

De AERA. Gedroomde machines en de praktijk van het rekenwerk aan het Mathematisch Centrum te Amsterdam

GERARD ALBERTS* EN HUUB T. DE BEER**

Gedroomde machines werken net zo goed als de werkelijk gebouwde. Voor hun realisatie zijn ze niet onderhevig aan storingen en ze sturen minstens even goed de richting van ontwikkeling. De Rekenafdeling van het Mathematisch Centrum koesterde de droom grote rekenmachines te bouwen. Dat paste bij het in 1946 te Amsterdam opgerichte Centrum en zijn ambities om nationaal en internationaal een vooraanstaande positie te verwerven in wiskundig onderzoek. De gebouwde rekenautomaten bleven beperkt in vergelijking met de gedroomde, maar deze ambities stelden de rekenaars wel in staat na te denken over rekenen en computergebruik alsof de beperkingen er niet waren. Die denkvrijheid gaf een voorsprong in de ontwikkeling van het programmeren. Een enkele maal hadden de gedroomde machines een naam, zoals de *Automatische Electronische Rekenmachine Amsterdam* (AERA). Daarom kan deze rekenmachine symbool staan voor machinebouw en rekenpraktijk aan het Mathematisch Centrum.

De Rekenafdeling van het Mathematisch Centrum bouwde en gebruikte in de beginperiode van haar bestaan enkele grote rekenautomaten. We onderzoeken in dit artikel het gebruik van deze machines en meer in het bijzonder de ontwikkeling in het denken over programmeren. Over de machines is herhaaldelijk geschreven.¹ We voegen met dit onderzoek enige details daaraan toe. Nieuw is dat we niet de machines maar de praktijk van het werk op de Rekenafdeling als invalshoek nemen. We beschrijven ook de machines, maar primair als zinvolle middelen voor het rekenwerk. Zo komt eerder het machinepark van elektromechanische rekenmachines en boekhoudmachines in beeld dan de 'grote rekenautomaten'. Natuurlijk spraken de automaten wel degelijk tot de verbeelding; dat was ook hun functie. De sobere conclusie is dat de rekenautomaten eerst in de loop van de jaren vijftig echt praktisch gebruikt werden. Ook de wel gebouwde machines waren deels droommachines, het Mathematisch Centrum blufte zich het computertijdperk binnen. Rekenwerk en gebruik van rekenautomaten convergeerden pas laat. De opwindende conclusie is dat de programmeurs, doordat zij zo lang mochten blijven dromen,

* Instituut voor Informatica, Universiteit van Amsterdam. E-mail: G.Alberts@uva.nl

** Eindhoven. E-mail: H.T.de.Beer@gmail.com

¹ P.J. van Donselaar, 'De ontwikkeling van elektronische rekenmachines in Nederland; een historisch overzicht van Nederlandse computers', *Rapport Stichting Studiecencentrum voor Administratieve Automatisering en Bestuurlijke Informatieverwerking* (Amsterdam [Juli] 1967); Eda Kranakis, 'Early Computers in The Netherlands', *CWI Quarterly* 1:4 (december 1988) 61-84; G. Alberts, F. van der Blij, J. Nuis (red.), *Zij mogen uiteraard daarbij de zuivere wiskunde niet verwaarloozen* (Amsterdam 1987); Jan van den Ende, *The Turn of the Tide. Computerization in Dutch Society, 1900-1965* (Delft 1994); Gerard Alberts, 'Een halve eeuw computers in Nederland: 1. Een willekeurig getal' *Nieuwe Wiskrant* 22-1 (2002) 6-8; Idem, 'Een halve eeuw computers in Nederland: 2. Het geluid van rekentuig' *Nieuwe Wiskrant* 22-3 (2003) 17-23.

op hoog niveau aan het werk gingen met deze rekenautomaten. Het Mathematisch Centrum was vroeg met software.

1. Inleiding

Wiskundigen hadden op 11 februari 1946 het Mathematisch Centrum opgericht om stelselmatig wiskundig onderzoek te kunnen doen, georganiseerd op nationale schaal en met de ambitie van internationale uitstraling. Het motief van dienstbaarheid verschafte een extra legitimatie en dit werd ook serieus uitgewerkt in twee service-afdelingen, de ‘Statistische Afdeling’ en de ‘Rekenafdeling’. Tot 1960 voerden beide afdelingen een lange reeks opdrachten voor derden uit, maar dat was niet hun enige activiteit.²

Met de benoeming van Adriaan (‘Aad’) van Wijngaarden op 1 januari 1947 was de basis gelegd voor de Rekenafdeling. Hij kon al rekenen en had de bijzondere ontwikkeling op het terrein van rekenapparatuur al onder ogen gezien.³ Zijn agenda omvatte van meet af aan meer dan dienstverlening. Hij claimde ruimte voor een eigen wetenschappelijke ontwikkeling, naast het geavanceerd technisch-wetenschappelijke rekenwerk in opdracht, ruimte zowel in de richting van de wiskunde van het rekenen als in de richting van de bouw van machines. Van Wijngaardens eerste activiteiten waren twee lange oriëntatierizen naar Engeland en de Verenigde Staten om zich op de hoogte te stellen van de nieuwe ontwikkelingen op het terrein van rekenmachines. In de zomer van 1947, haastig tussen de twee reizen door, wierf hij twee natuurkundestudenten, Bram Loopstra en Carel Scholten, om te beginnen met de constructie van machines. Na zijn terugkeer uit de Verenigde Staten pakte hij de zaken geduldiger aan. Hij instrueerde de machineontwikkelaars om het concept van een analoge machine te laten vallen en zich geheel te concentreren op het ontwerp van een digitale machine, een relaisrekenmachine.⁴ Hij stelde een aantal rekenaars en rekenaarsters aan voor het dienstverlenende werk en op 1 december 1947 werd de Rekenafdeling formeel opgericht.

Eerst met een meer stelselmatige aanpak, vanaf de zomer van 1948, groeide een nieuw en hecht team van rekenaars, mannen die het voorbereidende werk deden, het ontwerp van rekenformulieren, en rekenaarsters, vrouwen die op elektrische tafelrekenmachines het uitvoerende werk verrichtten. Tot ver in de jaren vijftig werd het grootste deel van de rekenopdrachten op deze wijze uitgevoerd, door ‘de meisjes van Van Wijngaarden’ op Marchant-, Friden- en Monroe-tafelrekenmachines en niet door automatische rekenmachines. De mannen die het rekenwerk voorbereidden en uitprobeerden, hanteerden de lichtere Facit-rekenmachines.

De opbouw van dit artikel volgt afwisselend de praktijk van het rekenwerk en die van de machinebouw, welke zich aanvankelijk gescheiden ontwikkelden. Beide komen samen in paragrafen over de groei van het computergebruik voor het rekenen en de vroege ontwikkeling van software.

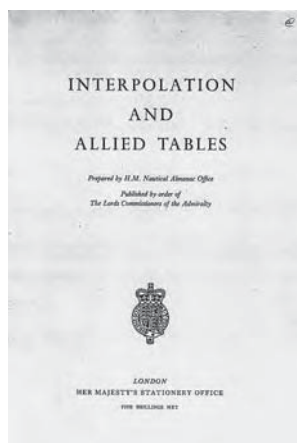
2. De praktijk van de numerieke analyse

Opdrachten nam de Rekenafdeling selectief aan, vooral uit de sfeer van geavanceerde technische wetenschap. De aanpak was die van de numerieke analyse. Kenmerkend voor deze aanpak was een overleg tussen opdrachtgever en rekenaar over een geschikt model

² Gerard Alberts, *Jaren van berekening. Toepassingsgerichte initiatieven in de Nederlandse wiskunde-beoefening 1945-1960* (Amsterdam 1998).

³ Gerard Alberts, ‘De geboorte van de informatica in Londen’, *Informatie* 48-1 (januari 2006) 53-57.

⁴ Kranakis (n.1) 62-63; *Jaarverslag Mathematisch Centrum* [hierna aan te halen als *JMC*] (1947) 10.



Interpolation and allied tables was de praktische handleiding voor de rekenaarsters, de 'meisjes van Van Wijngaarden'. Het Aadjie, @, in de rechterbovenhoek is het ex-libris van Aad van Wijngaarden.

voor het bestudeerde verschijnsel, het zoeken van een rekenschema daarbij en het voorbereiden van het uiteindelijke rekenwerk. Het eerste, modelleren, was overleg aan de hand van de literatuur en onderzoek; het tweede, de rekenschema's, zocht men in de tabellenboeken en handboeken. Een goede rekenaar (en Van Wijngaarden wilde alleen maar goede rekenaars) stelde ook zelf nieuwe rekenschema's op en probeerde die uit met de Facit-rekenmachine. Dan bracht hij dit schema op papier, op een dubbelfolio rekenvel en droeg het routinewerk over aan de rekenaarsters. De mannen gebruikten voor hun werk tabellenboeken, kleine rekenmachines en papier. Hun werk heette wel het 'uittrekken van berekeningen'. Douglas Hartree, de Engelsman die *het* handboek voor dit werk had geschreven en de wereld over ging om te vertellen dat het vak *Numerical Analysis* heette, sprak in dit verband van 'arrangement of work'. De vrouwen kregen het routinewerk overgedragen en vulden dan diezelfde dubbelfolio vellen in. Zij gebruikten grote elektrische rekenmachines met een 10x10 toetsenbord en het beknopte instructieboekje *Interpolation and Allied Tables* van het Britse Nautical Almanac Office.⁵ De rekenmachines drukten niet af. De resultaten werden afgelezen van de machine en met de hand genoteerd. De rekenvellen waren speciaal voor dit doel gedrukt, met briefhoofd van de Rekenafdeling van het Mathematisch Centrum.

Rekenopdrachten verliepen in stadia van modelleren tot formulieren ingevuld met rekenwerk. De Rekenafdeling was er dus niet voor standaardvraagstukken waarvoor de rekenschema's bekend waren, maar voor de bijzondere en geavanceerde gevallen waaraan iets te modelleren viel en rekenschema's te ontwikkelen. Deze selectiviteit weerspiegelde het ambitieniveau van het Mathematisch Centrum. Ambitieuus was Van Wijngaarden ook in het opbouwen van zijn team. De hiërarchie tussen rekenaars en rekenaarsters was duidelijk. De mannen, bij voorkeur gymnasiasten, hadden een universitaire opleiding of volgden die nog. De vrouwen kwamen rechtstreeks van de HBS (Hogere Burger School). Binnen deze verdeling leidde Van Wijngaarden zijn rekenaarsters in de loop van de tijd op tot inzicht in het rekenwerk en tot grote zelfstandigheid in het opzetten van berekeningen. Haar 'meisjes van Van Wijngaarden' te noemen was een blijk van wederzijdse trots. Zo

⁵ D.A. Hartree, *Numerical Analysis* (London 1947); *Interpolation and Allied Tables* (London 1934).

zag de praktijk van het rekenwerk er de eerste tien jaar uit, volgens een duidelijke taakverdeling en in de stijl van *numerical analysis*. Nieuwe machines werden ingevoegd, maar het overkoepelend patroon bleef hetzelfde.

De Rekenafdeling bestond in de eerste jaren uit een chef, rekenaars en rekenaarsters; twee mensen die een rekenautomaat ontwikkelden en een instrumentmaker. Er waren twee of drie rekenaars in dienst. De rekenaarsters vormden een groep van zes tot acht vrouwen, een opmerkelijk constante groep. Het machinepark voor deze praktijk groeide. Naast de tafelrekenmachines kwam er een boekhoudmachine en ponskaartenapparatuur.

Opdrachten

Door het bieden van deze wiskundige service kon de Rekenafdeling zichzelf in stand houden en een gezaghebbende positie verwerven. Niet iedere klant hoefde het volle pond te betalen. Wetenschappelijke onderzoekers betaalden vaak niets, de door de Rekenafdeling met opdrachten gegenereerde inkomsten waren dan ook bijna helemaal afkomstig uit de industrie.

Rekenopdrachten kwamen vooral via bestaande connecties binnen. Berekeningen voor kristallografisch onderzoek en atoomfysisch onderzoek kwamen van de Gemeentelijke Universiteit waarmee het Centrum rechtstreeks door de eigen directieleden en via curatoren verbonden was. Van Wijngaarden bracht connecties mee vanuit zijn eerdere werkring aan het Nationaal Luchtvaartlaboratorium en via deze met de vliegtuigfabriek Fokker. De Raad van Beheer, de directie van het Mathematisch Centrum, had in de eerste jaren actief connecties met industrie en researchlaboratoria gezocht om zijn bestaansrecht aan te tonen. Uit deze connecties kwamen ook opdrachten voort. Greidanus, de gesprekspartner bij het luchtvaartlaboratorium – later bij Fokker – zei weliswaar dat hij in het onderzoek ook wel verder kon zonder de wiskundige oplossing van een zeker probleem, namelijk het trillend elliptisch draagvlak, maar het was wel een van de vraagstukken waar de Rekenafdeling vervolgens aan zou werken.⁶ Een structurele connectie was die met de ‘Afdeling Bewerking Waarnemingsuitkomsten’ van de Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (TNO-ABW). Hier dwong Van Wijngaarden een bijzonder samenwerkingsverband af. Het Mathematisch Centrum had de organisatie TNO gevraagd om een structurele subsidie. Tijdens de bespreking daarover op 3 april 1948 wisten Van Wijngaarden en de directieleden Van Dantzig en Van der Corput de andere partij zozeer te imponeren met voorbeelden waarin het Centrum van advies kon dienen, dat niet alleen de jaarlijkse subsidie werd toegezegd, maar dat de collega’s Van der Laan, Erlee en Mooy van TNO-ABW geregeld langs zouden komen voor advies in moeilijke gevallen, ‘probleembesprekingen’.⁷ Het Nationaal Luchtvaart Laboratorium (NLL), het Centraal Laboratorium van het staatsbedrijf voor Posterijen, Telegrafie en Telefonie (PTT), Rijkswaterstaat, TNO-ABW, sterrenwachten en verzekeringsmaatschappijen hadden hun eigen rekengroepen. Sommige brachten opdrachten in. In relatie tot deze collega’s wist Van Wijngaarden de Rekenafdeling telkens als superieur te positioneren.

Een bijzondere opdracht was het opmaken van de jaarrekening voor de levensverzekeringsmaatschappij ‘Nederlandsch-Indische Levensverzekering en Lijfrente Maatschappij’ (Nillmij). Eigenlijk was het maken van zo’n wiskundige reserveberekening een standaard

⁶ Greidanus was ook persoonlijk bevriend met Van Wijngaarden.

⁷ Alberts e.a. (n. 1) 133-134.

algoritme, wettelijk vastgelegd, en volkomen oninteressant voor de rekenaars van het Mathematisch Centrum. Hier was het echter de opdrachtgever die het interessant maakte. Directeur J. Engelfriet was tevens bijzonder hoogleraar verzekeringswiskunde aan de Amsterdamse universiteit en een goede bekende van het Centrum. Een goed deel van de opdrachten, in de beginjaren ongeveer de helft, was echter afkomstig van het Mathematisch Centrum zelf, van de andere afdelingen of van de eigen Rekenafdeling. Meer dan eens ging het dan om het opstellen van tabellen voor nadere berekeningen.

De meest beruchte opdracht uit de beginjaren was R-53 ‘Trillende vleugel in subsone stroming’ voor het Nationaal Luchtvaart Laboratorium uit 1948-1953. Dit was een enorme rekenpartij – ‘een marteling’ – uitmondend in een tabel.⁸ Het was een soort rekenwerk dat eigenlijk niet kon en wat men in eerder stadium ook nooit gedaan zou hebben. Nu echter, met de aanwezigheid elders van rekenautomaten, kon het in principe wel en dat perspectief volstond om het ook zonder computer te verrichten. Hier ziet men een eerste voorbeeld van de werking van een gedroomde machine. Voor deze speciale opdracht werkten de rekenaarsters met twee elektromechanische machines naast elkaar en moesten daarbij zelf de tientallenoverdracht van de ene machine naar de andere machine regelen. De tabel bleek bij nader inzien een fout te bevatten. Dit kwam naar voren door vergelijking met het werk van Amerikaanse collega’s. Men maakte dus tabellen als tussenproduct en was zich er niet van bewust dat eenzelfde tabel elders reeds geproduceerd werd. Het idee van de rekenmachine kwam wel overgewaaid, de details van het gebruik niet.

Eind 1948 had de Rekenafdeling negen elektrische rekenmachines in gebruik, vier handrekenmachines, twee mechanische telmachines en een elektrische telmachine. Naast een typemachine werd het machinepark gecompleteerd door een ‘National 3000 Special’ boekhoudmachine die vooral nuttig was bij differentieberekeningen en subtabellatie. In 1950 en 1951 kwamen er tien elektrische tafelrekenmachines bij en in 1951 nog eens twee zakrekenmachines en een nieuwe National-boekhoudmachine.⁹ De rekenaars en rekenaarsters maakten de rekencapaciteit van de Rekenafdeling uit en hun apparatuur werd geregeld vernieuwd.

3. Rekenautomaten

Ondertussen zette in dezelfde Rekenafdeling dezelfde Aad van Wijngaarden vanaf het begin in op de constructie van heel andere apparatuur, namelijk automatische rekenmachines. Tekenend voor de ambitie van het Mathematisch Centrum waren de initiatieven tot internationale samenwerking. Van Wijngaarden had op zijn oriëntatieris Hartree leren kennen en deze kwam nog in datzelfde jaar 1947 een voordracht houden in Amsterdam over moderne rekenmachines. Directeur J.G. van der Corput zocht contact met Belgische en Franse partners om gezamenlijk een automatische rekenmachine te ontwikkelen. Een ander idee was om zo’n machine in samenwerking met de Technische Hogeschool in Delft te construeren. ‘Natuurlijk’ zou in al die gevallen de eerste machine bij het Mathematisch Centrum in Amsterdam geplaatst moeten worden.¹⁰ Van Wijn-

⁸ Voor deze uitdrukking en het hele verhaal zie ‘Ingenieur van taal. Interview met Aad van Wijngaarden’, in: Alberts e.a. (n. 1) 280.

⁹ *JMC* (1948) 9; *JMC* (1950) 18-19; *JMC* (1951) 29-30.

¹⁰ Noord-Hollands Archief, Haarlem: *Archief van de Stichting Mathematisch Centrum, 1946-1980* (hierna aan te halen als *Archief SMC*), inv. nr. 4: ‘Vierde Curatorenvergadering van het Mathematisch Centrum te Amsterdam op Maandag 7 Juli 1947 te 10.00 u. op de kamer van den Wethouder van Onderwijs, Mr. A. de Roos ten stadhuize’.

Warren Weaver en Gerard Pomerat op 23 mei 1948 in London om de demonstratie van de ARC (de 'Automatic Relay Calculator') van A.D. Booth bij te wonen. Na het genereren van willekeurige getallen zou de machine nooit meer functioneren.



gaarden was secretaris van een internationale commissie die overleg tussen Europese rekencentra tot stand wilde brengen, maar de gewenste partners reageerden niet op de brieven. Tenslotte deed het Centrum in 1949-1951 een serieus bod bij de United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (UNESCO) op de vestiging van een internationaal rekencentrum in Amsterdam – de keuze viel op Rome.¹¹

Zo bleven Van Wijngaarden, Scholten en Loopstra voor de bouw van een grote rekenautomaat gewoon op zichzelf aangewezen. Met het idee van een analoge rekenmachine terzijde geschoven projecteerde Van Wijngaarden meteen het idee van een 'electronische rekenmachine' zoals die van Maurice Wilkes, in aanbouw in Cambridge, voor de iets langere termijn. Op de korte termijn wilde hij een relaisrekenmachine naar voorbeeld van die van A.D. Booth in Londen. Van Wijngaarden had in 1947 een paar maanden gewerkt in het Mathematical Laboratory van Cambridge waar aanvankelijk Hartree directeur was geweest en nu na de oorlog Maurice V. Wilkes. Diens machine in aanbouw, het zou de eerste volledige realisatie van Von Neumanns *stored-program* idee worden, achtte Van Wijngaarden te hoog gegrepen. Hij koos daarom voor een bescheidener opzet, een relaismachine in navolging van de *Automatic Relay Calculator* (ARC) van Donald Booth. Hij was bij zijn eerste reizen in 1947 enthousiaster geweest over de openheid van de Amerikanen dan die van de Britten. In het najaar van 1948 liet hij zich dan ook de uitdrukkelijke opdracht van het curatorium meegeven om met Booth te onderhandelen over een nabouw van diens machine. Booth was de uitvinder van het trommelgeheugen: een sneldraaiende cilinder met gemagnetiseerde coating die als geheugen werd gebruikt.¹²

¹¹ JMC (diverse jaren) en H.H. Goldstine, *The Computer from Pascal to Von Neumann* (Princeton 1972) 278.

¹² Er was weliswaar een eerdere Duitse ontwikkeling en patentering in 1932 – zie W.A. de Beauclair, *Rechnen mit Maschinen* (Frankfurt 1968) – maar de Engelse en Amerikaanse trommelgeheugens gaan terug op Booths uitvinding.



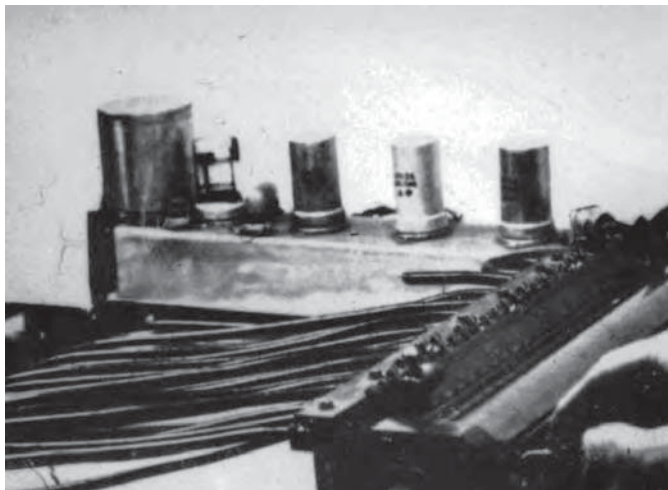
Minister Rutten en burgemeester d'Ailly bij de inauguratie op 21 juni 1952 van de ARRA, Automatische Relaisrekenmachine Amsterdam. Links Bram Loopstra. Na het genereren van willekeurige getallen zou ook deze machine nooit meer functioneren.

Cruciaal punt voor iedereen die een 'stored-program computer' wilde bouwen, was het vinden van een geschikte opslagtechniek. Booth leek met zijn trommelgeheugen de oplossing in huis te hebben, maar dat was in de praktijk toch niet helemaal het geval. Tussen het relatief langzame, mechanische relais en het trommelgeheugen zat een wezenlijk tempoverschil: honderdsten van seconden die een relais nodig had om te schakelen, tegenover tienduizendsten van seconden vereist om met precisie een signaal op een fragmentje van de omloop van een trommel te kunnen plaatsen of af te kunnen lezen. Booth had wel een oplossing gevonden door het geheugengedeelte van zijn computer, de ARC, geheel 'electronisch' te maken met een venstertechniek, 'gating', voor de trage relaissignalen, maar erg bevredigend was het niet. Op 23 mei 1948 demonstreerde hij zijn ARC aan het publiek. Uit de Verenigde Staten waren Warren Weaver en Gerard Pomerat overgekomen naar Londen om te zien hoe de ARC een programma uitvoerde dat willekeurige getallen genereerde, een 'random number generator'. 'Zo deden we dat, dan kon je je nooit een buil vallen'.¹³ Na die gelegenheid heeft de ARC met die trommel nooit meer gefunctioneerd. Booth haalde de trommel uit de machine en bouwde er een nieuwe 'electronische' rekenautomaat omheen die wel goed werkte. In de tussentijd was in Manchester in december 1948 reeds een klein prototype, de Manchester Baby computer, gereed gekomen, gevolgd in mei 1949 te Cambridge door een volledige elektronische stored-program computer, de *Electronic Delay Storage Automatic Calculator* (EDSAC) van Maurice Wilkes. Laatstgenoemde computer wordt algemeen beschouwd als de eerste echte realisatie van Von Neumanns concept.

De Amsterdammers weken steeds verder van Booths ARC af en in de loop van 1949 werd de kopie in hun eigen ogen een 'oorspronkelijk apparaat', de *Automatische Relais Rekenmachine Amsterdam* (ARRA).¹⁴

¹³ A.D. Booth in interview met G. Alberts, 11 juni 2008. Het programmeren van een (pseudo) 'random number generator' was overigens geen onzin en in die tijd een actueel onderzoeksthema.

¹⁴ *JMC* (1949) 16-17.



A.D. Booth's uitvinding bij de ARC, de eerste geheugen-trommel voor een computer.

Kwam er institutioneel geen samenwerking van de grond, in de praktijk kreeg het Mathematisch Centrum tijdens de bouw van de ARRA hulp van verschillende kanten. Uit de Engelse legerdump waren relais en andere componenten beschikbaar. Regelmatig kregen Loopstra en Scholten onderdelen van het Philips NatLab waar gewerkt werd aan de ontwikkeling van elektronische componenten. De ARRA werd hierdoor meer en meer een experimentele machine.¹⁵ Van Philips kreeg men ook losse radiobuisvoetjes voor de montage van componenten. Dit gebeurde op voorspraak van H.B.G. Casimir, die lid van het curatorium van het Mathematisch Centrum was. Het Mathematical Laboratory van Cambridge University stond tekeningen af voor bepaalde onderdelen.¹⁶ Het meest intensief was de samenwerking met de PTT – waar tezelfdertijd Kosten en Van der Poel aan een computer werkten. Deze dienst bezorgde het Mathematisch Centrum een Siemens-verreschrijver en een gezamenlijk plan voor de ontwikkeling van een geheugentrommel, waarvan de productie uitbesteed zou worden.¹⁷ In vergelijking met die van Booth zat het oorspronkelijke van de machine dus ook in de toevallige combinatie van componenten die men wist te verwerven. Basiscomponenten bleven wel het relais en de radiobuizen. In 1950 was er een basisopstelling zonder geheugen die getest kon worden met behulp van een noodbesturing:

Deze bestaat uit een rek, waarop aangebracht zijn een aantal stapshakelaars en een schakelpaneel, met behulp waarvan cycli van circa 200 opdrachten kunnen worden uitgevoerd en een beperkt geheugen, n.l. voor 3 variabele grootheden en 11 constanten.¹⁸

Van Wijngaarden maakte twee uiterst beknopte programma's in elektrische bedrading – er was immers geen geheugen om programma's op te slaan – om tabellen uit te rekenen.

¹⁵ Kranakis (n. 1) 63-64.

¹⁶ *JMC* (1949) 16-17.

¹⁷ *Archief SMC 4*: 'Notulen 10e Curatorenvergadering van het Math. Centrum gehouden op Donderdag 1 Februari 1951 om 10.15 v.m. in het gebouw van het Math. Cent.', 2; *JMC*(1950) 18-19.

¹⁸ Ibidem.

Dit betrof een tabel van $1/x^2$ van 180 pagina's en een tabel met trinomiaale vergelijkingen van 6700 waarden. Deze twee tabellen zouden ervan moeten getuigen dat 'de machine nuttig werk in continu bedrijf [heeft] geleverd', maar de ARRA was verre van betrouwbaar.¹⁹ Het was geen computer en inzet voor opdrachten was al helemaal niet aan de orde.

Begin 1952 was er een 'geheugen' geïnstalleerd. De ARRA was af. Bij het betrekken van het vernieuwde gebouw van het Mathematisch Centrum in de Tweede Boerhaavestraat 49 te Amsterdam verhuisde de machine intern en werd opnieuw opgebouwd. Zo lag het voor de hand om ter gelegenheid van de opening van het gebouw ook de ARRA spectaculair in gebruik te nemen, en er werd geopperd om Prins Bernhard die opening te laten verrichten.²⁰ Uiteindelijk opende de Minister van Onderwijs, Kunsten en Wetenschappen, F.J.T. Rutten, samen met burgemeester A.J. d'Ailly van Amsterdam, op 21 juni 1952 officieel zowel het nieuwe gebouw als de ARRA. 'Het rekenwonder' demonstreerde een programma voor het genereren van willekeurige getallen. De meningen zijn verdeeld of de ARRA op dat moment functioneerde. Daarna was dit beslist niet meer het geval. De ARRA was dus zelfs in haar inauguratie een getrouwe kopie van de ARC.

Zeker is ook dat de Rekenafdeling zich op dat moment onder aanvoering van Van Wijngaarden het computertijdperk in blufte. Of de machine gefunctioneerd heeft of niet, er was een zekere stoutmoedige humor voor nodig om het apparaat na een investering van jaren willekeurige getallen te laten genereren. Ronduit bluf was het om de kranten te laten schrijven over een geheugen van 2047 woorden groot.²¹ Deze ARRA was meer een gedroomde machine dan werkende techniek, toch had ze haar effect. De rekenautomaat had voor de politiek en de publiciteit zijn intrede in Nederland gedaan en daarop kon het Mathematisch Centrum voortbouwen.

Verwachtingen

De Rekenafdeling had verwachtingen gewekt en die moesten natuurlijk een keer waargemaakt worden. Dat gebeurde verrassend soepel dankzij de komst van Gerrit A. Blaauw, die in de VS gepromoveerd was bij Howard Aiken, op het ontwerp van de vierde computer van Aikens team, de 'Harvard Mark IV'.

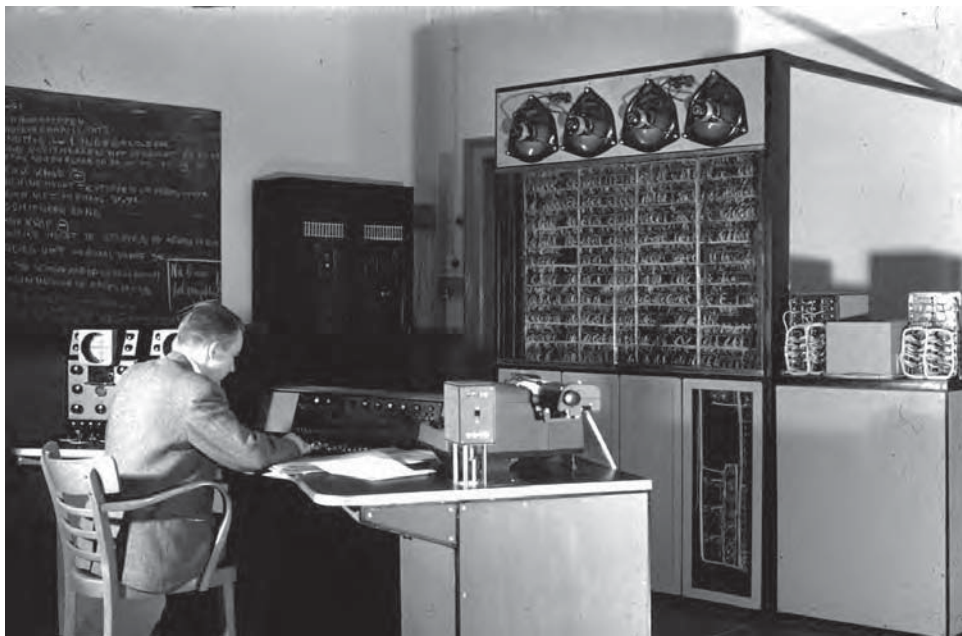
Blaauw vervulde de verplichting van de beurs die hij had ontvangen, om na afloop terug te keren naar zijn vaderland en de opgedane kennis daar met anderen te delen. Hij kon overal terecht en koos voor het Mathematisch Centrum. Hij voegde zich op 1 november bij het team van Scholten en Loopstra, juist op het moment dat zij de ARRA

¹⁹ Ibidem.

²⁰ *Archief SMC 4*: 'Notulen van de 11e Curatorenvergadering van het Mathematisch Centrum gehouden op Donderdag 27 maart 1952 in het gebouw van het M.C.', 2.

²¹ Vgl. N.C. de Troye, 'Herinneringen aan het Mathematisch Centrum', in: W.H.J. Feijen en A.J.M. van Gasteren (red.), *Carel Scholten Dedicata. Van oude machines en nieuwe rekenwijzen* (Eindhoven 1988) 217-228. Het 'geheugen' wordt nergens in de archiefstukken van het Mathematisch Centrum nader omschreven. Gezien de herinneringen van de betrokkenen en de krantenknipsels die gewag maken van een zoemende cilinder op de achtergrond, lijkt het redelijk aan te nemen dat er een trommelgeheugen bij deze eerste ARRA is geweest. Tegelijk is het opmerkelijk dat de technische problemen waar Booth van spreekt, in de herinneringen rond het Mathematisch Centrum niet voorkomen. Ook de omvang van het geheugen komt alleen in krantenknipsels voor: 2047 woorden. Dit is een vreemd aantal (niet 2048) en bovendien tweemaal zoveel als de 1024 woorden die op de trommel van de latere machine (ARRA-II) pasten.

Van Wijngaarden had volledige kennis van de machines van Booth, van Wilkes en die in Manchester en de prestaties van die rekenautomaten. Het lijkt geen twijfel dat hij zich volledig bewust is geweest van de stand van zaken, ook van het gegeven dat niemand, ook Booth zelf niet, voor de ARC de status van computer claimde. Hij moet zich wilens en wetens door die presentatie heen geslagen hebben om een volgende stap te kunnen zetten.



Gerrit A. Blaauw aan de console van de door hem ontworpen ARR A II, 1954

hadden opgegeven. ‘Ja, ongeveer twintig minuten,’ zegt Scholten bij terugblik op de vraag of Blaauw lang nodig had om hen te overtuigen van zijn inzichten in computerbouw.²²

Blaauw en Van Wijngaarden hadden vanaf 1949 contact gehad over samenwerking tussen het team van Aiken en het Mathematisch Centrum, maar Van Wijngaarden gaf kennelijk de voorkeur aan een eigen Amsterdamse ontwikkeling en was niet ingegaan op het denkbeeld een dergelijke ‘Aiken’-computer voor het Mathematisch Centrum te laten bouwen. Wel vroeg hij Blaauw om seleendiodes en ander moeilijk te verkrijgen materiaal mee te brengen.²³ Maar Blaauw bracht, naast een koffer vol onderdelen, ook inzicht in computerbouw en bovenal een ingenieursstijl mee. Geheel in lijn met het adagium van zijn leermeester Aiken stond hij erop een machine te bouwen uit onderdelen van bewezen kwaliteit. Het combineren van onderdelen tot een complexe rekenautomaat was al vernieuwend genoeg. Kenmerkend voor Blaauws aanpak was ook dat de nieuwe machine opgebouwd was uit verwisselbare insteekelementen, zodat voor gewoon onderhoud of voor de vervanging van een component niet langer gesoldeerd behoefde te worden.²⁴ Omdat er nog een belofte uitstond, werd de machine opnieuw ARR A genoemd; en omdat Van Wijngaarden niet van plan was met de ogen te knippen, schreef hij in het jaarverslag van het Mathematisch Centrum dat er een schema was opgesteld om de

²² Interview Carel Scholten, 11 januari 2000; 24 juni 2008.

²³ Bibliotheek Centrum voor Wiskunde en Informatica, Amsterdam: *Archief A. Van Wijngaarden*, correspondentie 1950-1951: brievenwisseling met G.A. Blaauw.

²⁴ Interview Gerrit Blaauw [met G. Alberts], 17 september 2004.

onderdelen van de ARRA te vervangen door elektronische delen. Maar in feite werd van de grond af aan een geheel nieuwe machine opgebouwd.²⁵ Dit verliep anders, niet alleen omdat Blaauw bij het proces was betrokken, het ging ook anders omdat inmiddels Edsger W. Dijkstra aan het Mathematisch Centrum was verbonden. Dijkstra studeerde natuurkunde in Leiden en was sinds maart 1952 in dienst voor de programmering van de ARRA. In overleg met de anderen schreef hij de *Functionele beschrijving van de ARRA*, waarin de mogelijkheden van het apparaat vanuit het perspectief van de programmeur werden vastgelegd.²⁶ Deze specificatie functioneerde als een contract tussen hem en de machinebouwers. Terwijl de nieuwe ARRA werd gebouwd, kon hij aan de slag om de programma's te schrijven.²⁷ De gebruiker speelde daarmee een nadrukkelijke rol in de ontwikkeling van de nieuwe machines.

Deze nieuwe machine kwam gereed in januari 1954 en wordt achteraf gewoonlijk de ARRA-II genoemd. De ARRA-II had een trommelgeheugen, één van 1024 woorden. De naam suggereerde nog steeds het gebruik van relais, maar behoudens het relais voor de selectie van sporen op de trommel, was het een volledig 'electronische' machine. 'Electronisch' wil hier zeggen, zonder (elektro-)mechanisch bewegende delen, dus opgebouwd uit radiobuizen, diodes, weerstanden en dergelijke componenten. Dankzij de gedroomde – of beter geblufte – ARRA-I was het voor Van Wijngaarden zinvol gebleken om een handleiding te schrijven en Dijkstra aan te stellen. Het denken over computergebruik vond zo doorgang en had effect.²⁸ Met de ARRA-II beschikte het Mathematisch Centrum nu over een computer die voor opdrachten kon worden ingezet. De machine draaide naar tevredenheid 125 uur per week: van maandagochtend tot zaterdagmiddag, dag en nacht. Na enkele weken was de computer voor driekwart van de tijd 'operationeel'; hiervan werd een tiende besteed aan 'debuggen' en het invoeren van programma's.²⁹

4. *Praktijk van de dienstverlening – dankzij IBM*

Voor het dienstverlenende werk had de Rekenafdeling niet gewacht op de computerbouw. Er was wel degelijk behoefte aan grotere reken capaciteit en eind 1952 besloot Van Wijngaarden een IBM-ponskaarteninstallatie te huren. Voor bepaalde opdrachten was een rekenende ponsmachine van de 'International Business Machines Corporation' (IBM) heel geschikt en rond deze machine (een IBM 602A Multiplier) stelde men een ponskaarteninstallatie samen. IBM gaf academische instellingen altijd 20% korting, op voorwaarde dat ze de apparatuur niet commercieel zouden uitbuiten. In overeenstemming met een eerder gedane belofte, gaf IBM voor het Mathematisch Centrum bovendien fl. 12.500 per jaar subsidie – bijkans gelijk aan het jaarlijkse huurbedrag van ruim fl. 13.000 voor de installatie – en stelde de machine ook nog eens drie dagen per maand gratis ter beschikking. De apparatuur werd medio 1953 geïnstalleerd. De machine, die – zoals voor ponskaartenmachines gebruikelijk was – bestuurd werd met een pluggen-

²⁵ JMC (1952).

²⁶ E.W. Dijkstra, 'Functionele beschrijving van de ARRA', *Mathematisch Centrum Rapport* [Hierna aan te duiden als MCR] – MR-12 (Amsterdam 1953).

²⁷ E.W. Dijkstra, 'From my life', 7 pp. getypt (1993) 1-2. Document te downloaden van: <http://www.cs.utexas.edu/users/EWD/ewd11xx/EWD1166.PDF>

²⁸ A. van Wijngaarden, 'Programmeren voor de A.R.R.A.', *MCR : MR-5* (Amsterdam 1951). Het onderscheid tussen ARRA-I en ARRA-II is voor het eerst gemaakt door Van Donselaar in 1967 (n. 1).

²⁹ *Archief SMC*, inv. nr. 4: 'Notulen van de 14e Curatorenvergadering van het Mathematisch Centrum, gehouden op Donderdag 29 April 1954 in het gebouw van het Mathematisch Centrum'.

bord, werd na een half jaar vervangen door een nieuw model dat met ponskaarten geprogrammeerd kon worden. Voor deze machine ontwikkelde de Rekenafdeling een standaardprogramma. Deze installatie werd gebruikt voor kristallografisch onderzoek in Amsterdam en Groningen, voor opdrachten van de Leidse Sterrewacht, de Deltacommissie, het Wilhelminagasthuis en voor het Mathematisch Centrum zelf.³⁰

Met de concurrent van IBM, het Franse ‘Bull’ en zijn Nederlandse vestiging ‘Bullatec’, had het Mathematisch Centrum een iets andere samenwerkingsrelatie. Nillmij, de levensverzekeringsmaatschappij van eerdergenoemde Engelfriet, had zich een Bull Gamma-3 computer aangeschaft en huurde nu een van de medewerkers van het Mathematisch Centrum, Jan Berghuis, in om het ding te installeren. De Bull behoorde niet tot het machinepark van het Mathematisch Centrum, maar was dus binnen bereik als het ging om deskundigheid in het gebruik ervan. De speciale boekhoudmachine van ‘National’ en het nieuwste model van de rekenende IBM-ponskaartenmachine lieten zich met speciale voorzieningen besturen. De Bull was een rekenautomaat met een vier-woorden-geheugen; het exemplaar van de Nillmij was speciaal uitgerust met een acht-woorden-geheugen. Ter vergelijking: de ARRA van 1950 had geen dynamisch geheugen en in de toestand van 1952 een onbekend aantal geheugenplaatsen.

Al deze apparaten waren op een elementaire manier bestuurbaar, variërend van het met metalen nokken aanbrengen van een procedure in een boekhoudmachine, het met draden of ponskaarten instrueren van ponskaartenmachines, het solderen van proefopstellingen, tot het met een ponsband aansturen van de eerste elementaire rekenautomaten. Het was modderen met beperkte mogelijkheden. De afstand tot het ideale gebruik van de gedroomde machines was nog groot. Maar omdat er ondertussen wel mensen nadachten over dat ideale gebruik, was het effect van die afstand niet ongunstig. De introductie van de computer, waarvan het concept als *stored-program computer* bekend was, bleek in de praktijk een proces, een geleidelijke overgang van een jaar of vijf. De rekenaars en rekenaarsters met hun tafelrekenmachines, die onverminderd het gros van de opdrachten uitvoerden; de enkelingen onder de rekenaars die ploeterden met de enigermate automatische machines; de ontwerpers en beoogde gebruikers van de rekenautomaten; Van Wijngaarden die het geheel regisseerde; de gretige klanten als Engelfriet en Greidanus; de publieke figuren; de pers en de financiers, zij allen speelden in deze geleidelijke overgang hun eigen rol.

Eerst in januari 1954 deed de computer met de ARRA-II zijn intrede in het uitvoeren van rekenopdrachten. In verhouding tot het totaal aantal opdrachten dat de Rekenafdeling uitvoerde, was tot 1960 het aantal opdrachten dat met behulp van een computer werd opgelost nooit groter dan de helft. Toch kan hieruit niet geconcludeerd worden dat de Rekenafdeling weinig van computers gebruik maakte. De computers werden niet gebouwd om de rekenaarsters met tafelrekenmachines te vervangen (die voldeden namelijk uitstekend), nee,

de problemen, waarbij de machtigste der moderne machines pas goed tot hun recht komen, zijn dusdanig omvangrijk, dat men er zonder deze rekenapparatuur nooit aan zou zijn begonnen! Er worden problemen mee aangepakt, die vroeger de meest drieste niet eens als ‘numeriek probleem’ zou durven te

³⁰ Ibidem en *Archief SMC*, inv. nr. 4: ‘Notulen van de 13e Curatorenvergadering van het Mathematisch Centrum, gehouden op Woensdag 24 Februari 1954 in het gebouw van het Mathematisch Centrum’, 5; *JMC* (1953) 48-49; *JMC* (1954) 61.

beschouwen; en inderdaad, naarmate de methoden, waarop de machines hun resultaten afleveren, geraffineerder worden, raakt het numeriek karakter althans voor de naïeve bezoeker, ernstig op de achtergrond.³¹

Een van de eerste opdrachten die met de ARRA-II werden uitgevoerd, was het berekenen van moleculaire golf functies van waterstof, deuterium en tritium voor het Instituut voor Theoretische Natuurkunde van de Universiteit van Amsterdam. Voor de vliegtuigfabriek Fokker werden matrixberekeningen uitgevoerd van matrices met 23 rijen en kolommen en voor een scheepsbouwer vergelijkbare berekeningen aan scheepsschroeven.³² In de volgende jaren werd de ARRA-II onder andere ingezet voor grote tabellen en matrixberekeningen, voor flutterberekeningen voor Fokker, voor getijdenberekeningen voor de Deltacommissie, voor berekeningen aan kernreactoren en voor frequentieberekeningen van onderzeese telefoonkabels.³³

De ingebruikname van de ARRA-II leek een verschuiving aan te kondigen in de werkzaamheden van de Rekenafdeling, maar die trad nog niet op. De minder geschoolde rekenaarsters zouden naar verwachting van de curatoren vervangen worden door geschoold personeel voor het programmeren van de ARRA, maar het liep niet zo'n vaart.³⁴ De rekenaarsters bleven werkzaam tot het eind van de jaren vijftig. Omdat de ARRA-II continu in bedrijf was, groeide het aantal technici tot vijf. Zij zorgden voor het onderhoud van de machine en vervulden indien nodig een operateursfunctie bij de bediening. In februari 1954 werden twee assistenten en rekenaarsters opgeleid tot programmeur zodat het totaal aantal programmeurs op de Rekenafdeling steeg tot tien personen. De opleiding van de programmeurs was in handen van Dijkstra met de cursus *Programmering op de ARRA*.³⁵

5. Gedroomde machine

Nu de herziene ARRA klaar was en het Mathematisch Centrum was voorzien van een snelle automatische rekenmachine kon de verdergaande ambitie van een grote elektronische rekenmachine niet alleen op de agenda gezet worden, maar ook een naam krijgen. Dit werd de *Automatische Electronische Rekenmachine Amsterdam*, kortweg AERA. Aanvankelijk had hiervoor de EDSAC van Wilkes tot voorbeeld gediend. Loopstra had in 1951 ook een bezoek van enkele weken gebracht aan Cambridge om zich de nieuwe technologie eigen te maken. Gebaseerd op de kennis en ervaring opgedaan met de bouw van de ARRA, meende de Rekenafdeling deze AERA zonder problemen in twee jaar tijd te kunnen bouwen. Immers, dezelfde vertrouwde elementen als die van de ARRA-II zouden gebruikt kunnen worden. De kosten van deze grote machine werden geraamd op anderhalf tot twee ton.³⁶ Het vernieuwende kenmerk van de AERA was het geheugen: dit zou bestaan uit 5.000 langzame geheugenelementen en 200 snelle. Verder zou er een opdrachtengeheugen van 1.000 langzame geheugenelementen aan worden toegevoegd. In vergelijking met de ARRA-II, die alleen maar een langzaam geheugen van 1024 woorden

³¹ E.W. Dijkstra en A. van Wijngaarden, 'Programmeren voor automatische rekenmachines. Cursus 1955/56', *MCR : CR-7* (Amsterdam 1956) 1.

³² Vgl. (n. 29) 5.

³³ *JMC* (1954); *JMC* (1955).

³⁴ *Ibidem*.

³⁵ *JMC* (1954) 63.

³⁶ *JMC* (1954) 61-63; 'Notulen 13e Curatorenvergadering' (n. 30).

had, kon de AERA met recht het ontwerp voor een grote machine genoemd worden. Het snelle geheugen zou worden opgebouwd uit ferrietkernen.

De kans om de AERA te bouwen deed zich echter niet zomaar voor; de constructiegroep kreeg eerst een andere opdracht. Twee grote Nederlandse bedrijven hadden belangstelling getoond voor de ARRA. De interesse van één van die bedrijven, Fokker, leidde op 5 mei 1954 tot een opdracht aan de Rekenafdeling van het Mathematisch Centrum. De opdracht was een initiatief van Greidanus, die eerder bij het Nationaal Luchtvaartlaboratorium collega van Van Wijngaarden was geweest, en gesprekspartner in de besprekingen met het Mathematisch Centrum. Hij was nu hoofd van de technische ontwikkeling bij Fokker. De constructiegroep zou, met assistentie van Fokker, voor deze fabriek een kopie van de ARRA bouwen. Deze FARRA, zoals de machine tijdens de bouw werd genoemd, was een verbeterde kopie van de ARRA-II. De geheugenselectie was volledig elektronisch, in de FARRA waren dus helemaal geen relais meer aanwezig. Verder zou het trommelgeheugen twee keer zo groot worden, namelijk 2048 woorden. Al met al werd de FARRA zo'n twee-en-een-half keer zo snel als de ARRA-II. Bij aflevering van de FARRA aan Fokker op 1 april 1955 werd de machine hernoemd tot FERTA: de *Fokker Electronische Rekenmachine Type ARRA*. De verbeteringen die bij de FERTA waren ontwikkeld, werden ook doorgevoerd in de ARRA-II van het Mathematisch Centrum, die daardoor twee keer zo snel werd als voorheen.³⁷

ARMAC voor AERA

Na het voltooiën van de FERTA lag er in 1955 nog steeds het plan om de AERA te bouwen. Deze machine zou nu 500 tot 2500 keer zo snel moeten worden als de ARRA-II. Maar opnieuw vroegen dagelijkse noden om voorrang. Ditmaal had het Mathematisch Centrum zelf op betrekkelijk korte termijn een grotere en snellere computer nodig dan de ARRA-II. Het Mathematisch Centrum had verzoeken van de Deltacommissie en van Rijkswaterstaat gekregen om rekenopdrachten uit te voeren waarvoor de ARRA domweg onvoldoende capaciteit had.³⁸ De *Automatische Rekenmachine Mathematisch Centrum* (ARMAC), zou een tussenstadium vormen tussen ARRA-II en AERA, en zou vijftig keer zo snel zijn als de ARRA.³⁹

Net zoals in het eerdere ontwerp van de AERA, had de ARMAC een klein snel geheugen van ferrietkernen en een groot 'langzaam' trommelgeheugen. Maar het snelle geheugen van de ARMAC was alweer een stuk groter dan in 1954 voor de AERA was voorzien. Het snelle geheugen was 512 woorden groot, waarvan er 64 vrij gebruikt konden worden door de programmeur. De rest diende als een buffer voor het langzame geheugen van 3584 woorden en voor standaardprogrammatuur.⁴⁰ De techniek van elektronische componenten was dus zover gevorderd dat de trommel die aanvankelijk te snel was voor het relais, nu als het trage geheugendeel aan de snellere processor met een snel, elektronisch, geheugen hing.

³⁷ Ibidem en *Archief SMC*, inv. nr. 4: 'Notulen van de 15e Curatorenvergadering van het Mathematisch Centrum, gehouden op Donderdag 25 April 1955 in het gebouw van het Mathematisch Centrum', 4.

³⁸ *Archief SMC*, 91: 'ARRA, FERTA, ARMAC, AERA. Verslag van machines met het oog op de Curatorenvergadering van 15 april 1955'.

³⁹ *JMC* (1955) 54-55; Notulen 15e Curatorenvergadering (n. 37) 4.

⁴⁰ Van Donselaar (n. 1) 9.

Reeds na een jaar, in 1956, kwam de ARMAC gereed. Deze machine was zoveel sneller (weliswaar geen vijftig maar twintig maal) en betrouwbaarder dan de ARRA dat deze enkel overdag werd gebruikt. Ook de IBM-ponskaarteninstallatie was overbodig geworden: de ARMAC kon al het werk aan. De ARRA werd sinds 1 juli 1956 enkel nog gebruikt voor ‘experimenten’ en zou misschien nog gebruikt worden voor educatieve doeleinden. Want het ‘had weinig zin een ‘21ste machine’ naast de ARMAC in bedrijf te houden’.⁴¹

Ditmaal, door de betrouwbaarheid en snelheid van de ARMAC, veranderde de werkwijze van de Rekenafdeling wel. Meer en meer werd de machine gebruikt en geprogrammeerd door de opdrachtgevers en gebruikers zelf en steeds minder door de medewerkers van de Rekenafdeling. Het enige probleem met deze manier van werken was de opleiding van programmeurs, omdat in de visie van het Mathematisch Centrum programmeurs over voldoende wiskundige vaardigheid moesten beschikken.⁴²

De ware reden om snel en pragmatisch een ARMAC te bouwen, en niet de voorgenomen AERA, was een ontwikkeling uit de zijlijn, die voor de constructiegroep plotseling de hoofdstroom zou gaan vormen. In 1954 had niet alleen Fokker, maar ook Nillmij zich aangediend voor de levering van een computer. Directeur Engelfriet had eerder zijn ambities op rekengebied laten blijken via rekenopdrachten aan het Mathematisch Centrum en de aankoop van de Bull-computer, waarvoor MC-medewerker Berghuis het programmeerwerk had gedaan. Van Wijngaarden en Engelfriet werden het niet zomaar eens. Engelfriet had in naam reeds een rekenautomaat, de Bull, maar wilde over een serieuze computer kunnen beschikken voordat de oude afgeschreven was.⁴³ Van Wijngaarden had de handen niet vrij om binnen een academisch georiënteerd instituut in opdracht rekenmachines te bouwen. De door Engelfriet gezochte omweg om Philips in te schakelen voor de productie slaagde evenmin.⁴⁴ Een jaar later vonden beide heren de oplossing door de know-how van het Mathematisch Centrum met het kapitaal van de Nillmij tot een nieuwe onderneming te verenigen: de *N.V. Electrologica*. Er volgde een jaar van druk overleg om te onderhandelen over de details en om alle besturen (van het Mathematisch Centrum, de organisatie voor Zuiver Wetenschappelijk Onderzoek en de verzekeringsmaatschappij Nillmij) te overtuigen. De uitkomst was dat de Nillmij een volle dochteronderneming zou oprichten, die de computerconstructiegroep gefaseerd zou overnemen. In ruil daarvoor zou de Nillmij aan het Mathematisch Centrum zeer gunstige voorwaarden en winstdeling bieden. De overeenkomst tussen het Mathematisch Centrum, Nillmij en de nieuwe vennootschap *Electrologica* werd getekend op 25 juni 1956.⁴⁵ Het was precies in dat jaar dat de constructiegroep de ARMAC bouwde.

In de daaropvolgende twee jaren werd door de groep (die toen nog in het Mathematisch Centrum gehuisvest was) het eerste prototype van de *Electrologica-X1* gebouwd.

41 *Archief SMC*, inv. nr. 4: ‘Notulen van de 21ste Curatorenvergadering van het Mathematisch Centrum op dinsdag 11 juni 1957 te 10.00 v.m. in het gebouw van het Mathematisch Centrum, 2e Boerhaavestraat 49 te Amsterdam’, 2; *Idem*, inv. nr. 86: ‘Brief van de Raad van Beheer aan ZWO van 11 februari 1958’, 6; *JMC* (1956) 62-67.

42 *JMC* (1957) 61-64; *Archief SMC*, inv. nr. 35: ‘Notities over de Rekenafdeling voor de Curatorenvergadering van 13 Maart 1958’, 1.

43 De Bull Gamma 3 was voor het levensverzekeringswerk helemaal niet zo’n praktisch apparaat: traag en omslachtig in gebruik. Interview A.W. Dek [met G. Alberts en H.T. de Beer], 8 jan 2008.

44 I.J. Blanken, *Een industriële wereldfederatie* [Reeks: *Geschiedenis van Koninklijke Philips Electronics N.V.* deel 5 (1950-1970)] (Zaltbommel 2002) 155-156.

45 *Archief SMC*, inv. nr. 4: ‘Notulen der 16e Curatorenvergadering van het Mathematisch Centrum op Dinsdag 7 februari 1956 in het gebouw van het M.C., 2de Boerhaavestr. 49’, 6.



Met de ARMAC, 1956, veranderde het gebruik van de computer. Voor deze machine schreven Dijkstra, Bakker, Vasmel en Dekker hun interpretatieve programma's.

Die kwam gereed in 1958 en werd geïnstalleerd in het Haagse kantoor van de Nillmij. De volgende exemplaren bouwde Electrologica in een eigen productievestiging elders in Amsterdam. Met een laatste verbetering van de ARMAC, die eind 1958 werd doorgevoerd, was het bouwen van rekenmachines aan de Rekenafdeling van het Mathematisch Centrum voorbij. In de eerste twee maanden van 1959 voerde de Rekenafdeling al haar rekenopdrachten uit op de Electrologica-X1 van de Nillmij. Tenslotte kreeg het Mathematisch Centrum eind 1959 zijn eigen exemplaar van de X1 geleverd.

6. Groeiend computerbruik voor het rekenwerk

Van 1948 tot 1958 waren de rekenaars en rekenaarsters de voornaamste uitvoerders van rekenwerk aan het Mathematisch Centrum. In de zomer van 1948 was een hechte reken-groep tot stand gekomen. Aanvankelijk waren tafelrekenmachines en tabellenboeken hun voornaamste gereedschap. In het decennium voorafgaande aan de intrede van de X1 voegden zij zeer geleidelijk automatische bewerkingen toe in hun werk. Gedurende de eerste vijf jaar had de automatisering zich beperkt tot de inzet van speciaal geprepareerde boekhoudmachines, een ponskaartinstallatie en het testen van de ARRA-I. De inzet van deze elementaire automaten veranderde de algehele aanpak van het rekenwerk niet. Ook met de ARRA-II veranderde het regime niet wezenlijk. Pas na 1956 kwam een verschuiving van gewoontes: men verhuurde computertijd. Dit was een direct gevolg van de grotere snelheid en toegenomen betrouwbaarheid van de ARMAC en de toelating van andere gebruikers op deze machine.

Tabel 1 geeft een indruk van de herkomst van het rekenwerk op het Mathematisch Centrum en van de inzet daarbij van de opeenvolgende rekenautomaten. In de beginjaren was het rekenwerk relatief vaak ingegeven door vragen uit eigen huis (de Rekenafdeling of andere afdelingen). De inzet van rekenautomaten groeide langzaam en kwam pas in 1960, het jaar dat de X1 volledig in gebruik was, boven de helft van het aantal opdrachten. Twee jaar later werd bij alle opdrachten de computer ingezet. Toen was de informatisering van het rekenwerk voltooid.

Tabel 1: het aantal rekenopdrachten van de Rekenafdeling van het Mathematisch Centrum per jaar, uitgesplitst (links) naar opdrachten uit eigen huis en (rechts) naar de inzet van de verschillende computers

jaar	R volg- nummer	O aantal	MC	ARRA I	ARRA II	ARMAC	X1
1946							
1947							
1948							
1950	114	52	27	2			
1951	166	59	21	1			
1952	206	48	17	1			
1953	249	52	13				
1954	297	59	8		8		
1955	340	53	13		20		
1956	394	60	9		5	13	
1957	467	73	9			38	
1958	514	57	5			28	
1959	557	55	6			17	2
1960	605	69	7			1	42
1961	725	122	11				122
1962	852	179	*				179

R = R-nummers waren de doorlopende volgnummers van 'opdrachten'. Het laatste R-nummer van het verslagjaar geeft een indicatie van het totale rekenwerk.

O = het aantal opdrachten van het verslagjaar (als vermeld in het jaarverslag).

MC = het aantal opdrachten (van O) afkomstig uit het Mathematisch Centrum zelf; *vanaf 1962 niet vermeld.

ARRA-I, ARRA-II, ARMAC, X1, de volgende vier kolommen geven aan bij hoeveel van de opdrachten (van O) de opeenvolgende rekenautomaten werden ingezet.

Van meet af aan had de Rekenafdeling door opdrachten van betalende industriële klanten aanzienlijke inkomsten gegenereerd, dit nog afgezien van de verkoop van know-how aan Fokker en Electrologica. Ook de verhuur van computertijd op de ARMAC en X1 bleek zeer lucratief. De ARMAC, met een gebruikersprijs van 100 gulden per uur, bracht in de vier jaar dat de machine in gebruik was, ongeveer 190.000 gulden op.⁴⁶ De X1 was met een tarief van 300 gulden per uur in commercieel opzicht bepaald goedkoop, maar leverde alleen al in het eerste jaar 143.845,50 gulden op.⁴⁷ Dit betekent dat een opdracht met de ARMAC gemiddeld ruim boven de 2.000 gulden opbracht en een opdracht met de X1 meer dan 3.000. Twintig uur ARMAC- of tien uur X1-gebruik was natuurlijk niet

⁴⁶ *Archief SMC*, inv. nr. 50: 'Toelichting nieuwe rekenapparatuur 4 maart 1963', 3.

⁴⁷ *Archief SMC*, inv. nr. 5: 'Notulen van de 49e vergadering van het Curatorium van de Stichting Mathematisch Centrum te Amsterdam, gehouden op donderdag 20 oktober 1966', 4.

meer te vergelijken met het soort opdrachten dat voordien met de hand werd uitgevoerd.

Het computergebruik op de Rekenafdeling groeide bij elke volgende computer dus niet alleen in het aantal opdrachten en in het gedeelte waarbij de computer werd ingezet, maar ongetwijfeld ook in de omvang van het uitgevoerde rekenwerk. Wanneer blijkens tabel 1 in 1958 bijna de helft van het aantal opdrachten met de ARMAC werd uitgevoerd, dan mogen we aannemen, dat veruit het meeste rekenwerk in dat jaar op de computer werd gedaan.

Met de ARMAC deden ook externe gebruikers hun intrede. Opdrachtgevers konden ervoor kiezen zelf hun programma's te schrijven en deze dan te laten uitvoeren op de computer van het Mathematisch Centrum. De Rekenafdeling kreeg dus voor een deel het karakter van een rekencentrum, een geheel nieuw type dienstverlening. Zoals in de wereld van onderzoekscentra gebruikelijk was, mochten de klanten zelf bij de machine: het was een werkwijze die wel met de term *open shop* wordt aangeduid. Deze manier van werken was in tegenstelling tot die bij een *closed shop* rekencentrum. In deze meer formele structuur van dienstverlening leverde men, ofwel de data ter bewerking af (zoals bij een service-bureau), ofwel men gaf een stapel ponskaarten aan het loket af, om de volgende dag de resultaten op te halen. Met de X1 zette deze trend van bruikbaarheid en toegankelijkheid van de computer en groei van het aantal gebruikers zich door. De Rekenafdeling exploiteerde dus vanaf 1959 een *open shop* rekencentrum.

Programmeren

De bruikbaarheid van de computers, de toename van het gebruik en het aantal gebruikers weerspiegelde zich ook in de programmatuur die beschikbaar kwam voor de opeenvolgende machines. De ARRA's, de ARMAC en de X1 hadden een basisset van elementaire instructies (machine-instructies) die opvallend constant was. De 'architectuur' van iedere volgende machine was een uitbreiding van de eerdere.⁴⁸ De machineprogramming veranderde dan ook niet fundamenteel. Natuurlijk, elke computer was complexer dan de vorige en had een nieuwe functionaliteit. Dat was ook zichtbaar in het aantal machineopdrachten. Zo had de ARMAC bijzondere machine-instructies om hele blokken van het ene geheugen naar het andere te transporteren, zodat men handig gebruik kon maken van het kleine snelle buffergeheugen in combinatie met het grote langzame geheugen.

Om de moeizame klus van machineprogramming te verlichten waren een aantal hulpmiddelen beschikbaar. Het invoerprogramma bood faciliteiten zoals het invoeren van decimale getallen en een vorm van relatieve adressering. In de loop van de tijd bouwden gebruikers een bibliotheek op van subroutines. Een subroutine was een deelprogramma dat zo was geschreven dat het gemakkelijk ingeschakeld kon worden in een ander programma om een bepaalde functie te vervullen. Er waren subroutines om de invoer of de uitvoer te regelen, subroutines voor het uittypen van de resultaten, subroutines om het geheugen handig te gebruiken en subroutines voor wiskundige bewerkingen zoals worteltrekken of trigonometrische functies. Type-routines voor de ARMAC maakten het zelfs mogelijk om de lay-out van de pagina bij het uittypen van getallen te controleren. Er waren subroutines voor veelgebuikte wiskundige functies en speciaal voor de ARMAC was er een stelstel van subroutines om met matrices te rekenen: het matrix-complex RAM. Voor de vroegste computers was het gebruik van subroutines letterlijk

⁴⁸ Architectuur is hier bedoeld in de zin van Gerrit Blaauw: de manier waarop de computer zich aan de primaire gebruiker voordoet. Op dit niveau lag ook het 'contract' tussen Dijkstra en de computerontwerpers.

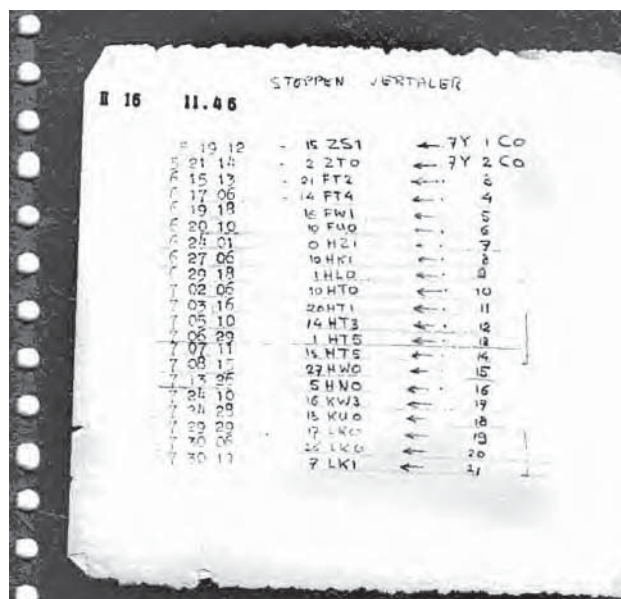
een kwestie van in-schakelen. Een subroutine stond op een ponsband. Die band, of liever een kopie daarvan, werd ingeplakt in een groter programma. Subroutines verschilden van computer tot computer en van stijl tot stijl binnen het computergebruik – het was goed mogelijk dat de één verfoeide wat de ander een mooi programma vond. De continuïteit van instructiesets van ARRA tot X1 gevoegd bij de lange tijd die er was om op het gebruik te reflecteren voordat er een serieus werkende computer was, maakten een sterke continuïteit in de programmeerstijl op het Mathematisch Centrum mogelijk.

De belangrijkste subroutines waren de in- en uitvoerroutines. Met behulp van de uitvoerroutine kon de programmeur getallen netjes laten uittypen op de aan de computer aangesloten typemachine. Deze in- en uitvoerroutines werden in de loop van de tijd steeds gecompliceerder en werden voorzien van controles, waardoor de computer steeds betrouwbaarder functioneerde. De ARRA had subroutines (Rd1 en Rd2) voor het rekenen met een drijvende komma, een zogenaamd *floating point*. Dit was nodig omdat de ARRA, de ARMAC en de X1 in eerste opzet niet waren uitgerust met de mogelijkheid om met drijvende-komma getallen te rekenen. Voor sommige toepassingen was dit echter onontbeerlijk en voor dit doel waren er dan ook subroutines ontworpen. Bij elke operatie op een drijvende-komma getal moest de programmeur de subroutines aanroepen, hetgeen een lastig karwei was. Voor de ARMAC schreef Dijkstra daarom het *interpretatief programma* Rd1 waarmee een nieuwe machine werd gesimuleerd, die wel in staat was om met drijvende-komma getallen te rekenen en die daarvoor de gewone machineopdrachten kreeg. Deze nieuwe ‘pseudo-machine’ kon als het ware aangezet worden door een bepaalde subroutinesprong, waarna alle volgende instructies werden geïnterpreteerd als machine-instructies van die pseudo-machine. Op eenzelfde wijze kon de pseudo-machine ook weer uitgezet worden.⁴⁹

Het schrijven van een interpretatief programma, waardoor de machine even een andere machine werd, was beslist een bijzonder soort subroutine. Het was het resultaat van intensief denkwerk. Voor de ARMAC schreven Dijkstra en de andere programmeurs verscheidene interpretatieve programma’s, onder meer voor het rekenen met complexe getallen met drijvende komma, voor het rekenen met zesvoudige-lengte getallen en voor het rekenen met breuken van dubbele lengte. Telkens werd de ARMAC door de aanroep van zo’n interpretatief programma een pseudo-machine.

Subroutines en interpretatieve programma’s waren geen Amsterdamse uitvindingen. Wel was de Rekenafdeling sterk in het toepassen van deze ontwikkeling en, meer in het algemeen, in het nadenken over programmeren. De theorievorming over programmeren nam uiteindelijk een hogere vlucht dan de bouw en het gebruik van de machines zelf en stond daarmee in de traditie van de gedroomde machines. Het vooruitdenken, verder dan de gegeven mogelijkheden van het bestaande machinepark, bleek uiterst vruchtbaar en bracht de rekenaars en programmeurs van de Rekenafdeling tot het bespreken niet alleen van subroutines, maar ook van superprogramma’s.

49 E.W. Dijkstra, ‘Functionele beschrijving van de ARRA’, *MCR : MR-12* (Amsterdam 1953); E.W. Dijkstra, ‘Drijvende komma’ rekentechniek (ARRA subroutines RD1 en RD2), *MCR : MR-16* (Amsterdam 1954); E.W. Dijkstra, ‘In- en uitvoer van de ARRA’, *MCR : MR-14* (Amsterdam 1954); E.W. Dijkstra, ‘Het communicatieprogramma van de ARRA’, *MCR : MR-21* (Amsterdam 1955); E.W. Dijkstra, ‘Programmering voor de ARMAC, 3; Interpretatief programma voor drijvende komma berekening’, *MCR : MR-27* (Amsterdam 1956).



Superprogramma: Dijkstra's
 schriftje van het ontwerp van de
 ALGOL-compiler voor de X1

7. Subroutines en superprogramma's: ontwikkeling in het denken over programmeren

In de bijzondere sprongen voorwaarts die de Rekenafdeling maakte in het denken over programmeren, kwamen de traditie van de rekenpraktijk en moeizame weg naar het zelf bouwen van machines tot synthese. Het gebruik van de tafelrekenmachines was ingegeven geweest door de stijl van numerieke analyse. Rekenaars en rekenaarsters leerden dat uit het genoemde boek van Hartree; uit de *Interpolation and Allied Tables*, of door mondelinge kennisoverdracht van Van Wijngaarden. Was een berekening eenmaal uitgewerkt tot een procedure en in schema gebracht, dan wisten de rekenaarsters hoe te handelen. De boekhoud- en ponskaartenmachines waren ingewikkelder te bedienen; op deze apparaten kon men dan ook grotere stukken rekenwerk overdragen. Leveranciers brachten daarvoor handleidingen bij hun machines uit. De IBM-handleidingen waren bijvoorbeeld uiterst gedetailleerd en strikt in het voorschrijven van schakelingen. Het aanbrengen van nokken of het pluggen van snoeren was niet zo ingewikkeld, dat de Rekenafdeling er rapporten over uitbracht, maar een en ander was toch zoveel moeilijker dat het een zeker specialisme vergde, dat slechts door sommigen van de rekenaars en rekenaarsters werd beheerst. De Bull Gamma-3 vereiste zelfs zoveel inzicht, dat het voor de Nillmij de moeite loonde om speciaal voor het in werking brengen van dit apparaat iemand van het Mathematisch Centrum in te huren. Toch hoorde het 'programmeren' met draden of ponskaarten van dergelijke rekenmachines kennelijk tot de vanzelfsprekende kennis op de Rekenafdeling.

Bij de machines die de constructiegroep van de Rekenafdeling zelf bouwde, werden rapporten uitgebracht met aanwijzingen hoe deze te gebruiken en te programmeren. Dat 'programmeren' was van meet af aan een apart punt van aandacht. Kennelijk sprak dit niet meer vanzelf. Net als Wilkes dit in het Mathematical Laboratory te Cambridge had

gedaan, schreef Van Wijngaarden in Amsterdam een rapport ‘Programmeren voor de A.R.R.A.’, nog voordat die eerste ARRA gereed kwam.⁵⁰ In dit allereerste rapport uit 1951 legde hij uit wat een ‘woord’ was; dat zo’n woord op verschillende manieren geïnterpreteerd kon worden, namelijk als een geheel getal, als een breuk, als een opdracht of als een code. De notatie waarin programma’s in machinecode werden opgeschreven was eenvoudig: op iedere regel stond een instructie, te weten een adres gevolgd door de combinatie van opdracht, numeriek gedeelte of getal. In de rechter kantlijn was plaats voor enige toelichting: een uitleg voor de menselijke lezer. Van Wijngaarden had in Cambridge en op vele andere plaatsten zijn licht opgestoken en zijn rapport ademt wel degelijk een bepaalde stijl van werken, maar een mening over wat mooi programmeren is en wat lelijk – iets waar Van Wijngaarden zeker een visie op had – bracht hij in 1951 nog niet expliciet onder woorden. Zijn buitenlandse collega’s Wilkes, Wheeler en Gill gaven in hun rapporten en publicaties wel een richting aan door op te merken dat programma’s konden inwerken op programma’s, namelijk door zichzelf of andere programma’s te wijzigen en dat daar pas het ‘echte’ programmeren begon.

‘Programmeren’ als nieuwe activiteit was voor Van Wijngaarden wel belangrijk. Toen zich begin 1952 in Amsterdam een student aandeede die bij Maurice Wilkes in Cambridge een zomercursus had gevolgd in het werken met de computer, greep hij zijn kans. Hij stelde deze Edsger Dijkstra per 1 maart van dat jaar aan voor ‘de programmering van de ARRA’. Programmeur zou Dijkstra de rest van zijn leven blijven. Hoewel ook anderen, zoals Berghuis en Zonneveld, zich op het terrein van programmeren begaven, was Dijkstra binnen de Rekenafdeling degene die vooringing in het nadenken over programma’s en programmeren. Hij gaf instructie aan de eerste gebruikers van de ARRA-II en leidde rekenaarsters op tot programmeur. Dijkstra was ook gesprekspartner van de computerontwerpers van de ARRA-II en de FERTA, en later voor de ARMAC en de X1. De handleidingen voor al deze machines waren van zijn hand.

De eerste officiële cursus, ‘Programmeren voor automatische rekenmachines’, die ook toegankelijk was voor mensen van buiten het Mathematisch Centrum, gaven Dijkstra en Van Wijngaarden in 1955. Deze cursus behandelde het programmeren in het algemeen, maar ging wel in op een aantal specifieke aspecten van de ARRA. Twee jaar later werd de cursus herhaald, nu met concrete voorbeelden van de ARMAC.⁵¹

Het programmeren ging niet met nullen en enen, maar gebeurde via afkortingen. In de computer zelf waren alle gegevens natuurlijk binair (ook de instructies, getallen, adressen), maar de programmeurs werkten niet zo binair. De instructies hadden een code, (een goed te onthouden afkorting van de instructie – mnemonics) of gewoon een volgnummer. De ARRA, ARMAC en X1 hadden rond de twintig verschillende basisinstructies, die in volgorde waren genummerd. Getallen stonden ook in code vermeld: de tweetallige getallen in de computer stonden namelijk gecodeerd als tientallige getallen in de programma’s – de heroïsche claim dat programmeurs uit die begintijd lazen en schreven in een tweetallig of zestientallig stelstel, gaat in ieder geval voor het Mathematisch Centrum niet op. Een rij

⁵⁰ A. van Wijngaarden, ‘Programmeren voor de ARRA’, MCR: MR-7 (Amsterdam 1951); Maurice V. Wilkes, David J. Wheeler and Stanley Gill, *The Preparation of Programs for an Electronic Digital Computer* (London 1951) is de boekpublicatie van een rapport dat reeds in 1948 beschikbaar was.

⁵¹ E.W. Dijkstra en A. van Wijngaarden, ‘Programmeren voor automatische rekenmachines. Cursus 1955/56’, MCR : CR-7 (Amsterdam 1956); T.J. Dekker, E.W. Dijkstra en A. van Wijngaarden, ‘Cursus programmeren voor automatische rekenmachines’, MCR : CR-9 (Amsterdam 1957).

instructies (een programma) werd gewoonlijk opgeschreven in een smalle kolom, met in de rechterkantlijn toelichting, en links of rechts enige pijlen om de sprongen in de uitvoering van een programma te kunnen volgen. Elke regel die een programmeur ponste voor invoer in de computer had dezelfde vorm: beginletter, getal en eindletter. In de documentatie was het gebruikelijk om een programma tussen twee verticale lijnen te typen, opdat links en rechts buiten de lijnen het programma met regelnummers, sprongpijlen en andere uitleg geannoteerd kon worden.

Van Wijngaarden had in zijn rapport uit 1951 wel uitgelegd hoe een programma er uitzag en hoe subroutines gebruikt konden worden. Over het voor hem vanzelfsprekende deel van de rekenpraktijk, het programmeren, het omzetten van een wiskundig probleem in een programma dat dit probleem oploste, gaf hij weinig uitleg. In de rapporten over de ARRA-II behandelde Dijkstra dat aspect juist wel. Het rapport 'Functionele beschrijving van de ARRA' bevatte het hoofdstuk 'De taak van de programmeur'. Dijkstra beschreef daarin het programmeren in vijf stappen:

- 1^e mathematische formulering van het probleem,
- 2^e mathematische oplossing van het probleem,
- 3^e keuze of constructie van numerieke processen, die (in het licht van 2^e) tot het gewenste antwoord leiden,
- 4^e programmering: gedetailleerde opbouw van de onder 3^e genoemde processen uit de elementaire bewerkingen, waartoe de machine in staat is,
- 5^e codering: uitschrijven van het programma in de code der machine, zodat hierna de band onmiddellijk geponst kan worden.⁵²

Deze stappen weerspiegelden nog precies de aanpak van de numerieke analyse, de stijl van Hartree en van Van Wijngaarden. Maar eenmaal op dit punt aangekomen zette Dijkstra een wezenlijke stap verder. Hij weidde niet meer uit over de eerste drie stappen, maar concentreerde zich volledig op het schrijven van programma's. Voor de vierde stap formuleerde hij nu een zestal idealen:

- maximale snelheid,
- minimale geheugenruimte,
- maximale veiligheid,
- maximale accuratesse,
- maximale souplesse en
- maximale overzichtelijkheid.

Dijkstra's reflecties boden hem dus criteria voor de kwaliteit van programma's. Hij had ideaalbeelden van goed gebruik van de machine en van goed denkwerk van de programmeur. Een typisch programma bestond voor Dijkstra uit opdrachten die herhaaldelijk werden uitgevoerd. Eigenlijk was dit ook een karakterisering van een automatische rekenmachine: het automatisch uitvoeren van veel berekeningen. In de twee handboeken voor de FERTA en het rapport over de ARMAC beschreef Dijkstra enkel de machine zelf zonder die reflecties op het programmeren in het algemeen. Voor de ARMAC echter

⁵² E.W. Dijkstra, 'Functionele beschrijving van de ARRA', *MCR : MR-12* (Amsterdam: 1953) 33.

schreven Edsger Dijkstra en met hem Nora Bakker, Loes Vasmel en Dirk Dekker een aantal rapporten met interpretatieve programma's die toonden dat het denken over programmeren zich in hoog tempo ontwikkelde.⁵³

Het hoe en wat van programmeren kwam in de eerdergenoemde cursussen van 1955 en 1957 uitgebreid aan de orde. De uitleg was hier losgemaakt van het bedienen van een speciale machine, hoewel het programmeren nog dicht op de machine zat. Een groot deel van de cursus was gewijd aan subroutines van verschillende aard. Het nut van standaard subroutines werd uitgelegd. Door de herbruikbaarheid ervan verminderde de kans op fouten, zowel als de benodigde programmeertijd. Expliciet gingen de docenten in op de kwaliteit van programma's en subroutines. Naast subroutines die de taak vervulden om veel voorkomende rekenkundige bewerking uit te voeren, waren er ook subroutines met een coördinerende taak; deze werden administratieve subroutines genoemd.

Schijnbaar in het verlengde van subroutines, maar technisch helemaal in de andere richting, lagen de zogenaamde 'superprogramma's'. Een subroutine werd aangeroepen in een programma; een superprogramma riep andere programma's en subroutines aan en manipuleerde ze. De term 'superprogramma' werd in de cursus gebezigd om die programma's aan te duiden die de taak hadden om andere programma's te onderzoeken, te interpreteren of op een andere manier met of op programma's werken. Het doel van deze programma's, zoals een invoerprogramma of een drijvende komma programma, was om het leven van de programmeur gemakkelijker te maken. Het lijkt erop dat de term 'superprogramma' buiten de cursus, althans in de andere besproken rapporten niet gebruikt werd. Toch weerspiegelde precies deze notie de nieuwste internationale ontwikkelingen in het programmeren: programma's die andere programma's zouden genereren. Een 'superprogramma' was iets dat inwerkte op een 'objectprogramma' en dit omzette in een nieuw programma (een nieuw programma genereerde). Het trefwoord daarvoor was *autocoding systems*. Gedacht werd over programma's die het programmeren zouden automatiseren. De behandeling van superprogramma's laat zien dat Dijkstra en zijn collega's op het Mathematisch Centrum in diezelfde richting dachten. Deze superprogramma's maakten, vanuit het perspectief van de gebruiker, onderdeel uit van het computersysteem, het waren systeemprogramma's.

Een belangrijke klasse superprogramma's was de klasse van het interpreterende programma: programma's die 'het objectprogramma wezenlijk kunnen interpreteren, d.w.z.

53 E.W. Dijkstra, 'Handboek voor de programmeur (FERTA) I', *MCR : MR-17* (Amsterdam 1955); E.W. Dijkstra, 'Handboek voor de programmeur (FERTA) II', *MCR : MR-20* (Amsterdam 1955); E.W. Dijkstra, 'Korte beschrijving van de opdrachtencode etc. voor de ARMAC', *MCR : MR-23* (Amsterdam 1956); E.W. Dijkstra, 'Het standaard typprogramma van ARMAC', *MCR : MR-24* (Amsterdam 1956); E.W. Dijkstra, 'Programmering voor de ARMAC, 1; Algemeen', *MCR : MR-25* (Amsterdam 1956); E.W. Dijkstra, 'Programmering voor de ARMAC, 1a; Algemeen', *MCR : MR-25a* (Amsterdam 1957); E.W. Dijkstra, 'Programmering voor de ARMAC, 2; De inhoud der geblokkeerde kanalen', *MCR : MR-26* (Amsterdam 1956); E.W. Dijkstra, 'Programmering voor de ARMAC, 3; Interpretatief programma voor drijvende komma berekening', *MCR : MR-27* (Amsterdam 1956); N.C. Bakker, 'Programmering voor de ARMAC, 3a; Interpretatief programma voor complexe getallen met drijvende komma's', *MCR : MR-27a* (Amsterdam 1957); L. Vasmel-Kaarsemaker, 'Programmering voor de ARMAC, 4; Interpretatief programma voor het werken met 6-voudige lengte getallen', *MCR : MR-28* (Amsterdam 1957); E.W. Dijkstra, 'Programmering voor de ARMAC, 5; Interpretatief programma voor breuken van dubbele lengte', *MCR : MR-29* (Amsterdam 1957); T.J. Dekker, 'Programmering voor de ARMAC, 6; Matrix complex RAM', *MCR : MR-30* (Amsterdam 1959).

met inachtneming van de werking van het objectprogramma.⁵⁴ De cursus onderscheidde drie verschillende soorten interpreterende programma's: *interpreters die machinecodes* in het geheugen interpreteerden, *interpreters die objectcodes* (anders dan machinecodes) in het geheugen interpreteerden en *interpreters die objectcodes vanuit de invoer* omzetten in machinecode-instructies.

De eerste soort interpreterende programma's vormden samen met de machine waarop ze draaiden een nieuwe machine die vergelijkbaar was met de originele machine:

[E]en pseudo-machine, die handelt als de echte machine, maar daar[b]ij nog voortdurend verslag uitbrengt van zijn handelingen als een neurotische patiënt aan de psychiater (namelijk de programmeur). [...] Het interpreterende programma moet zelf een pseudo-machine bijhouden in de vorm van een aantal adressen gebruikt als pseudo-opdrachtsteller, pseudo-rekenregister, pseudo-condities, enz.⁵⁵

De tweede soort interpretatieve programma's interpreteerde programma's die reeds in het geheugen van de machine aanwezig waren, maar niet in de machinecode gesteld waren. Deze programma's, draaiend op een machine, vormden een pseudo-machine met nieuwe functionaliteit, bijvoorbeeld het rekenen met drijvende komma. Omdat deze programma's traag waren, was het van belang om te kunnen wisselen van interpretatieve modus naar niet-interpretatieve modus: een groot deel van een programma bestond uit administratieve handelingen, en die konden net zo goed op de echte machine uitgevoerd worden. De interpretatieve programma's die Dijkstra en Bakker in die jaren voor de ARMAC schreven waren van deze soort. Wat zo-even leek een subroutine Bdi te zijn, verscheen bij nader inzien als superprogramma!

De laatste soort interpretatieve programma's werkte op programma's op ponsband. Deze programma's konden op twee manieren worden verwerkt: het programma werd vertaald naar een equivalent programma in machinecode of het superprogramma interpreteerde de programmaregels stuk voor stuk en voerde die uit. Het invoerprogramma was het voorbeeld bij uitstek van de eerste verwerkingswijze. De programmeurscode werd omgezet in machinecode en het programma werd in het geheugen klaargezet waarna het uitgevoerd kon worden.

Niet alle superprogramma's waren gedoemd zich zo neurotisch te tonen als die van het eerste type:

In het algemeen kan men zeggen, dat een schier eindeloze hoeveelheid 'kennis' in de superprogramma's kan worden opgeslagen, zodat het converseren met de machine meer het karakter krijgt van het praten tot een collega in plaats van tegen een imbeciele slaaf.⁵⁶

Dekker, Dijkstra en Van Wijngaarden brachten met deze beschouwingen het denken over programmeren op een hoger plan, op een niveau dat aansloot bij de internationale ontwikkelingen. De aanvankelijk gedwongen distantie van de rekenpraktijk – men had immers tot 1954 geen werkende machine en had zich niet eens kunnen verliezen in de praktijk van het automatische rekenwerk; men was genoopt te in abstracto te dromen van grote machines – heeft hier wellicht een gunstige invloed gehad. Belangrijker was

⁵⁴ Dekker, Dijkstra en Van Wijngaarden (n. 51) 103.

⁵⁵ Ibidem, 104.

⁵⁶ Ibidem, 106.

het hoge aspiratieniveau, dat enerzijds zorgde voor niet direct geslaagde machinebouw, anderzijds voor een hoog niveau van werken aan programmeren. Aan de interpretatieve programma's voor de ARMAC van Dijkstra, Bakker, Vasmel en Dekker is te zien hoe men dit uitwerkte in de richting van de praktijk van het rekenwerk op de computer.⁵⁷ Het regime van numerieke analyse was hierbij niet geheel losgelaten, maar had onder invloed van Dijkstra een flinke accentverschuiving ondergaan.

Complexen

Waar het in de praktijk toe leidde waren complexen. De superprogramma's die werkelijk praktisch uitgewerkt werden, groeiden uit tot hele systemen van programma's die programma's aanriepen, controles op programma's uitvoerden en onderwijl het geheugen op orde hielden en de invoer en de uitvoer regelden. In het Engels heetten dergelijke programma's *systems*. In het Nederlands van de jaren vijftig spraken de programmeurs van het Mathematisch Centrum van *complexen*. 'Programmering voor de ARMAC, 6; Matrix complex RAM' van Th. J. Dekker is hiervan een expliciet voorbeeld.

In zijn wisselwerking met de machine-ontwerpers van de constructiegroep tijdens het maken van de ARMAC, ging Dijkstra radicaal voort op de hier ingeslagen weg.⁵⁸ Zijn interruptiesysteem voor de X1 was een superprogramma *par excellence*. Zoals de subroutines voor het rekenen met matrices door Th. J. Dekker werden samengebracht in een Matrix-complex RAM, zo bracht men ook stelsels van administratieve subroutines samen, en begaf zich daarmee op de weg naar een besturingssysteem. Dijkstra en Zonneveld schreven in 1960 een beroemd geworden superprogramma voor de X1, een compiler voor ALGOL, dat wil zeggen een programma dat in ALGOL 60 geschreven programma's vertaalde in programma's in machinecode. Zij zagen zich genoodzaakt om als onderdeel van deze compiler allerlei huishoudelijke subroutines te schrijven. Zij brachten deze administratieve routines bijeen in een samenhangend stelsel dat ze 'het complex' noemden.⁵⁹ Hier was een besturingssysteem geboren. Elders waren dit soort complexen reeds bekend als *operating system*, in dit geval ontstond het als spin-off van een compiler.

De superprogramma's waren in de praktijk complexen, stelsels van programma-genererende routines, programma's die op programma's werkten. De voorbeelden waren invoer- uitvoerprogramma's, interpretatieve programma's, compilers, besturingssystemen, precies al die types programma die in dezelfde tijd elders ook opkwamen en de naam *software* kregen.

8. Conclusie

Het rekenwerk aan het Mathematisch Centrum vertoont opvallende continuïteit in aanpak en stijl van de oprichting van de Rekenafdeling op 1 december 1947 tot de installatie van de Electrologica X1 computer. Ook bij de inzet van computers bleef de aanpak van modelleren, via algorithmes en het opstellen van rekenschema's, die typerend was voor numerieke analyse, gehandhaafd. In de algemene beschrijving van programmeren her-

⁵⁷ Vgl. (n. 53).

⁵⁸ E.W. Dijkstra, *Communication with an automatic computer* (Amsterdam 1959).

⁵⁹ F.E.J. Kruseman Aretz., 'The Dijkstra-Zonneveld ALGOL 60 compiler for the Electrologica X1', *CWI Report SEN-No301* [historical note SEN, 2] (Amsterdam 2003).

haalde Dijkstra dit nog eens in een beschrijving in vijf stappen. Zolang het rekenwerk in de vorm van opdrachten werd aangenomen, bleef deze aanpak gehandhaafd. Op het moment dat de computer betrouwbaar genoeg functioneerde om klanten rechtstreeks toegang te verschaffen (dit was het geval met de installatie van de ARMAC midden 1956) bewaakte de Rekenafdeling niet langer deze benadering en hing de stijl van rekenen veeleer van de klant zelf af.

Ondanks de bluf waarmee Van Wijngaarden het Mathematisch Centrum in 1952 het computertijdperk binnenloodde, beschikte dit instituut pas in 1954 over een werkende computer. Hetzelfde hoge aspiratieniveau dat telkens grotere machines projecteerde en daardoor evenzeer gedroomde als reële machines opleverde, zorgde voor een hoog niveau van nadenken over en werken aan programmering. Misschien waren programma's wel gedroomde machines. In het herhalen van de vijf stappen van de numerieke analyse zorgde Dijkstra voor een wezenlijke accentverschuiving door in te gaan op de taak van de programmeur en voor dat werk kwaliteitscriteria te formuleren. De conceptuele ontwikkeling leidde tot het begrip van superprogramma's voor programma's die op programma's werken. Praktische voorbeelden van automatisch programmeren, *auto-coding*, werden *complexen* genoemd. De ontplooiing van het programmeren bracht de Rekenafdeling op internationaal niveau in de vroege software. De ALGOL-compiler voor de X1 van Dijkstra en Zonneveld bezorgde het Centrum zelfs een internationaal vooraanstaande positie op dit nieuwe terrein. Dankzij het dromen van 'electronische rekenautomaten' kon het Mathematisch Centrum in 1960 op topniveau meedoen in de ontwikkeling van software.

SUMMARY

AERA. Dream machines and computing practices at the Mathematical Center

Dream machines may be just as effective as the ones materialised. Their symbolic thrust can be quite powerful. The Amsterdam 'Mathematisch Centrum' (Mathematical Center), founded February 11, 1946, created a Computing Department in an effort to realise its goal of serving society. When Aad van Wijngaarden was appointed as head of the Computing Department, however, he claimed space for scientific research and computer construction, next to computing as a service. Still, the computing service following the five stage style of Hartree's numerical analysis remained a dominant characteristic of the work of the Computing Department.

The high level of ambition held by Aad van Wijngaarden led to ever renewed projections of big automatic computers, symbolised by the never-built AERA. Even a machine that was actually constructed, the ARRA which followed A.D. Booth's design of the ARC, never made it into real operation. It did serve Van Wijngaarden to bluff his way into the computer age by midsummer 1952. Not until January 1954 did the computing department have a working stored program computer, which for reasons of policy went under the same name: ARRA. After just one other machine, the ARMAC, had been produced, a separate company, Electrologica, was set up for the manufacture of computers, which produced the rather successful X1 computer.

The combination of ambition and absence of a working machine lead to a high level of work on programming, way beyond the usual ideas of libraries of subroutines. Edsger W. Dijkstra in particular led the way to an emphasis on the duties of the programmer within the pattern of numerical analysis. Programs generating programs, known elsewhere as *autocoding systems*, were at the 'Mathematisch Centrum' called 'superprograms'. Practical examples were usually called a 'complex', in Dutch, where in English one might say 'system'. Historically, this is where software begins. Dekker's matrix complex, Dijkstra's interrupt system, Dijkstra and Zonneveld's ALGOL compiler – which for housekeeping contained 'the complex' – were actual examples of such super programs. In 1960 this compiler gave the Mathematical Center a leading edge in the early development of software.