

STICHTING  
MATHEMATISCH CENTRUM  
2e BOERHAAVESTRAAT 49  
AMSTERDAM

DR 19

Automatisering in de wetenschap.

ische statistische berichten, (1957), nr 2103).

A. van Wijngaarden.



1957

*Automatisering*  
*in de*  
*wetenschap*

DOOR

Prof. Dr. Ir. A. VAN WIJNGAARDEN



# Automatisering in de wetenschap



Bovenstaande titel schijnt reeds een tegenspraak in te houden. Immers is wetenschap evenals kunst nu juist niet een vorm van menselijke activiteit, waarin het scheppende en originele element, dus juist het element dat niet automatiseerbaar lijkt, onmisbaar is? Inderdaad is dit juist, maar evenzeer is het juist dat aan vrijwel alle wetenschappelijk werk ook een grote hoeveelheid routinewerk is verbonden.

Een voorbeeld van zulk routinewerk is het aflezen van instrumenten. Nu is dit ten dele sinds lang geautomatiseerd. Iedereen kent wel de zelfregistrerende thermometers en barometers, maar sommigen zullen dit soort automatisering niet als helemaal „echt” erkennen; het is veel te bekend en te eenvoudig. Voor hen zijn er echter ook wel voorbeelden van moderne automaten in de wetenschap aan te wijzen, zoals bijv. de meetmachine van het Watson Laboratory in New York. Deze meet op fotografische platen de positie van sterren. „Ruwweg”, d.w.z. met een precisie van een tiende mm, zijn deze posities bekend en op ponskaarten gegeven. De machine leest een kaart en werpt een lichtbundel van ruim een tiende mm middellijn op die plaats op de plaat en een sterk vergrote projectie toont de operateur, of de gezochte ster zich werkelijk binnen deze lichtcirkel bevindt. Zo ja, dan drukt deze op een knop en de machine zoekt nu zeer nauwkeurig het lichtste plekje in de buurt op de plaat, dat is het middelpunt van de gezochte ster, pons in de kaart de nauwkeurige positie, in een vijfde micron nauwkeurig, en leest de volgende kaart. De machine is aanzienlijk nauwkeuriger en sneller dan de mens door het uitschakelen van de vermoeiing. Wonderen van precisie als dit soort automaten zijn, zij zijn te speciaal om in groter verband interessant te zijn.

Dit kan zeker niet gezegd worden van de elektronische rekenmachine, zinnebeeld als geen ander van de automatisering in moderne zin; door wetenschappelijke mensen ontworpen voor wetenschappelijke berekeningen en later ook toegepast op andere gebieden, zoals bijv. de administratie. Wat deze automaat voor de moderne wetenschap betekent, kan men slechts beseffen als men weet wat voor soort berekeningen tegenwoordig worden uitgevoerd. Een goed rekenaar met een elektrische rekenmachine kan misschien duizend vermenigvuldigingen per dag uitvoeren, dus misschien een kwart miljoen per jaar. Een elektronische rekenmachine heeft hiervoor zeg één uur nodig en kan dus in een dag werken ongeveer evenveel verzetten als een rekenaar in zijn leven, tenminste wat de routine-arbeid betreft. Nu rijst dus allereerst de vraag wie er dan wel geïnteresseerd kan zijn in de uitkomst van dit soort berekeningen en voorts, wat dit voor repercussies heeft op de wetenschap zelf.

Natuurlijk zijn allereerst de natuurwetenschappen gebaat bij dit verlengstuk van de wiskunde en de meest voor de hand liggende voorbeelden zijn daar te vinden. Bijv. is daar het onderzoek naar de bouw van moleculen met behulp van röntgenstralen. Dit is op zichzelf geenszins nieuw. In een kristal zijn de atomen van de verschillende elementen, waaruit de stof is opgebouwd, gerangschikt volgens een ingewikkeld periodiek patroon. Röntgenstralen worden er op zekere wijze door verstrooid en de experimentator kan deze verstrooiing fotograferen als een stel stippen, waarvan plaats en „zwarting” direct samenhangen met het patroon. Kennen we dit patroon, dan is het stippenbeeld weliswaar niet eenvoudig, maar toch zonder principiële moeilijkheden te berekenen. Dit is overigens al een geweldige berekening als het een ingewikkeld patroon betreft. Omgekeerd is echter het probleem, juist uit het stippenbeeld het patroon te vinden. Dit is indien het patroon ingewikkeld is, rekenwerk van de omvang waar boven over werd gesproken.

Het is tot op zekere hoogte juist, dat zulke analyses tot voor kort onmogelijk waren; niet door fysische of chemische moeilijkheden, maar uitsluitend doordat een mens niet genoeg kon rekenen. Hier heeft de automatisering dus tot effect, niet zozeer de veraangenaming van de menselijke arbeid, als wel het „überhaupt” mogelijk maken van het onderzoek. De bepaling van de structuur van het vitamine B12 is hiervan een voorbeeld.

Alvorens een machine echter een dergelijke berekening kan uitvoeren, moet een programma worden gemaakt. Is het niet zo dat de moeilijkheden van de rekenaar worden afgeschoven op de programmeur? Dit is tot op zekere hoogte juist. Het programmeren vereist inderdaad aanzienlijke arbeid, maar het is natuurlijk niet zo dat voor iedere berekening een nieuw programma gemaakt hoeft te worden. Als men een programma heeft, dat tien vergelijkingen met tien onbekenden kan oplossen, dan hoeft men in elk voorkomend geval slechts de in die vergelijking voorkomende getallen aan de machine mede te delen, maar dat programma hoeft nooit te worden veranderd. In werkelijkheid geldt zo'n programma niet alleen voor tien vergelijkingen, maar direct algemeen voor  $n$  vergelijkingen met  $n$  onbekenden. Men zal in het algemeen trachten, door programma's zo universeel mogelijk te maken, zich het leven later gemakkelijker te maken ten koste van een weinig meer investering van geestelijke arbeid.

Daar komt nog een gelukkige omstandigheid bij. Ondanks het feit, dat de vraagstukken die een fysicus, een ingenieur of een econoom op te lossen hebben, natuurlijk heel verschillend zijn, zijn zij voor de wiskundige vaak toch min of meer gelijk en dus ook met dezelfde of ongeveer dezelfde programma's op te lossen. Een fysicus of technicus is wellicht geïnteresseerd in de trillingen van atomen ten opzichte van elkaar in moleculen. Dergelijke trillingen hebben zekere frequenties die van groot belang zijn voor allerlei verschijnselen en die ook berekend kunnen worden. De wiskundige noemt het de bepaling van de eigenwaarden van een matrix. De ingenieur heeft te maken met trillingen in machine-onderdelen en vliegtuigvleugels. Dit klinkt verwant en inderdaad kan het vraagstuk tot hetzelfde wiskundige probleem worden herleid.

Nu een geheel ander geval. Een landbouwkundige bestudeert de opbrengst van proefvelden, een psycholoog de resultaten van tests, een econoom de handelsstatistieken. Zij allen staan voor de vraag welke combinatie van de zo voor de hand liggende uitwendige omstandigheden bepalend is voor de resultaten. Men meet omstandigheden  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , als bemestingsgraad, kalkgehalte, of in ander verband rentevoet en invoerrechten, maar misschien hangt het resultaat als korrelgrootte of nationaal inkomen bijna uitsluitend af van de combinatie  $a + 2b - 3c$ . Het zal wel duidelijk zijn, dat al zulk soort vraagstukken

van hun landbouwkundig of economisch kleeft te ont-  
doen zijn en uit wiskundig oogpunt dus gelijk zijn. Maar  
niet evident is, dat dit vraagstuk dan ook hetzelfde is als  
dat van de trillingen!

Trouwens bij de studie van de onregelmatigheden in de  
beweging van planeten treedt hetzelfde vraagstuk op,  
ja zelfs het probleem opgelost door Columbus, het op  
de punt zetten van het ei, is wiskundig hetzelfde! Het is  
deze verbazingwekkende unificerende werking van de  
wiskundige beschouwingwijze die de toepassing van de  
rekenrobot in de wetenschap eerst recht mogelijk maakt.  
Het moeizame werk van het programmeren wordt enorm  
verlicht doordat de werkelijk moeilijke kernproblemen  
bij de schijnbaar meest uiteenlopende vraagstukken  
identiek zijn.

Zoals reeds aangeduid ligt de betekenis van het auto-  
matisch rekenen voor wetenschap en techniek nauwelijks  
erin, dat het nu zoveel makkelijker en sneller gaat, maar  
veeleer hierin, dat nu geschieden kan wat vroeger nood-  
zakelijk achterwege moest blijven, ja waarvan men niet  
durfde dromen. Dit kan zelfs nu en dan principiële ge-  
volgen hebben, nl. als men met de echte tijd moet con-  
curreren.

Een sprekend voorbeeld is de numerieke weersvoor-  
spelling. Zo ten naaste bij kent men de gecompliceerde  
differentiaalvergelijkingen waaraan „het weer” gehoor-  
zaamt en die de natuur oplost. De mens is erin geïnteres-  
seerd deze oplossing al eerder te weten en sinds jaren is  
men bezig te trachten dit te bereiken. Niet met de ge-  
bruikelijke methode, maar door deze vergelijkingen  
numeriek op te lossen, en niet zonder succes. Het is duide-  
lijk, dat afgezien van het zuiver theoretische aspect, de  
praktische betekenis ervan staat of valt met de vraag of  
men snel genoeg kan rekenen om de natuur aanzienlijk  
voor te komen!

Ook economische vragen spelen een rol. Bij een  
gegeven type machine, dat men ter beschikking heeft  
kan men redelijkerwijze slechts die vraagstukken op-  
lossen die een bepaalde complexiteit niet te boven  
gaan, tenzij redenen van extreme urgentie aanwezig  
zijn. Indien een wetenschappelijk rekeninstituut een  
vraagstuk op te lossen krijgt, waarvoor honderden  
machine-uren nodig zijn, dan zal men wel heel erg van de  
belangrijkheid overtuigd moeten zijn eer men dit accep-  
teert. Omgekeerd stijgen de eisen, die de wetenschaps-

beoefenaars aan de rekenaars stellen min of meer met het wereldpeil, en wil het instituut dus interessant blijven voor de gebruikers dan zal het ervoor moeten zorgen met zijn tijd mee te gaan. Er ligt hier een typisch verschil tussen het wetenschappelijk instituut, waaraan eisen gesteld worden, zoveel als maar redelijk zijn voor de tijd, en het niet-wetenschappelijk instituut, waar de vraag weliswaar ook met de tijd groeit, maar waarbij onbeperkte groei der vraagstukken niet als ideaal wordt gesteld. Als hier gesproken wordt van instituut kan dit natuurlijk zowel een onderdeel van het researchcentrum zijn, waar de problemen ontstaan, zoals bijv. een rekenafdeling van een vliegtuigfabriek, als wel een zelfstandig instituut, dat service verleent aan anderen.

Zulk een instituut in Nederland is bijv. het Mathematisch Centrum in Amsterdam en enige daaraan ontleende gegevens mogen het bovenstaande illustreren. Jaren geleden beschikte het Mathematisch Centrum over de machine ARRA, met een snelheid van ongeveer 50 opdrachten per seconde; in 1956 kwam ARMAC gereed met ca. 1.000 opdrachten per seconde en in de nabije toekomst de X 1 met ca. 10.000 opdrachten per seconde. Laten we de machines noemen 2, 3, 4 en de snelheden schematiseren als 100, 1.000 en 10.000 per seconde. Het nummer van de machine geeft het aantal nullen in het aantal opdrachten per seconde. Deze ordes van grootte zijn trouwens ook min of meer representatief voor vele andere machines op de wereld.

Dezer dagen geschiedde op machine 3 een stel berekeningen voor een technisch wetenschappelijk researchlaboratorium. Van een aantal getalrijen moesten zgn. spectrale dichtheden worden berekend. Per geval moesten o.a. een derde miljoen vermenigvuldigingen worden verricht en er waren vier gevallen. Machine 3 had per geval 75 minuten nodig en de opgave is dus verre van triviaal, maar aaneengesloten berekeningen welke niet meer dan enkele uren duren zijn nog heel redelijk uit te voeren zonder veel overlast van storingen te hebben. Machine 2 zou voor dit vraagstuk meer dan 12 uur nodig gehad hebben. Dit betekent, dat speciale voorzorgen genomen zouden moeten worden om de nu desastreuze gevolgen van een storing het hoofd te kunnen bieden, wat weer extra tijd met zich brengt. In plaats van zo maar een berekening zou het een aanzienlijke inspanning betekend hebben om werkelijk alle antwoorden op tafel te leggen. Ervaring leert, dat de

snelheidsfactor 10 onder omstandigheden als deze vaak beslissend is voor het eenvoudig gelukken of niet gelukken van de berekening. Wat zou machine 4 nodig hebben? Enkele minuten per geval. Dit is zo kort, dat storingen oninteressant zijn. Dat is zelfs verbluffend kort, maar men zou zeggen, dat machine 3 het „sometje” toch binnen een dag klaar kreeg en dat dit toch wel mooi genoeg is. Dit is juist als een dergelijke berekening niet te vaak terugkeert. Maar wat te beginnen als het researchlaboratorium de gegevens voor deze berekeningen vele malen per dag kan gaan leveren? Dat betekent dan dat machine 4 (of 5?) aan het werk dient te worden gezet en omgekeerd dat dergelijke onderzoeken alleen maar verricht kunnen worden bij gratie van de zeer snelle rekenmachines.

Amsterdam.

A. VAN WIJNGAARDEN.