssen, 'Wiskundige tijd-frequentieanalyse'; Pieter Moree, 'De zeeftheorie'; Nico Temme, 'Asymptotiek'; Ton Kloks en Rob Tijdeman, 'Complementariteit'; Roel de Vrijer, 'Wiskunde als taal: het Automath-project'; Henk Barendregt, 'Het bewustzijns-model'.

Automath

De Bruijn vond zelf dat hij geen grote bouwwerken tot stand had gebracht. Hierin zal niemand hem tegenwoordig gelijk geven: hij bracht een groots bouwwerk tot stand, waarin wiskunde, logica, taal en informatica samen komen, het Automath-project. We belichten het kort, vooruitlopend op de meer gedetailleerde introductie en beschrijving in het eerder genoemde artikel van Roel de Vrijer in dit nummer.

In 1968 begon De Bruijn met dit baanbrekende Automath-project, aanvankelijk bedoeld voor de verificatie van wiskundige teksten. Een mijlpaal was het correct bewijzen van een boek van Edmund Landau over analyse; er zat slechts één enkele (onschuldige) fout in het hele boek. Later bleek Automath een veel meer omvattend toepassingsgebied te hebben. Met het Automath-project was De Bruijn minstens een decennium voorop de internationale ontwikkelingen. Dat zorgde voor een initieel gebrek aan waardering, dat later plaats maakte voor wereldwijde erkenning van zijn pioniersrol. Zijn diepe inzicht was getypeerde lambda-calculi te gebruiken als fundament voor automatische verificatiesystemen. In de informatica kan hij daarom beschouwd worden als de grondlegger van de toegepaste typetheorie. Automath heeft ook geleid tot de mogelijkheid te garanderen dat hardware en software voldoen aan hun specificatie, van groot belang voor beveiliging van complexe systemen, van mobiele telefoons tot medische apparatuur.

Het Automath-raamwerk, een familie van talen, was zijn tijd ver vooruit en introduceerde veel begrippen die later herontdekt werden, zoals verschillende getypeerde lambda-calculi, calculi voor 'expliciete substitutie', 'dependent types' en nog veel meer. Automath was ook het eerste systeem dat een toepassing vormde van het fameuze Curry–Howard-isomorfisme, door De Bruijn onafhankelijk gevonden en geformuleerd, en tegenwoordig ook vaak Curry–Howard–De Bruijn-isomorfisme of correspondentie genoemd.

Dick de Bruijn had uitgesproken ideeën over formalisering van wiskunde versus een intuïtieve benadering. Zelf verwoordde hij zijn credo het beste:

"Apart from the computer's qualities in precision and in speed, it has its influence in forcing us into an absolutely rigorous form of formalization. If we are unable to leave something to a computer, then it has not yet been sufficiently formalized. What one is forced to learn anyway is to draw a strict borderline be-



Oratie aan de Universiteit van Amsterdam

tween language and metalanguage. Mixing language and metalanguage is a well known source of errors and paradoxes. The language is the only thing the verification system checks, the metalanguage helps us to understand what we are doing. Many mathematicians dislike pushing formalization to the extreme. The idea is that it kills intuitive thinking. I do not entirely agree. It may be true that unnatural formalization replaces intuitive thinking by an entirely different process of formula manipulation, but natural formalization supports intuition rather than destroying it. Formalization and intuition should be each other's best friends rather than enemies. But part of what we call intuitive thinking is not of the kind that can be refined to proofs. That part cannot be formalized. Our brain processes are not based on logic or any other foundation of mathematics, and nevertheless they produce wonderful things. But all mathematicians agree that the results of intuitive thinking have to be justified by rigorous reasoning, even though there may be different opinions about the level of formality."

In zijn terugblik op het verjaardagssymposium in 2008 vertelt Dick de Bruijn hoe hij na het bereiken van de essentiële inzichten die aan Automath ten grondslag liggen, een intens geluksgevoel ervoer bij de ervaring van de zuiverheid van de wiskunde, niet stoelend op een filosofische overtuiging a priori.

De artikelen en rapporten die geproduceerd werden in het Automath-project zijn te vinden op www.win.tue.nl/automath.

Naast het werk

De speelse natuur van Dick de Bruijn uitte zich ook in zijn hoedanigheid als amateurgoochelaar, vooral met kaartspelen, waarin hij speelsheid combineerde met een wiskundige blik. In de eerdergenoemde brievenbundel uit 2008 verhaalt Gérard Huet van het Franse Institut National de Recherche et Informatique et en Automatique (INRIA) en lid van de Académie des Sciences over De Bruijns analyse van de *riffle shuffle trick*, gebaseerd op een niet-triviale eigenschap van rijen bestaande uit nullen en enen. Het formele bewijs in Huets proof checker Coq was een flinke uitdaging. De combinatorische eigenschap die eraan ten grondslag ligt, bleek relevant voor de toepassingen in de kristallografie in verband met de quasikristallen, die De Bruijn invoerde als wiskundig begrip, voortbouwend op de ontdekking van Roger Penrose (met latere toevoegingen van John Conway) van niet-periodieke vlakvullingen. Later zijn deze quasikristallen met hun voor onmogelijk gehou-



Dick en Bep de Bruijn in de Dolomieten, 1983

den vijfvoudige symmetrie ook in de natuur aangetroffen, waarvoor Daniel Shechtman in 2011 de Nobelprijs ontving. Nog in 2006 was De Bruijn bezig met dit thema, in een generalisatie naar wat hij noemde Gilbreath-rijen. En Huet vervolgt zijn brief met het uiten van zijn bewondering: "This interweaving between recreational activities, mathematical abstractions, and applications to physics and other sciences is the mark of a great mind, curious about interrelations between the real world and the world of mathematics."

De Bruijn analyseerde ook diverse spellen zoals Solitaire. Hij hield van woordspelingen, waar taal en speelsheid elkaar raken. Een conferentie bezoeken in het gezelschap van Dick de Bruijn was een genoegen. In zijn gezelschap verbaasde en amuseerde hij altijd door een niet aflatende reeks van scherpzinnige observaties en vragen over de wereld van alledag. Dat kon van alles zijn, een analyse van de opeenvolgende beeldomkeringen in een overheadprojector, het gemiddeld aantal dubbele symbolen in een autokentekenplaat, alles wekte zijn verwondering en bracht hem tot vragen die hij scherpzinnig te lijf ging. En oploste.

Dick de Bruijn heeft bij iedereen die met hem leefde en werkte een onuitwisbare indruk achter gelaten. Ook de afgelopen jaren, zelfs na Dicks negentigste verjaardag, was hij een trouw bezoeker van de maandelijkse vergaderingen van de Afdeling Natuurkunde van de KNAW. Jaap Korevaar, lid van de Sectie Wiskunde en vriend van Dick de Bruijn, geeft in zijn brief aan De Bruijn in de brievenbundel van 2008 een treffend beeld van hun gedeel-

de onderzoekservaringen in de Delftse en Amsterdamse periode.

Eerbewijzen

Dick de Bruijn ontving diverse eerbewijzen. Zoals gezegd werd hij in 1957 lid van de KNAW. In 1970 in Nice was hij hoofdspreker op het prestigieuze International Congress of Mathematicians. In 1981 werd hij Ridder in de Orde van de Nederlandse Leeuw. Hij ontving de Snellius-medaille 1985 die eens per negen jaar wordt toegekend. In 1988 werd hij erelid van het Wiskundig Genootschap. Hij ontving de AKZO-prijs in 1991, en een Lifetime Achievement Award in 2003 van de Nederlandse Vereniging voor Theoretische Informatica (NVTI). Op zijn negentigste verjaardag in 2008 werd hij benoemd tot erelid van de Vereniging voor Logica (VvL).

In de Sectie Wiskunde van de KNAW waarvan Dick de Bruijn zo lang enthousiast deel uitmaakte, wordt een aparte uitgave voorbereid van *Indagationes Mathematicae* waarin zijn werk in volle breedte besproken zal worden, te verschijnen eind 2013.

Dankbetuiging

In het bovenstaande is met dank gebruik gemaakt van bronnen samengesteld of geschreven door Jos Baeten, Francien Dechesne, Jan de Graaf, Rob Nederpelt, Henk Barendregt, en Jaap Korevaar. Met dank ook aan Rob Nederpelt, Rob Tijdeman en Henk van der Vorst voor diverse correcties. Een kortere versie verscheen in de bundel *Levensberichten 2012* van de KNAW, uitgegeven in november 2012 door Amsterdam University Press, gecorrigeerd en geredigeerd door Rob Wadman, waarvoor eveneens dank. Ten slotte wil ik Frans de Bruijn, zoon van Dick, bedanken voor het aanleveren van de foto's. ←