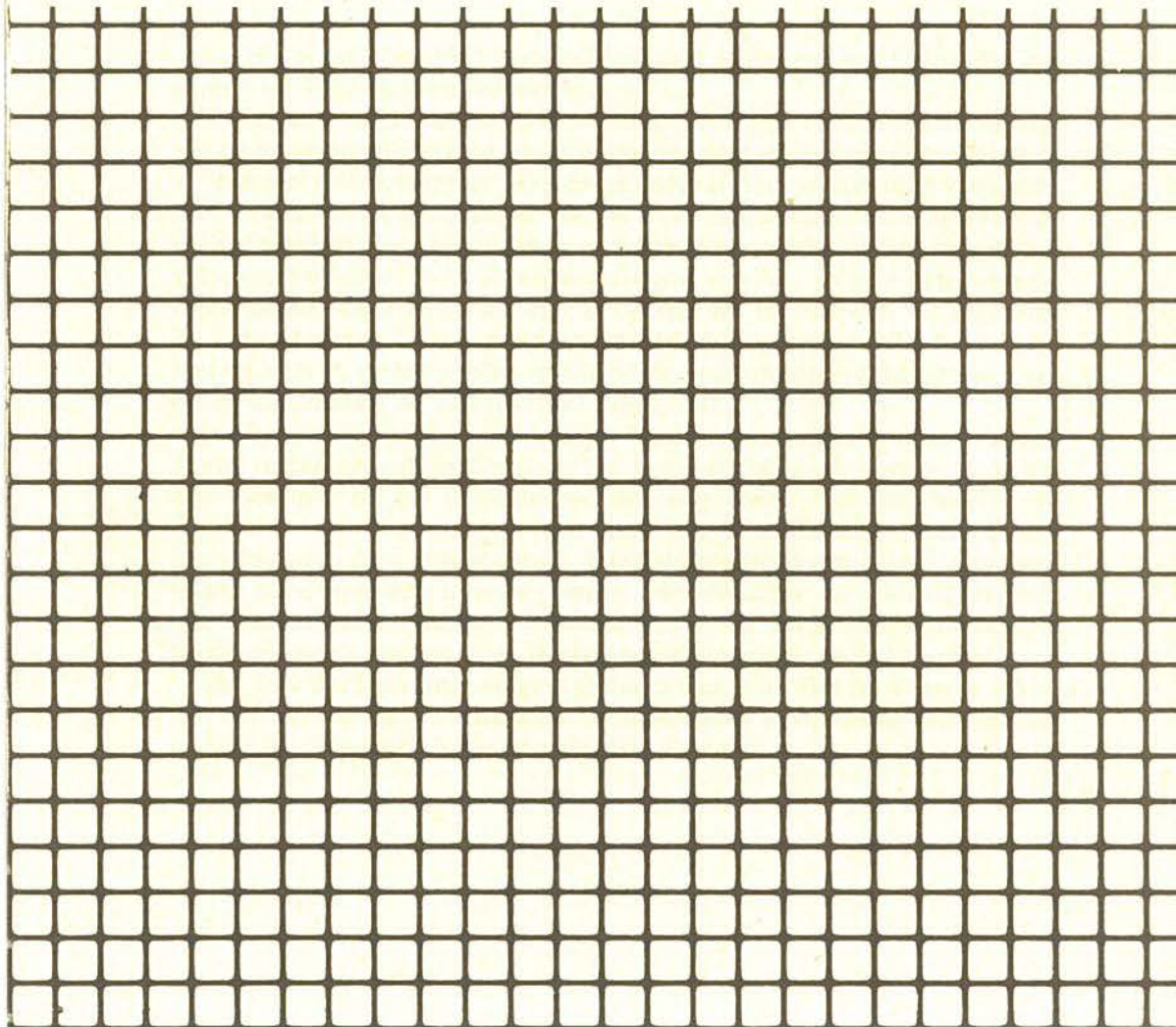


Wiskunde en informatica: een toekomstbeeld

ARCHIEF



Centrum voor Wiskunde en Informatica
Centre for Mathematics and Computer Science



Wiskunde en informatica: een toekomstbeeld

Sinds 1 september 1983 heet het Instituut Mathematisch Centrum *Centrum voor Wiskunde en Informatica*.

Vanaf haar oprichting in 1946 werd op het Mathematisch Centrum zuiver en toegepast onderzoek verricht op vele deelgebieden van de wiskunde – “inclusief de informatica”. Op dit moment is deze voorstelling van zaken niet meer in overeenstemming met de wetenschappelijke en politieke realiteit. De informatica heeft zich ontwikkeld tot een zelfstandige en veelomvattende discipline. Door de naamswijziging worden, volgens hedendaagse opvattingen, de activiteiten van het Centrum in verleden en toekomst beter beschreven. Tevens wordt zo tot uitdrukking gebracht dat fundamenteel onderzoek op het gebied van de beide *structuurwetenschappen* wiskunde en informatica op één instituut thuishoort.

De bundel die u thans in handen heeft bevat beschrijvingen van een aantal onderzoeksprojecten zoals die thans en, naar wij hopen, in de nabije toekomst op het Centrum worden uitgevoerd. Het gaat hierbij om een breed scala van onderwerpen: van multigrid-methoden tot rechte lijnige programmeertalen, van absoluut determinisme tot puur toeval, van symmetrie tot chaos, en, in het algemeen, van wiskunde tot informatica, met speciale aandacht voor de doorsnede van beide vakgebieden die het bestaan van een *Centrum voor Wiskunde en Informatica* rechtvaardigt.

Het stuk dat hieronder volgt is globaler van aard. Het probeert te schetsen hoe de wereld der wiskunde en informatica er op dit moment uitziet en wat dat impliceert voor de volgende decennia.

1. *Plaats van wiskunde en informatica in het spectrum der wetenschappen*

Of wiskunde en informatica α -, β - of γ -wetenschappen zijn is nog altijd een open vraag. Traditioneel worden ze tot de β -wetenschappen gerekend, voor α is ook veel te zeggen, en voor γ weinig. Von Weizsäcker omzeilt het probleem door wiskunde en informatica in te delen in een eigen groep: die der structuurwetenschappen.¹

Beide disciplines houden zich bezig met *analyse* en *synthese*. De analyse richt zich op het nagaan van de structurele gevolgen van bepaalde veronderstellingen, en de synthese op het construeren van abstracte objecten met bepaalde eigenschappen. Dergelijke werkzaamheden zijn alleen mogelijk als er een *conceptueel apparaat* is opgebouwd, bestaande uit begrippen en uit methoden en technieken om in termen van die begrippen analyses en syntheses uit te voeren. Een zo ontstaan apparaat blijkt vaak ruimer toepasbaar dan alleen op het probleem waaruit het oorspronkelijk voortkwam.²

Wat doet een wiskundige of informaticus, wanneer hij wordt geconfronteerd met een *reëel* probleem? Als regel probeert hij een *model* te construeren waarin de relevante aspecten van het probleem zijn bevat en de andere worden genegeerd. Hij denkt verder in termen van dit model, dat wil zeggen minstens één stap verwijderd van de werkelijkheid. Zo'n model kan verscheidene vormen aannemen. Bijvoorbeeld:

- (1) een simulatiemodel: zo iets als een denkbeeldige kopie van het probleem binnen een computer;
- (2) een formele taal;
- (3) een stelsel differentiaalvergelijkingen;
- (4) een optimaliserings- of besturingsprobleem;
- (5) een algebraïsche en/of meetkundige structuur.

Met elk type model is van nature een aantal vragen geassocieerd. Voor formele talen: bestaat er een grammatica? Zo ja, hoeveel, en van welke soort? Voor stelsels differentiaalvergelijkingen: bestaan er oplossingen? Beschrijf de collectie van alle oplossingen.

Veel wiskunde en informatica houdt zich bezig met het ontwerpen en analyseren van modellen, algemeen genoeg om interessant te zijn en specifiek genoeg om beantwoording van onze vragen toe te laten. Dit leidt tot het ontwikkelen van allerlei gereedschap voor het ontwerpen en analyseren van modellen. Wanneer een onderzoeker bijvoorbeeld ontdekt dat sommige modellen van type (3) op systematische wijze in elkaar kunnen worden getransformeerd, dan ontstaat het begrip transformatiegroep met zijn eigen vragen: hoeveel zijn er, zijn er ook die niet uit differentiaalvergelijkingen voortkomen, enz. En voor het analyseren van transformatiegroepen worden weer andere objecten geconstrueerd. Zulke abstractietorens kunnen veel verdiepingen hebben. Het is bij de analyse van objecten op een bepaalde verdieping vaak verstandig gebleken de motivatie één verdieping lager te vergeten.

2. Enige recente geschiedenis

De informatica is al geruime tijd zo krachtig in ontwikkeling dat men licht het gevoel krijgt dat dit zo niet lang meer kan voortduren. De feiten zijn anders: het kan niet alleen, het gaat ook steeds sneller. Dit is algemeen bekend en duidelijk zichtbaar.

Minder duidelijk zichtbaar is de wiskunde die zit achter bijvoorbeeld het ontwerpen van telecommunicatienetten, de besturing van satellieten, de analyse van seismische trillingen bij geologische exploratie, de planning van productieschema's, de constructie van cryptosystemen, de voorspelling van de uitslagen vóór verkiezingen en de verdeling van de restzetels erna. En minder algemeen bekend is dat de wiskunde, de wetenschap waartoe de informatica ooit heeft behoord, zelf ook een ontwikkeling van vergelijkbare proporties doormaakt.

Voor beide geldt dat de ontwikkelingen in de komende twintig jaren spectaculair beloven te zijn. Vele successen zullen worden behaald door het plukken van de vruchten van een lange voorbereidingsperiode (ca. 1900-1970). Deze periode werd gekenmerkt door een groeiende specialisatie en diversificatie en daarmee door het ontstaan van vele min of meer geïsoleerde specialismen. De groei binnen al deze deelterreinen was sterk en een enorm arsenaal aan technieken werd opgebouwd. Sinds een tiental jaren lijkt de tijd van integratie te zijn aangebroken, en de resultaten mogen er zijn.³

3. Tekens voor de toekomst

Er zijn nog meer aanwijzingen dat we aan de vooravond staan van een ongewoon krachtige ontwikkelingsperiode in de wiskunde en informatica. Dat de Amerikaanse *National Science Foundation* in 1982 twee instituten voor wiskundig onderzoek heeft gecreëerd⁴ toont aan dat deze mening wordt gedeeld en vormt tevens een aanwijzing op zichzelf. Enkele andere indicaties worden hieronder genoemd.

Nieuwe actieve deelgebieden, de plaatsen van vruchtbare integratie, ontstaan nog steeds in grote aantallen. Een lijst van voorbeelden is eenvoudig te geven; uw specialisme zou er niet op ontbreken. Het aantal gebieden waarin niet-triviale wiskunde en informatica met succes worden toegepast groeit,⁵ en in de traditionele toepassingsgebieden ontstaan nieuwe impulsen.⁶ Het abstractieniveau van de toegepaste concepten neemt toe en de vertragingstijd (de tijd die verstrijkt totdat een nieuw concept wordt toegepast) neemt af. Bij dit alles lijken nieuwe unificerende concepten in de lucht te hangen.

Ook wordt er veel aandacht besteed aan diverse benaderingswijzen op alternatieve, soms filosofisch getinte, grondslag.⁷ En tenslotte: de optimistische wijze waarop grootschalige problemen worden doorgerekend met behulp van ongefundeerde modellen en onbetrouwbare parameterwaarden doet de noodzaak en de bereidheid een en ander eens grondig aan te pakken sterk toenemen.

4. *Experimentele wiskunde en andere interacties*

Er zijn vele problemen waarvoor een combinatie van modellering, wiskundige analyse en computersimulatie tot waardevolle inzichten kan leiden. Wanneer echte experimenten uitgesloten of aan te veel beperkingen onderhevig zijn, blijven denkbeeldige experimenten mogelijk. Deze laatste zijn bovendien meestal veel goedkoper. Wat een windtunnel was voor een vliegtuig en een waterloopkundig laboratorium voor een dijk, kan nu een simulatiemodel zijn voor een distillatiekolom of voor de economie van een achtergebleven land. Een ander voorbeeld is het beoefenen van scheikunde met behulp van de computer, inclusief het ontwerpen van moleculen voor farmacologische doeleinden.⁸ Het naspelen van de werkelijkheid suggereert vaak een wiskundige verklaring van tot nog toe onbegrepen verschijnselen, en het zou saai zijn als deze verklaring altijd voor de hand zou liggen.⁹

Door de informatica is experimentele wiskunde mogelijk geworden. Door de wiskunde kan ook de derde afgeleide van de omvang van de informatica als functie van de tijd voorlopig positief blijven. Hiermee is de interactie tussen beide gebieden niet uitgeput: getaltheorie en numerieke wiskunde, besliskunde en systeemtheorie, grafische data-analyse en vele andere activiteiten op het CWI danken hun huidige ontwikkeling aan een vruchtbaar samenspel tussen wiskunde en informatica.

5. *De nodige ambiance voor onderzoek in wiskunde en informatica*

Wiskunde en informatica zijn kleine wetenschappen, in vergelijking met bijvoorbeeld natuur- en scheikunde, en bovendien kleinschalig, in de zin dat in een concreet project veelal slechts enkele onderzoekers samenwerken. Toch floreren beide gebieden door middel van de interactie tussen verschillende uitgangspunten en verschillende benaderingswijzen. Behalve een welvoorzienende bibliotheek en ruime rekenfaciliteiten is de aanwezigheid van een groot aantal collega's van diverse pluimage nodig voor een goed functioneren van een onderzoeksinstelling. Beoordeeld naar deze criteria is het CWI binnen Nederland uniek.

november 1983

J.W. de Bakker
R.D. Gill
M. Hazewinkel
J.K. Lenstra

Noten

1. C.F. von Weizsäcker, *Die Einheit der Natur*, Carl Hanser Verlag, München (1971), pp. 22-23.
2. Over de differentiaal- en integraalrekening van Newton en Leibnitz schrijft D. Costa [*Amer. Math. Monthly* 89 (1982), p. 508]: "What has been its principal contribution to civilisation? It has not been the solution of any one particular problem of celestial mechanics, of electromagnetism, of economics, or what have you. Its significance lies in the fact that it empowered mankind to solve a wide variety of problems by providing a language for the analysis of change."
3. Enkele voorbeelden:
 - de *solitonrevolutie*: in 1970 waren er ongeveer vier niet-lineaire modellen in de mathematische fysica waar we "alles van wisten"; nog geen tien jaar later waren er zo'n twintig modellen aan deze lijst toegevoegd, waaronder enkele van de bekendste en beruchtste vergelijkingen uit de toegepaste analyse;
 - het gebruik van *homotopiemethoden* in numerieke problemen en in de vaste-stoffysica;
 - de penetratie van combinatoriek en kansrekening in heel andere delen der wiskunde en in de informatica;
 - *symmetrie & chaos*: universaliteitsverschijnselen bij niet-lineaire iteratieve processen;
 - *ruimtelijke statistiek*, waarbij interactieve computergrafiek onmisbaar is;
 - relaties tussen *microlocalisatie* en *representatietheorie*.
4. Uit *SIAM News* 14.4 (Augustus 1981): "[Each year, these institutes] will select two areas in pure and applied mathematics that are considered ripe for major advances. [They] will concentrate on ways to bridge the gap between growth in certain areas of pure mathematics and areas of other disciplines in which mathematical discoveries might be applied."
5. B.v. de mathematische biologie.
6. B.v. de toepassingen van algebraïsche meetkunde en differentiaalmeetkunde in quantummechanica, statistische mechanica, systeemtheorie en electronica.
7. *Formal (classical) mathematics, nonstandard mathematics, constructive mathematics, intuitionism, fuzzy set theory* (die wat ons betreft mag vervagen tot ze onzichtbaar is).
8. S. Wilson [Chemistry by computer, *New Scientist* (December 2, 1982), pp. 576-579] schrijft: "Quantum chemistry aims to predict the properties of atoms and molecules and also the dynamics of collisions between them (that is, the chemical reactions) from the basis equations of quantum theory, the theory that describes subatomic phenomena. In recent years the field has seen considerable progress and in many cases quantum chemists can now calculate the properties of molecules with about the same accuracy as they can be measured in experiments. This progress has involved both the development of sophisticated mathematical techniques and the use of powerful computers and supercomputers. Already applications in numerous areas of research have arisen, in fields as diverse as solid-state and nuclear physics, inorganic and organic chemistry, catalysis, astrophysics and astrochemistry, pharmacology, biochemistry and molecular biology."
9. Zo zijn er in de hydrologie massale hoeveelheden simulatiegegevens over percolatie door gelaagde grond met verschillende porositeiten die om interpretatie vragen. En soortgelijke gegevens over de *Josephson Junction* (de toekomstige vervanger van de silicon-transistors in supercomputers) zijn ook nog maar nauwelijks begrepen.