

Beleidsnota CWI

1988-1993

Oktober 1987

Index

1. Inleiding
2. Het CWI: centrum voor onderzoek in wiskunde en informatica
3. Hoofdpijnen van beleid
4. Prioriteiten in wiskunde-onderzoek
5. Prioriteiten in informatica-onderzoek
6. Kennisoverdracht
7. De rol van de niet-wetenschappelijke sectoren
8. Infrastructuur
9. Samenvatting en conclusies

1. Inleiding

De ontwikkelingen van de laatste tien jaar binnen de onderzoekswereld en het beleid van de Nederlandse en Europese overheden ten aanzien van wetenschap en technologie hebben de Stichting Mathematisch Centrum (SMC) met haar instituut, het Centrum voor Wiskunde en Informatica (CWI), niet onberoerd gelaten. Landelijke en internationale coördinatie van onderzoek en ontwikkelingswerk, en vergroting van het maatschappelijk nut ervan zijn belangrijke doelstellingen van het wetenschapsbeleid der overheid in het laatste decennium. Dit heeft geleid tot stimulering van zwaartepuntvorming en van 'centres d'excellence', alsmede tot nauwere contacten tussen bedrijfsleven en onderzoekswereld.

Landelijke samenwerking en het maatschappelijk dienstbaar maken van de wiskunde zijn reeds vanaf de oprichting belangrijke doelstellingen van de SMC. In de laatste jaren is hieraan met hernieuwd élan gewerkt. Daarnaast heeft het specifieke stimuleringsbeleid van de Nederlandse en Europese overheid op het gebied van de informatica grote invloed gehad op het beleid van het CWI. Het instituut kreeg de mogelijkheid zijn informatica-onderzoek aanzienlijk te versterken. Dat gebeurde door deelname in het Europese programma voor de informatietechnologie ESPRIT, via extra middelen in het kader van het Nederlandse Informatica-Stimuleringsplan (INSP) om te kunnen uitgroeien tot een 'toonaangevend centrum' op het gebied van het informatica-onderzoek, en door de mogelijkheid tot deelname in strategische programma's, zoals in het kader van het Stimuleringsprojectteam Informatica-onderzoek (SPIN) en de regeling Innovatieve Onderzoeksprogramma's (IOP). Ook heeft dit geleid tot een aantal hechte samenwerkingsverbanden met partners uit het bedrijfsleven en de onderzoekswereld.

Dat het CWI juist nu met een nadere formulering van zijn algemene beleid komt heeft verschillende, deels met elkaar samenhangende oorzaken. In de eerste plaats kon door de sterke stimulering van het informatica-onderzoek de ontwikkeling van het wiskunde-onderzoek minder snel plaatsvinden dan gewenst was. Een visie op een evenwichtige ontwikkeling van het totale onderzoek, wiskunde én informatica, is daarom noodzakelijk. In de tweede plaats zullen de extra toegekende middelen in het kader van het INSP (2 Mfl per jaar gedurende vijf jaar) na 1988 niet meer boven het regulier subsidie worden verstrekt. Het CWI meent dat de hiermede gerealiseerde uitbreiding van het informatica-onderzoek blijvend van aard moet zijn. Tenslotte is er thans toenemende aandacht voor strategische aspecten en samenwerking met het bedrijfsleven. Daartoe dient een zinvol evenwicht te worden gevonden tussen zuiver-wetenschappelijk en strategisch onderzoek met behoud van het karakter van het CWI als instituut voor fundamenteel onderzoek.

Deze nota, die de basis zal vormen voor het te voeren beleid tot en met 1993, sluit aan bij het in 1984 gepresenteerde Ontwikkelingsplan Informatica-onderzoek CWI, alsmede bij de ideeën die werden geformuleerd op de in mei 1985 naar aanleiding van dit plan georganiseerde Workshop, waaraan vertegenwoordigers uit het bedrijfsleven, de overheid en de academische wereld deelnamen.

Delen van deze beleidsnota zijn nader uitgewerkt in rapporten en bijlagen. Dit geldt speciaal voor de wetenschappelijke prioriteiten die in hoofdstuk 4 en 5 kort zijn aangegeven. Deze nadere informatie is op verzoek verkrijgbaar.

2. Het CWI: Centrum voor onderzoek in wiskunde en informatica

Toen in 1946 de *Stichting Mathematisch Centrum* werd opgericht, kreeg zij tot taak 'de systematische beoefening der zuivere en toegepaste wiskunde in de meest ruime zin te bevorderen, alsmede de resultaten van wiskundig onderzoek dienstbaar te maken aan de maatschappij'.

Het bij de oprichting door de Stichting in het leven geroepen onderzoeksinstituut, het Mathematisch Centrum te Amsterdam, heeft van meet af aan beide aspecten van deze taak goed in het oog gehouden. Bij de keuze der onderzoeksthema's lag de nadruk steeds op de initiërende rol die het Centrum kon spelen. Nederlands eerste computer werd ontworpen en gebouwd op het Centrum, terwijl het later een voortrekkersrol vervulde bij het ontwerpen van programmeertalen. De erkenning van de mathematische statistiek als aparte discipline is voor een groot deel te danken geweest aan activiteiten vanuit het Centrum. Een recenter voorbeeld van initiërend onderzoek is

de studie van parallelle processen.

Het Centrum heeft bovengenoemde taak ook gestalte gegeven door **kadervorming** - een groot aantal hoogleraren en onderzoekers in de wiskunde en informatica heeft voordat zij werden benoemd kortere of langere tijd op het Centrum gewerkt -, **kennisoverdracht** - via colloquia, cursussen, boeken, e.d. - en de vervulling van een **landelijke ondersteunende en coördinerende rol** in het Nederlandse onderzoek, bijvoorbeeld tot uiting komend in de dienstverlening aan de Werkgemeenschappen en Landelijke Samenwerkingsverbanden in de wiskunde, het beheer van een omvangrijke bibliotheek en de rol in de opbouw en het beheer van internationale elektronische netwerken.

Het Centrum heeft zich steeds op het standpunt gesteld dat een activiteit moet worden overgedragen aan anderen (organisaties of bedrijven), zodra deze zich zodanig heeft ontwikkeld dat zij niet meer past in het kader van het Centrum als instituut voor fundamenteel onderzoek. Goede voorbeelden daarvan zijn de oprichting van N.V. Electrologica in 1956, nadat het pionierswerk op het gebied van computerbouw had geleid tot interesse van buiten om meer computers te bouwen, en van de Stichting Academisch Rekencentrum Amsterdam SARA in 1971, omdat de dienstverlening op rekengebied aan beide Amsterdamse universiteiten zowel kwantitatief als kwalitatief niet meer paste in het takenpakket van het Centrum. Overigens worden ook stukken fundamenteel onderzoek afgestoten, als blijkt dat die op een gegeven moment beter thuishoren bij één van deze instellingen. Voorbeelden hiervan liggen op het gebied van Markov-programmering en Discrete Wiskunde.

De maatschappelijke dienstbaarheid van de wiskunde kwam goed tot uiting in het werk in verband met het Deltaplan (Noordzee-model en numerieke doorrekening daarvan),. Ook nu worden nog statistische berekeningen van basispeilen voor zeehoogten uitgevoerd. Dergelijk werk is veelal multidisciplinair van aard (statistiek, numerieke wiskunde, toegepaste wiskunde, besliskunde). Gedurende zijn gehele bestaan heeft het Centrum consultaties verricht ten behoeve van overheidsinstellingen, bedrijven en andere organisaties. De laatste jaren neemt het aantal samenwerkingsverbanden met het bedrijfsleven toe, zowel op nationaal niveau (bijvoorbeeld in projecten van de Stichting voor de Technische Wetenschappen (STW) en van SPIN), als op Europese schaal (ESPRIT). Bij deze projecten ligt de nadruk op het strategische aspect - het maatschappelijk belang op middellange termijn.

In de jaren zeventig ontwikkelde de informatica zich tot een zelfstandige discipline. In Nederland kwam dat formeel tot uiting door de opname van de informatica als officiële studierichting in het Academisch Statuut in 1981, en door de erkenning in 1983 van de Stichting Informatica Onderzoek in Nederland (SION) als zelfstandige groepering van ZWO-werkgemeenschappen voor informatica-onderzoek. Hoofddoel van SION is de bevordering van het fundamentele informatica-onderzoek. Het ligt dan ook voor de hand dat er een nauwe relatie met de SMC is. Via een Vaste Overlegcommissie bepaalt SION mede de ontwikkeling van het informatica-onderzoek binnen het CWI.

Het werd gewenst geacht deze nieuwe verhoudingen ook in de naam van het Centrum tot uiting te laten komen. Op 1 september 1983 kreeg het instituut een nieuwe naam: *Centrum voor Wiskunde en Informatica* (CWI). In deze naamsverandering komt niet alleen de groei van het informatica-onderzoek tot uitdrukking, maar ook het belang van het inhoudelijk samengaan van wiskunde en informatica.

In de jaren tachtig zijn diverse informatica-stimuleringsprogramma's van de grond gekomen, zowel nationaal als internationaal. Binnen deze kaders werkt het CWI samen met diverse partners uit de sfeer van universiteit, industrie en overheid. Een voor het CWI belangrijk programma is het Informatica-Stimuleringsplan (INSP) van de Nederlandse overheid. Als onderdeel van dit programma, gefinancierd door de Ministeries van Onderwijs en Wetenschappen, Economische Zaken, en Landbouw en Visserij, kreeg het CWI de gelegenheid om uit te groeien tot een 'toonaangevend centrum voor fundamenteel en toepassingsgericht informatica-onderzoek'. De SMC werd verzocht een Ontwikkelingsplan op te stellen waarin staat aangegeven hoe dit doel zou zijn te bereiken. Dit plan kwam in oktober 1984 tot stand.

In mei 1985 werd in een tweedaagse workshop met een vijftigtal vertegenwoordigers uit de universiteiten, grote technische instituten, het bedrijfsleven en de overheid gediscussieerd over de rol van het CWI als 'centre d'excellence' in Nederland. Vooral met het oog op het toepassingsgericht onderzoek kwam men met de suggestie het bedrijfsleven meer te betrekken bij het beleid, bijvoorbeeld door de instelling van een Adviesraad waarin personen uit het bedrijfsleven zitting hebben. Tevens constateerde men dat voor de evaluatie van het onderzoek 'visiting committees' een waardevol instrument konden vormen.

Mede op basis van de discussies tijdens deze workshop kwam in juli 1985 een nadere uitwerking van het Ontwikkelingsplan tot stand. Hierin werd vooropgesteld dat het CWI zich primair zou blijven richten op

fundamenteel zuiver-wetenschappelijk onderzoek. Dit moet immers de kennisbasis leveren voor deelname in fundamenteel toepassingsgericht en strategisch onderzoek, dat in de regel bij het CWI tot demonstratie-projecten of prototypen kan voeren. De eigenlijke produktontwikkeling dient ter hand genomen te worden door het bedrijfsleven. De doelstellingen: het uitvoeren van fundamenteel onderzoek, kennisoverdracht en het functioneren als centraal punt in Nederland, werden nog eens nader uitgewerkt en getoetst.

Op grond van deze doelstellingen en een aantal nadere beleidsoverwegingen kwam het CWI in het Ontwikkelingsplan tot een viertal hoofdthema's voor informatica-onderzoek, te weten (I) Algoritmiek, (II) Programmatuur, (III) Gedistribueerde en interactieve systemen, en (IV) Patroonherkenning en kunstmatige intelligentie.

In het kader van het INSP werd aan het CWI over een periode van vijf jaar (1984-1988) een bedrag van 2 Mfl per jaar ter beschikking gesteld. Drie van de bovengenoemde thema's (I, III en IV) werden óf versterkt óf opgezet met deze extra middelen, terwijl thema (II) vooral impulsen kreeg door deelname in het ESPRIT-programma. Daarnaast kon met deze middelen de computer-infrastructuur worden verbeterd. In het Ontwikkelingsplan was echter het voor de uitvoering der daar voorgestelde activiteiten geraamde bedrag gesteld op 18 Mfl. De beperking van de INSP-middelen tot 10 Mfl heeft noodgedwongen geleid tot aanpassing van het in het Ontwikkelingsplan beschreven programma.

Inmiddels schrijven we 1987. In hoeverre is het CWI erin geslaagd de oorspronkelijke doelstellingen uit 1946, en die van het Ontwikkelingsplan Informatica-Onderzoek uit 1984, te realiseren?

Ten aanzien van het fundamentele onderzoek zijn reeds enkele voorbeelden gegeven van de initiërende activiteiten in het verleden.

Dat de kadervorming door de jaren heen voldoende aan bod kwam werd hierboven ook geconstateerd: zo'n 70 hoogleraren in de wiskunde of informatica werkten voor hun benoeming enige tijd op het Centrum. Alleen al in de jaren 1984-1986 werden negen CWI-medewerkers tot hoogleraar benoemd: vier in de wiskunde en vijf in de informatica.

Kennisoverdracht vindt behalve via de traditionele kanalen (het presenteren van resultaten in publikaties en op conferenties, het organiseren van cursussen, etc.) in toenemende mate plaats via gezamenlijke projecten met andere grote technische instituten en met de Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (TNO), met de overheid en met het bedrijfsleven, zowel nationaal als internationaal. Ook zijn in de laatste jaren diverse ondersteunende maatregelen genomen ter bevordering van kennisoverdracht, zoals versterkt projectmanagement (inclusief juridische ondersteuning), geregelde presentatie van het CWI-onderzoek buiten vakkringen, ondersteuning bij de organisatie van cursussen, conferenties, etc.

In de loop der jaren is ook aan de C van het CWI op velerlei wijze gestalte gegeven. Een viertal voorbeelden moge dit illustreren. De bibliotheek van het CWI is door haar prominente collectie feitelijk van nationale betekenis met betrekking tot de literatuurverzorging. Zij vervult daarmee ten aanzien van het onderzoek in Nederland een centrale ondersteunende rol. Sinds 1982 speelt het CWI essentiële rol in EUNET (het Europese UNIXTM-netwerk) en is het de poort tussen Europa en Noord-Amerika voor EUNET/USENET. Over enkele op het CWI centraal staande onderwerpen (vectorprogrammering, beeldanalyse) organiseerde het instituut zeer succesvolle nationale colloquia, waarin Nederlandse onderzoekers rond het betreffende onderwerp bijeen werden gebracht. En in het najaar van 1986 werd, onder auspiciën van het CWI, 'Frontiers in Information Technology' (FIT) opgericht, een internationale raamorganisatie ter bevordering van de kennisoverdracht (via conferenties en seminars) op nieuwe deelgebieden van de informatietechnologie. Een der eerste activiteiten met steun van FIT is de organisatie van een internationale conferentie 'Frontiers in Computing' in december 1987 in Amsterdam.

Tot slot van deze paragraaf volgen enkele gegevens over het financiële reilen en zeilen van het CWI gedurende de jaren 1981-1986. Het blijkt dat een toenemend deel van de financiering wordt verkregen uit niet-ZWO bron. Hoewel een deel van deze middelen over de jaren 1985 en 1986 de INSP-bijdrage betreft, blijkt uit diagram 2, waar een nadere uitsplitsing wordt gegeven van deze extern inkomsten, dat de inkomsten uit andere vormen van subsidiëring en uit opdrachten een stijgende lijn vertonen. De groei in deze inkomsten betreft vooral het toepassingsgerichte informatica-onderzoek. Voor 1987 wordt een verdere stijging voorzien van deze inkomsten, door deelname in nieuwe EG-projecten, in SPIN-projecten en in Innovatieve Onderzoeksprogramma's gesubsidieerd door de Nederlandse

overheid. Tenslotte wordt in diagram 3 een overzicht gegeven van de financieringsbronnen ten behoeve van apparatuurinvestering. Hieruit blijkt dat het ZWO-aandeel in het totaal van de investeringsgelden van 100% tot ruim minder dan de helft is teruggelopen. De overige fondsen betreffen hier echter bijna uitsluitend tijdelijke stimuleringsregelingen.

Diagram 1

**CWI exploitatie 1981 - 1986:
aandeel ZWO in totale exploitatie in kf**

	ZWO subsidie	Totale exploitatie	Procentueel aandeel van ZWO subsidie
1981	10861	13069	83
1982	10893	12476	87
1983	11066	13239	84
1984	10761	13389	80
1985	11005	14859	74
1986	11048	16474	67

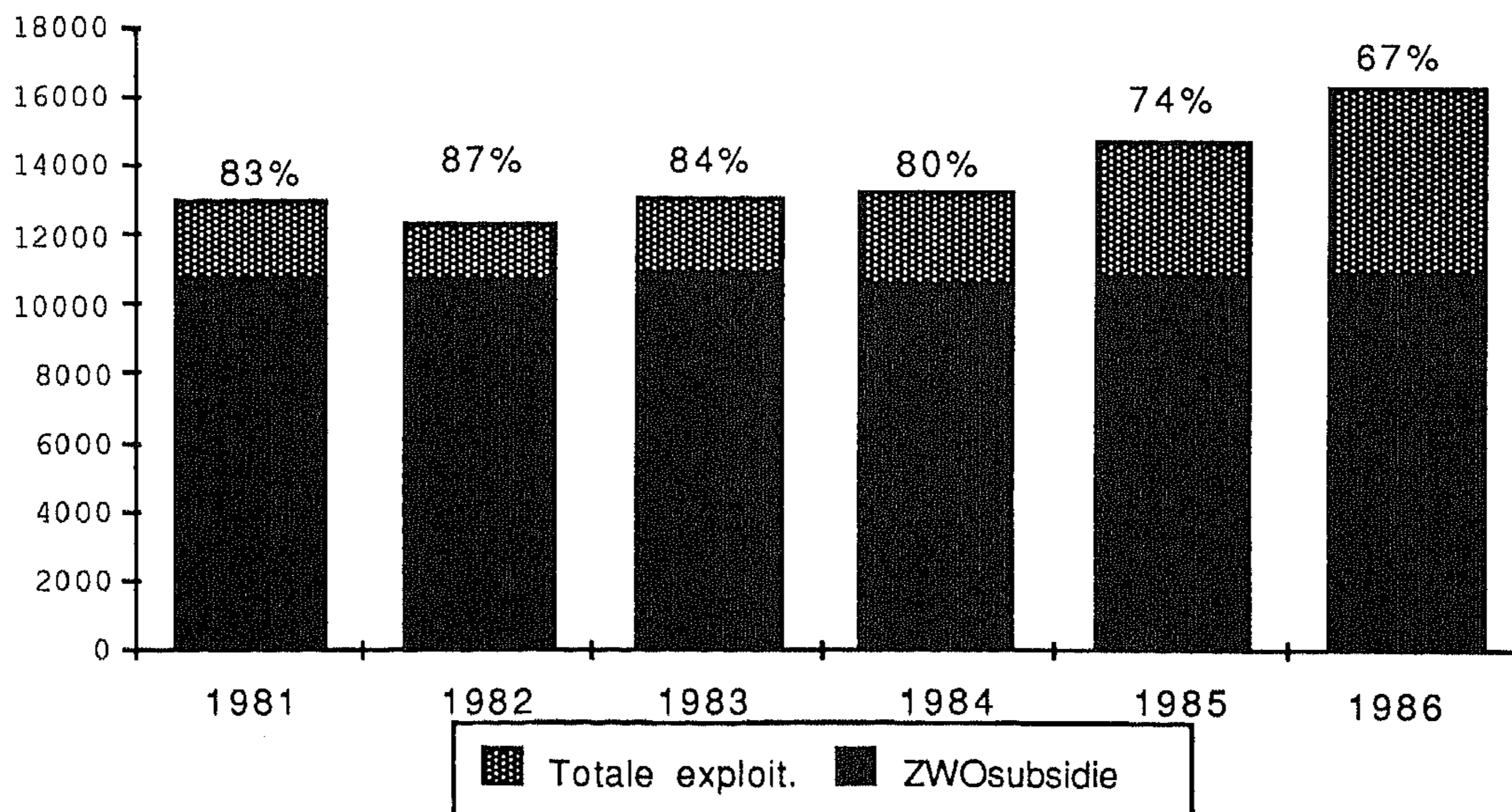


Diagram 2

CWI exploitatie 1981 - 1986:
overige inkomsten in kf

	Overige subsidies	INSP	EEG	Opdrachten etc
1981	217	-	-	2005
1982	77	-	-	1901
1983	152	-	184	1837
1984	306	-	615	1729
1985	404	567	840	2065
1986	388	1705	1261	2137

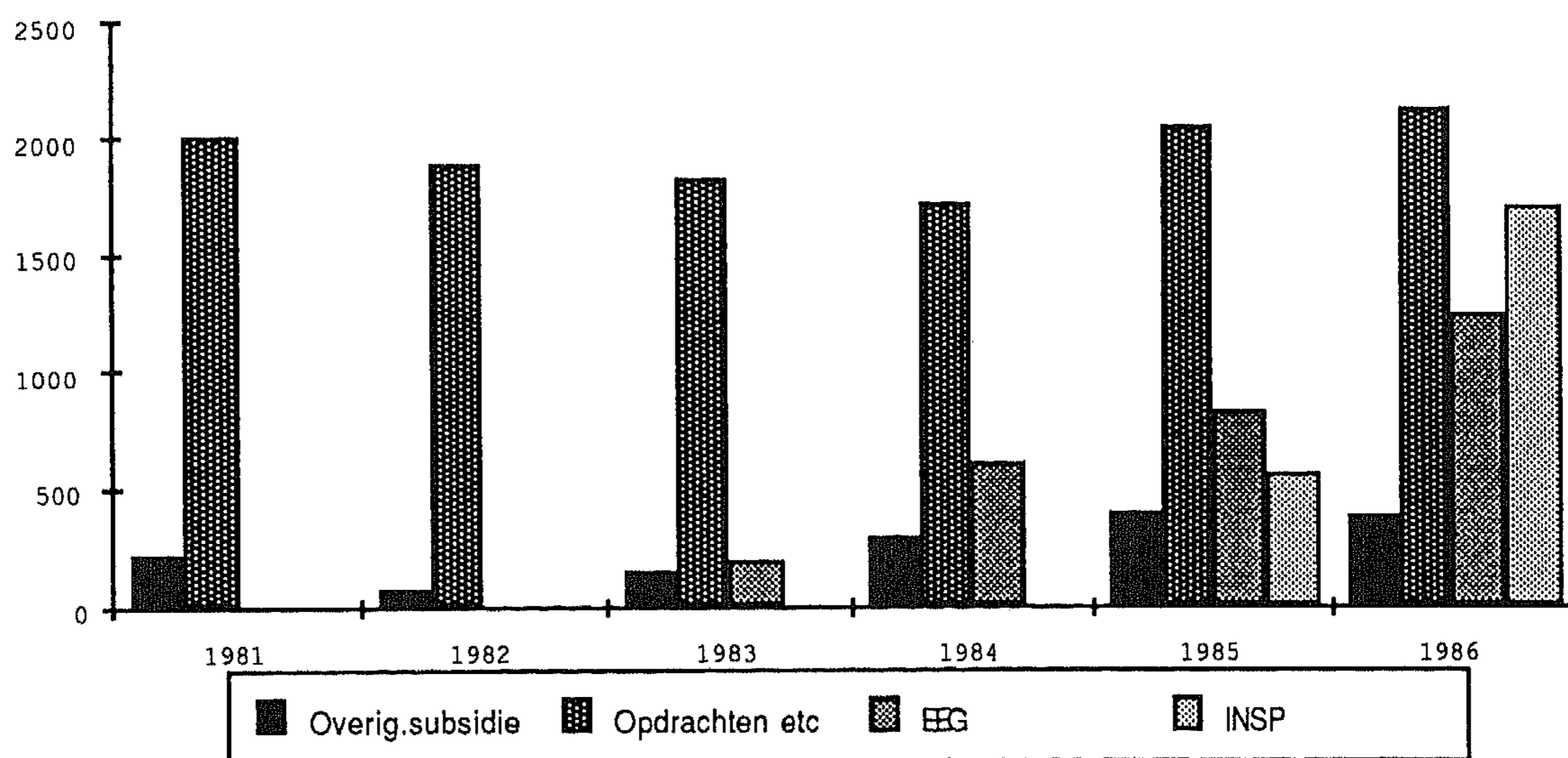
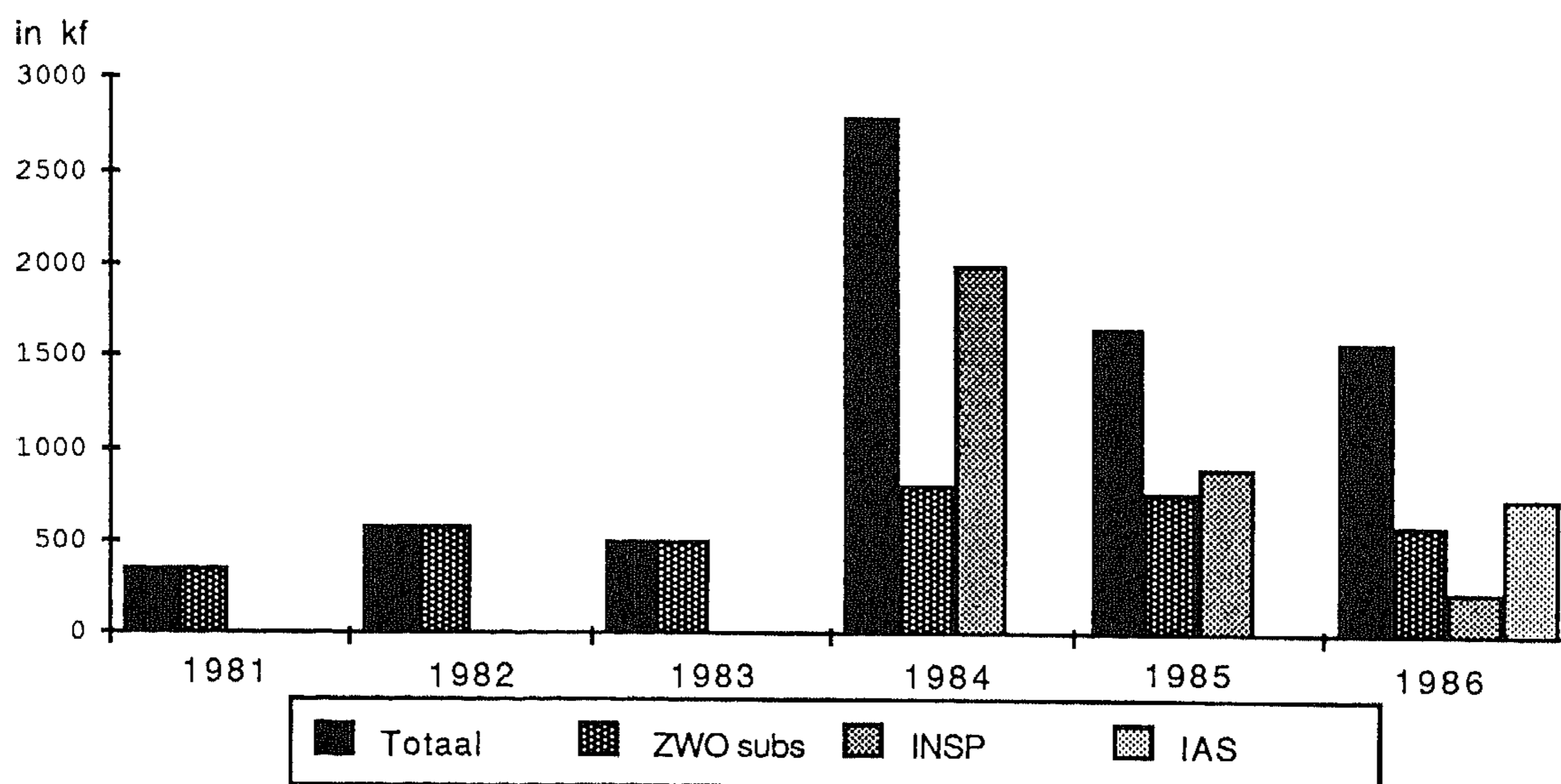


Diagram 3

CWI Investeringen 1981 - 1986
in eigen computer apparatuur in kf

	ZWO subsidie	INSP	IAS	Totaal
1981	355	-	-	355
1982	590	-	-	590
1983	502	-	-	502
1984	808	2000	-	2808
1985	770	900	-	1670
1986	600	250	750	1600



Hoofdpijnen van beleid

In dit hoofdstuk worden globale beleidlijnen geschetst, die nader worden uitgewerkt in de volgende hoofdstukken. Uitgangspunt bij de vaststelling van deze hoofdpijnen is het doel zoals geformuleerd in de statuten van het Mathematisch Centrum: de bevordering van de systematische beoefening van de zuivere en toegepaste wiskunde in de ruimste zin. Hierbij moet in ogenschouw worden genomen dat ten tijde van de oprichting van de CWI de informatica nog niet als discipline bestond. Deze ontwikkelde zich mede vanuit de wiskunde.

In het Ontwikkelingsplan Informatica-onderzoek CWI en de Uitwerking daarvan werden drie wezenlijke aspecten van de doelstelling aangegeven:

- 1. uitvoeren van **excellent onderzoek**, waarbij het primair gaat om fundamenteel (zuiver-wetenschappelijk toepassingsgericht) onderzoek.
- 2. realiseren van **kennistransfer en kadervorming** gericht op zowel de onderzoekswereld als op bedrijven en overheidsdiensten.
- 3. functioneren van het CWI als (inter)nationale ontmoetingsplaats voor onderzoekers.

De

De toenemende belang van de informatica in de maatschappij behoeft geen betoog en internationaal zal het belang op dit terrein zijn snelle groei blijven voortzetten. Het CWI wil in deze ontwikkeling deelnemen, teneinde in samenwerking met de universiteiten te bewerkstelligen dat Nederland op dit gebied een vooraanstaande positie inneemt. Dit betekent voortdurende vernieuwing, verbreding en verdieping van het onderzoek.

De belang van de wiskunde voor het totale wetenschappelijk onderzoek wordt internationaal ten volle onderkend. In alle wetenschappelijke en technische disciplines worden tegenwoordig wiskundige technieken benut. Te denken valt op de versterking van het NSF-budget voor wiskunde in de Verenigde Staten, terwijl er ook in Frankrijk en de Duitse Bondsrepubliek meer ruimte is voor het wiskunde-onderzoek, vooral in verband met industriële toepassingen. De Nederlandse overheid en industrie delen deze visie, getuige de uitspraken van de Directeur-Generaal voor het Wetenschapsbeleid tijdens de ESMI-conferentie (European Symposium on Mathematics in Industry) in oktober 1985, de uitspraken uit industrie en overheid tijdens het CWI-symposium 'Wetenschap in Bedrijf' in juni 1986. Het CWI heeft ten doel om op een aantal strategische deelgebieden (gekozen in onderlinge samenhang en afgestemd op het Mathematisch Centrum-onderzoek) in het internationale wiskundig onderzoek deel te nemen. Dit vereist een voortdurende aandacht op het wiskunde-onderzoek, op de mogelijkheden tot het benutten van de aanwezige expertise en het aantrekken van nieuwe onderzoeksgroepen of het ombuigen van bestaande.

De uitvoeren van zuiver-wetenschappelijk onderzoek op internationaal niveau is een bestaansvoorwaarde voor het Mathematisch Centrum. Dit vereist een zekere keuzevrijheid bij de onderwerpen, alsmede garanties voor de continuïteit en de omvang ten opzichte van de andere activiteiten. Het vormt ook de grondslag voor initiatieven tot strategisch toepassingsgericht fundamenteel onderzoek, bij voorkeur uitgevoerd in samenwerking met grote technische instellingen, TNO en bedrijven, en veelal (mede) gefinancierd met fondsen uit strategische programma's van de Nederlandse overheid of van bedrijven. Tenslotte zal er, in beperkte mate, ruimte zijn voor toegepast onderzoek en ontwikkelingswerk in opdracht. Dergelijk werk zal eveneens moeten aansluiten op de bij het CWI aanwezige expertise.

Essentieel is het bewaren van een goed evenwicht tussen het zuiver-wetenschappelijk onderzoek - de belangrijkste activiteit van het CWI -, het strategische en toepassingsgerichte onderzoek - een essentiële activiteit -, en het toegepast onderzoek en ontwikkelingswerk - een afgeleide nevenactiviteit. De bestaande kracht van het CWI in bepaalde onderzoeksgebieden zal bij de keuze van de toekomstige onderwerpen voor het Mathematisch Centrum vrije zuiver-wetenschappelijke als het overige fundamentele onderzoek worden uitgebuit.

Daarnaast moet het synergetisch effect van het samengaan van wiskunde- en informatica-onderzoek in één onderzoek zo goed mogelijk worden uitgebuit. Bevordering van samenwerking tussen de afdelingen en van onderzoek

op het grensgebied van beide disciplines heeft bijzondere aandacht.

Tenslotte is een kritieke succesfactor voor hoge kwaliteit het kunnen aantrekken en behouden van uitstekende onderzoekers. Het CWI moet voor hen een aantrekkelijke onderzoeksomgeving vormen en hen een goede computer-infrastructuur en huisvesting bieden.

Ter beoordeling van de kwaliteit van het verrichte onderzoek worden internationale evaluatiecommissies ingesteld. Daarnaast bestaan er vakadviescommissies die de leiding der wetenschappelijke afdelingen (het CWI telt er thans acht) adviseren over het onderzoeksbeleid. Tenslotte adviseert een wetenschapscommissie tezamen met het SION-bestuur over beleidsbegroting en wetenschappelijk programma. Op deze wijze zijn ruime mogelijkheden geschapen tot kritische begeleiding van het wetenschappelijk onderzoek bij het CWI door de Nederlandse wetenschappelijke wereld.

Ten aanzien van de maatschappelijke functie van het CWI zal aan maatschappelijke groeperingen meer invloed worden gegeven op het te verrichten onderzoek door deelname van vertegenwoordigers van bedrijfsleven en overheid aan de advisering over het beleid, speciaal ten aanzien van het strategisch onderzoek en de externe relaties.

Kennisoverdracht en kadervorming

Kennisoverdracht en kadervorming zijn als onafhankelijke doelstellingen van belang, doch slechts realiseerbaar in samenhang met de onderzoeksfunctie. Het betreft immers de overdracht van de kennis die is verkregen uit het fundamentele onderzoek bij het CWI en de vorming van kader vooral door het opnemen van jonge onderzoekers in de onderzoeksgroepen.

Naast de klassieke middelen voor het uitdragen van resultaten via publikaties en voordrachten wordt bijzondere aandacht besteed aan samenwerkingsprojecten met het bedrijfsleven. Het CWI brengt daarin vooral zijn fundamentele kennis in, hetgeen een directe en efficiënte vorm van kennisoverdracht betekent. Tevens kan samenwerking met bedrijven leiden tot belangrijke stimulansen voor het CWI-onderzoek en - door hun financiële bijdragen - tot uitbreiding van de totale onderzoekscapaciteit.

Het CWI geeft daarnaast aandacht aan cursussen, seminars en workshops, en draagt tevens bij aan tweede-fase opleidingen. Veel van deze activiteiten worden ontwikkeld in samenwerking met de PAO-organisatie, universiteiten of bedrijven. Het CWI begeleidt tevens diverse stagiaires uit het Universitair en Hoger Beroepsonderwijs. Door het totaal van deze activiteiten ontstaan velerlei contacten tussen cursisten en docenten bij universiteiten en het Hoger Beroepsonderwijs enerzijds, en CWI-medewerkers anderzijds, die weer kunnen leiden tot vruchtbare samenwerking in de toekomst.

Centrumfunctie

Het CWI functioneert als ontmoetingspunt voor Nederlandse en buitenlandse onderzoekers, het neemt en ondersteunt nationale initiatieven ten aanzien van onderzoek, en het stelt waar mogelijk en gewenst faciliteiten beschikbaar voor de Nederlandse onderzoekswereld. Een voorbeeld van het laatste is de bibliotheek. Het beleid is gericht op versterking van deze centrumfunctie. Algemene kaders voor internationale samenwerking en uitwisseling van personeel worden nagestreefd en de ondersteunende sectoren bij het CWI worden waar mogelijk (inter)nationaal ingezet. In dit kader wordt gewerkt aan intensivering van de contacten met buitenlandse instituten. Speciale aandacht gaat hierbij uit naar GMD in de Bondsrepubliek en INRIA in Frankrijk, beide instituten waar evenals bij het CWI zowel wiskunde- als informatica-onderzoek plaatsvindt.

Relatie tot ZWO

De SMC functioneert binnen de Nederlandse organisatie voor zuiver-wetenschappelijk onderzoek ZWO. Voor een

goede uitvoering van het beleid is de relatie met ZWO essentieel. Het fundamentele onderzoek, dat het draagvlak vormt waarop de overige activiteiten van het CWI rusten, zal steeds grotendeels door ZWO moeten worden bekostigd. Aanvullend hierop streeft het CWI voor het strategische, toepassingsgerichte en toegepaste onderzoek naar financiering via diverse andere subsidies. Ook worden inkomsten verkregen uit opdrachten, cursussen, licenties etc. De verhouding tussen ZWO-subsidie en de overige inkomsten is in de laatste vijf jaar aanzienlijk veranderd, zoals uit de financiële diagrammen in hoofdstuk 2 blijkt. Het CWI acht dit een positieve ontwikkeling. De inkomsten uit niet-ZWO bronnen vormen niet langer een sluitpost van de begroting, doch dragen in belangrijke mate bij aan het totaal der beschikbare middelen. Op langere termijn streeft men naar continuïteit in dergelijke inkomsten, waarbij wordt gedacht aan een totale extra financiering van ongeveer de helft van de door ZWO verstrekte middelen. Dit vereist een zekere handelingsvrijheid ten aanzien van investeringen in ontwikkelingswerk en organisatorische kaders of ondersteuning ten behoeve van commerciële exploitatie van onderzoeksresultaten.

Het CWI streeft daarom een financieringsverhouding na met ZWO, waarin enerzijds de continuïteit van het fundamentele onderzoeksprogramma gewaarborgd is, en anderzijds de ruimte bestaat, zowel financieel als ten aanzien van de besluitvorming, om te kunnen investeren in activiteiten gericht op commerciële exploitatie van onderzoeksresultaten. Het rendement van dergelijke investeringen zal in het algemeen pas na enkele jaren zichtbaar worden en bovendien zullen er financiële risico's aan zijn verbonden. Het fundamentele onderzoeksprogramma zal goeddeels onafhankelijk moeten zijn van de successen of tegenslagen van de commerciële exploitatie ervan.

Relatie tot academische wereld

Het CWI vervult zijn rol temidden van de academische wereld. De bestaande goede relaties met alle universiteiten maken dit mogelijk en de versterking van deze relaties staat hoog in het vaandel. De academische wereld is via het curatorium betrokken bij het bestuur van de Stichting. Het CWI bevordert, zowel bij de opstelling als bij de uitwerking van het wetenschappelijk programma, samenwerking en overleg met de Nederlandse academische wereld. Daarnaast ziet het CWI voor zichzelf vooral een bindende rol. Hieraan wordt gestalte gegeven door organisatie van colloquia, seminars en conferenties, het uitnodigen van buitenlandse onderzoekers, door coördinatie via overleg in diverse organen, door het verstrekken en verzorgen van faciliteiten zoals een bibliotheek, een drukkerij, een elektronisch netwerk, etc. Aan de wetenschappelijke activiteiten wordt steeds ruime bekendheid gegeven via diverse aankondigingen. Onderzoek bij het CWI wordt geïnitieerd in overleg met onderzoekers van universiteiten die via adviesraden of als wetenschappelijk adviseur bij de besluitvorming zijn betrokken. Met name de bij het CWI aangestelde onderzoekers-in-opleiding zullen veelal tevens worden begeleid door universitaire docenten. Tenslotte worden projecten van het CWI overgedragen als daar aanleiding toe is, bijvoorbeeld omdat projectleiders een functie bij een universiteit aanvaarden.

4. Prioriteiten in wiskunde-onderzoek

Bij de keuze van onderzoeksthema's op het CWI spelen verschillende overwegingen een rol. De wiskunde is enerzijds een oud vak, maar anderzijds is zij thans sterk in beweging en zien wij de geboorte van nieuwe wiskundige technieken en toepassingen in gebieden waaraan voorheen nauwelijks werd gedacht. Het CWI moet, op grond van zijn doelstellingen, kunnen deelnemen in deze ontwikkelingen en op prioriteitsgebieden onderzoek van hoge kwaliteit kunnen uitvoeren. Dit vereist tevens het opbouwen en behouden van expertise in de daarvoor benodigde technieken. Achterstand in beheersing van het wiskundig instrumentarium kan immers tot aanzienlijk kwaliteitsverlies leiden in bestaand en op niveau verricht onderzoek dat wel tot de prioriteitsgebieden behoort. De keuze van de onderzoeksthema's wordt mede bepaald door de mogelijkheden tot toepassing. De toename van zowel omvang als diversiteit van de toepassingsmogelijkheden leidt daarbij tot de wens ook het daarop gerichte onderzoek uit te breiden. Bij de keuze van aandachtsthema's speelt bovendien het huidige onderzoek een rol. Immers, nieuw onderzoek komt in het algemeen niet uit de lucht vallen. Er is er meestal een nauwe relatie met werk dat al gaande is, en waaraan op een gegeven moment door nieuwe toepassingen of bijzondere resultaten een andere richting wordt gegeven.

De in dit hoofdstuk gegeven prioriteiten moeten worden gezien in het licht van deze overwegingen. Daarnaast spelen er ook praktische overwegingen van personeelsbeleid. Opbouwen van een nieuw onderzoeksveld door ombuiging van bestaand onderzoek en het inzetten van reeds aangestelde onderzoekers zal soms gemakkelijker en efficiënter zijn dan beginnen met een geheel nieuwe groep. Het nadeel van een niet volledige ombuiging is dan soms te verkiezen boven de aanzienlijk hogere kosten voor een volledig nieuw onderzoek.

De ontwikkeling van het fundamentele **numerieke onderzoek** is steeds nauw verbonden geweest met de vorderingen op hardwaregebied. Dat het CWI zich nu onder meer richt op *Numerieke methoden voor vectorprocessoren en parallelle processoren* ligt dus geheel in de lijn der verwachting. Oriëntatie op dit gebied is reeds enige tijd gaande, getuige het landelijk colloquium dat het CWI, in samenwerking met de Universiteit van Amsterdam en de Technische Universiteit Delft, vanaf het najaar van 1985 heeft georganiseerd. Een belangrijk toepassingsgebied van numerieke technieken is het oplossen van stelsels gekoppelde partiële differentiaalvergelijkingen zoals die in allerlei gedaanten als modellen van natuurverschijnselen optreden. Naast voortzetting van de klassieke toepassingen zoals de numerieke stromingsleer, waarmee het CWI veel ervaring heeft, zal het onderzoek zich richten op nieuwe veelbelovende gebieden. Hierbij zal allereerst de oplossing van voor de elektronische industrie cruciale modellen voor halfgeleiders ter hand worden genomen; werk in deze richting is inmiddels al in gang gezet. Verder werkt men al enige tijd aan adaptieve roostertechnieken, waarbij het gebruikte rekenrooster zich aanpast aan de lokale omstandigheden. Hierbij is nog veel fundamenteel onderzoek nodig, dat in de komende jaren aan de orde zal komen. Het lopende onderzoek *Multiroostertechnieken voor randwaardeproblemen*, dat onder meer van belang is voor allerlei technische toepassingen, zal worden voortgezet. Dat is eveneens het geval met de *Ontwikkeling van numerieke programmatuur in de programmeertaal Ada*, hetgeen wordt uitgevoerd met steun van de Europese Commissie, die de invoering van Ada krachtig stimuleert. De bestudering van *Getaltheorie met behulp van de computer*, een project met een bescheiden inzet aan personeel, waarmee de afgelopen jaren enkele opmerkelijke successen zijn geboekt en dat tevens bijdraagt tot ervaring met programmatuur voor vector- en parallelle processoren, zal eveneens worden voortgezet.

In de **mathematische statistiek** heeft Nederland een vooraanstaande positie verworven. De explosieve groei van rekenkracht en -middelen heeft aan dit onderzoek een nieuwe dimensie toegevoegd: enerzijds zijn diverse interessante, maar voorheen onhanteerbare modellen nu binnen het bereik gekomen van statistische analyse, anderzijds geven de door de mogelijkheden van de computer geïnspireerde statistische analysemethoden impulsen aan nieuw theoretisch onderzoek (bijvoorbeeld Efron's bootstrapmethode). Terwijl deze mogelijkheden in de lopende projecten *Semiparametrische Statistiek* en *Toegepaste Statistiek* reeds werden toegepast, zullen zij op het CWI verder worden uitgediept in een nieuw project *Computational Statistics*, dat de schakel moet vormen tussen resultaten van het wiskundig statistisch onderzoek en de statistische consultatie in de praktijk.

Tegenwoordig zijn gegevens vaak beschikbaar in de vorm van gedigitaliseerde beelden, bijvoorbeeld in de seismiek, bij waarnemingen door satellieten, in de biologie en in de geneeskunde. Er is grote behoefte aan statistische modellen en methoden om de achterliggende structuur van deze beelden te onthullen. Het CWI heeft hierop ingespeeld door onlangs een project *Analyse en reconstructie van beelden* te starten. Het betreft hier een grote verscheidenheid aan toepassingen, waarbij een breed spectrum aan wiskundige disciplines aan de orde komt, zoals analyse, algebra, topologie, numerieke wiskunde, statistiek en systeemtheorie, evenals de informatica. In dit project werken diverse CWI-groepen samen. Een der ingrediënten voor dit onderzoek is de *Stochastische meetkunde*, en het CWI wil daaraan actief een bijdrage leveren. Hiernaast zal fundamenteel onderzoek in de *Semiparametrische statistiek* voortgang blijven vinden, mede ter ondersteuning van de overige projecten binnen de afdeling. Dit onderwerp is de laatste jaren vanuit allerlei toepassingsgebieden, waaronder de biometrie en de econometrie, sterk gestimuleerd. Het huidige project *Toegepaste statistiek* is in feite een verzameling van wat grotere, meestal extern betaalde toepassingen, onder andere in samenwerking met of in opdracht van Rijkswaterstaat, die moeilijk ondergebracht kunnen worden bij een van de andere projecten. Dergelijke activiteiten passen goed binnen de doelstellingen van het CWI. Het project *Stochastische processen*, waarbij de nadruk ligt op de bestudering van processen in ruimte én tijd, zal in de bestaande omvang worden gehandhaafd. Onderdelen van dit project vormen een belangrijke onderbouwing van de beeldanalyse.

De **mathematische besliskunde** en **systeemtheorie** hebben grote praktische economische betekenis. Hierbinnen heeft het CWI-onderzoek aan *combinatorische optimaliseringsproblemen* zich de laatste jaren gericht op

parallele en interactieve methoden. Thans wordt een ombuiging overwogen in de richting van de meetkundige en kansgestuurde methoden, hetgeen relevant is voor modellen, bewijsmethoden, algoritmen en constructie- en decompositiemethoden, thans internationaal de aandacht trekt en er veelbelovend uitziet. Binnen het project *Analyse en besturing van informatiestromen in netwerken* bestudeert men sinds enkele jaren de prestatie-analyse van computercommunicatienetwerken. Nederland heeft een uitstekende naam op het gebied van theoretisch wachtrijonderzoek en de toepassing daarvan op moderne communicatiesystemen is dan ook voor een instituut als het CWI een kansrijk project. Niet alleen omdat zich hier allerlei interessante fundamentele problemen voordoen, maar ook omdat er aanzienlijke economische belangen mee zijn gemoeid. Andere onderdelen van dit project betreffen de analyse van wachtrijmodellen en de algemene theorie van communicatienetwerken. Het werk aan *Systeem- en regeltheorie* zal worden voortgezet. Dit wordt bij de groeiende behoefte aan automatische regeling en gegevensverwerking, zoals die zich voordoet bij de regeling van robots, verkeer en computers, de verwerking van spraaksignalen en de voorspelling van lucht- en waterverontreiniging, van steeds groter maatschappelijk belang.

De aanwezige expertise, bijvoorbeeld op het gebied van numerieke problemen, is tot stand gekomen omdat in het verleden de studie van daaraan ten grondslag liggende fundamentele wiskundige aspecten ter hand zijn genomen. Er zijn thans enkele belangrijke gebieden waarbinnen het CWI in principe over expertise beschikt, maar waar het de aansluiting met de internationale ontwikkelingen dreigt te missen, omdat door gebrek aan mankracht de kennis van het wiskundig instrumentarium niet meer op voldoende terreinen beschikbaar zal zijn. Dit geldt vooral binnen de *Analyse*. Dit geldt het onderzoek - veelal met behulp van computerexperimenten - aan dynamische systemen, waarbij aandacht wordt gegeven aan de mogelijkheden van de *Niet-lineaire functionaalanalyse*. Voor een aantal in de natuurkunde en de biologie gestelde problemen wordt hierbij veel verwacht van meetkundige, en vooral topologische methoden. Het lopende project *Niet-lineaire analyse en biomathematica* moet dan ook in deze richting worden uitgebreid. De bestaande aandacht voor de biomathematica, in het bijzonder de populatiedynamica, zal hierbij niet moeten verminderen, gezien het belang voor de epidemiologie. Een ander belangrijk gebied is de *Globale analyse*, waarbij de nadruk ligt op de studie van invarianten in verband met integreerbare systemen. Daarvan zijn er de laatste jaren verschillende ontdekt die zeer relevant zijn in allerlei fysische situaties. Het lopende project *Mathematische fysica* sluit hierbij aan. Ook werd aan deelgebieden zoals stabiliteitstheorie, ergodentheorie, vreemde aantrekkers en bifurcatie reeds aandacht besteed. Een derde gebied betreft de ondersteuning vanuit de analyse van het eerder genoemde project *Analyse en reconstructie van beelden*. Bij bovengenoemde onderwerpen kan worden voortgebouwd op reeds aanwezige ervaring. Tenslotte acht het CWI advisering bij fysisch en biologisch onderzoek van belang en het wil daarom de opgebouwde expertise binnen het project *Asymptotiek* behouden.

Onderzoek in de *Algebra* kan aanzienlijk worden gestimuleerd door systematische aandacht voor *Symbolisch rekenen en formulemanipulatie*. Het CWI acht het noodzakelijk hiermee te beginnen, niet alleen omdat het een belangrijk hulpmiddel is, maar ook omdat hieraan in Nederland betrekkelijk weinig aandacht wordt gegeven. Voorts is met steun van de Nationale Faciliteit Informatica een groep bezig met onderzoek in de *Cryptografie*. Deels voortbouwend op bestaande expertise in de discrete wiskunde richt deze groep zich op de analyse en constructie van protocollen en algoritmen voor beveiliging van gespreide systemen. Dit werk trekt nationaal en internationaal de aandacht en het CWI streeft dan ook naar uitbreiding van dit onderzoek.

De ruimere aandacht voor strategische aspecten leidt tot herbezinning op de bestaande organisatiestructuur van het wiskunde-onderzoek. Het CWI acht het van belang dat strategisch en toegepast onderzoek, dat voortbouwt op zuiver-wetenschappelijk onderzoek, zoveel mogelijk tezamen met dat zuivere onderzoek wordt ondergebracht binnen één afdeling. Dat betekent niet dat alle zuiver-wetenschappelijke projecten altijd worden gevolgd door meer toepassingsgericht onderzoek. Evenmin kan het uitgangspunt rigide worden toegepast, omdat er steeds projecten blijven - hetgeen ook wordt aangemoedigd - die zich over verschillende afdelingen uitstrekken, zoals het lopende project *Analyse en reconstructie van beelden*. Wel zal het betekenen dat indeling en naamgeving van de huidige afdelingen 'Zuivere Wiskunde' en 'Toegepaste Wiskunde' zal worden heroverwogen.

De bovenstaande argumenten, voorzover ze algemene versterking van het wiskunde-onderzoek bepleiten, gelden natuurlijk niet slechts voor het CWI. Het algemene belang van de wiskunde voor wetenschap en techniek

rechtvaardigt een aanzienlijke stimulering van de totale wiskunde in Nederland. De hier beschreven onderzoeksprioriteiten zijn mede bepaald door strategische belangen. Het CWI was en is steeds sterk gericht op fundamenteel onderzoek in de meer toepassingsgerichte deeldisciplines van de wiskunde. De beoefening van wat wel de 'zuivere wiskunde' wordt genoemd hangt daarbij steeds nauw samen met de ondersteuning van het overige wiskunde-onderzoek. De in de Nederlandse wiskundige wereld gehoorde stemmen die pleiten voor een extra versterking van de 'zuivere wiskunde' in Nederland worden door het CWI krachtig ondersteund; dat blijkt ook uit deze nota. Binnen de in deze nota voor het CWI uitgestippelde beleidslijnen is hierin echter niet voorzien. Het accres in middelen, nodig om in Nederland in de 'zuivere wiskunde' een redelijk gebalanceerd onderzoekprogramma uit te voeren, zou aanzienlijk hoger liggen dan wat hier voor de door het CWI gemaakte beleidskeuzen benodigd is. De SMC, met het CWI, is echter zeker bereid, indien dat wenselijk wordt geacht door de Nederlandse wiskundige gemeenschap en indien zij daartoe financieel in staat wordt gesteld, om een rol te spelen bij de organisatie van een extra landelijke versterking van het zuiver-wetenschappelijk onderzoek in de wiskunde.

5. Prioriteiten in het informatica-onderzoek

Bij de keuze van prioriteiten anno 1987 voor het informatica-onderzoek op het CWI is er één belangrijk verschil met de wiskunde: in 1984 en 1985 is een uitgewerkt Ontwikkelingsplan Informatica-onderzoek tot stand gekomen, dat de periode tot 1989 bestrijkt (tot welk tijdstip het INSP-subsidie loopt). De thans aangegeven prioriteiten sluiten nauw aan bij de indertijd voorgestelde aandachtsgebieden. Zij zijn, wellicht nog meer dan bij de wiskunde, vooral gericht op het behouden van voldoende zuiver-wetenschappelijk onderzoek. Immers, speciaal bij de informatica heeft de financiële druk op het totale CWI-budget in combinatie met diverse financieringsmogelijkheden voor strategisch of toepassingsgericht en zelfs toegepast onderzoek, ertoe geleid dat het evenwicht tussen zuiver-wetenschappelijk en strategisch onderzoek in gevaar is gekomen. Herstel en behoud van dit evenwicht staat voorop. Daarnaast gelden als belangrijke argumenten bij de keuze van de prioriteiten het verwachte strategische belang en de beschikbare expertise voor uitvoering van het onderzoek. In sommige van de hier voorgestelde onderzoeksprioriteiten is al geruime tijd onderzoek gaande bij het CWI. Dit geschiedt in goede samenwerking met de Nederlandse onderzoekswereld. Andere prioriteiten betreffen voorstellen voor nieuw onderzoek. Voor dergelijke activiteiten zal zeker samenwerking met en afstemming op het elders in Nederland verrichte onderzoek worden gezocht.

Een eerste prioriteit ligt op het omvangrijke terrein dat het beste is te omschrijven als de **theorie van het programmeren**. Zoals bekend heeft het CWI hierin een grote naam verworven en een aanzienlijke expertise opgebouwd. Deelterreinen waarop het CWI de laatste jaren actief was en in de komende jaren ook zal blijven, behelzen de onderwerpen *Concurrency* (gespreide gegevensverwerking heeft grote belangstelling gewekt voor parallellisme in programmeertalen) en *Software engineering* (dit betreft de projecten *Formele specificatiemethoden* en *Uitbreidbare programmeeromgevingen*, gericht op formele beschrijving van de beoogde functionaliteit van software- of hardware-systemen en de operationalisatie ervan). Een groot deel van dit werk wordt thans verricht door deelname in enkele grote ESPRIT-projecten. Hier dient de mogelijkheid te worden geschapen tot het verrichten van zuiver-wetenschappelijk onderzoek, vrij van de verplichtingen die binnen grote strategische projecten gelden. Het CWI streeft in dit verband naar de opbouw van een project *Termherschrijfsystemen*. Deze vormen een paradigma voor berekeningsprocedures en zijn in principe geschikt voor het op natuurlijke wijze implementeren van parallele berekeningen. Tevens zal worden gepoogd het programmatuuronderzoek meer vanuit de mathematische logica te benaderen. Wellicht is dit het beste binnen een wiskunde-afdeling te entameren, bij voorkeur in samenwerking met een universitaire onderzoeksgroep.

Het tweede hoofdthema betreft **kunstmatige intelligentie**, een onderwerp dat zowel nationaal als internationaal nog volop in ontwikkeling is. Dit onderzoek is bij het CWI minder snel van de grond gekomen dan bij de opstelling van het Ontwikkelingsplan Informatica-onderzoek werd gehoopt. Het is gericht op de toepassing van methoden van kennisrepresentatie en automatisch redeneren in expertsystemen. Voorts vindt in het kader van het SPIN-project PRISMA (Parallel Inference and Storage Machine) in samenwerking met Philips onderzoek plaats naar parallellisme in expertsystemen. Daarnaast is onlangs ook onderzoek gestart naar *Logische aspecten van kunstmatige*

intelligentie. Dit betreft vooral logische grondslagen voor expertsystemen (logisch programmeren en deductieve gegevensbanken).

Grote aandacht zal ook blijven uitgaan naar de **algoritmiëk**: het ontwerpen en implementeren van algoritmen, en de studie van hun complexiteit en correctheid. Ook op enkele deelterreinen van de algoritmiëk zoals numerieke algoritmen, combinatorische optimalisering, getaltheorie en encryptiesystemen - onderzoek dat binnen de wiskunde-afdelingen wordt verricht - heeft het CWI zich een sterke positie verworven die het in de toekomst ten minste wil handhaven. Algoritmiëk verdient blijvende aandacht omdat het behoort tot de kern van de informatica en omdat de synergie van wiskunde en informatica er bij uitstek in tot uiting kan komen.

Een vierde prioriteit is het onderzoek naar **architecturen**. Door de toenemende complexiteit van computersystemen en netwerken speelt de architectuur een steeds grotere rol. Naast voortzetting van lopend onderzoek naar *Gespreide systemen* (Amoeba) en naar *Gespreide adaptieve informatiesystemen* is het CWI geïnteresseerd in het starten van zuiver-wetenschappelijk onderzoek gericht op theorievorming voor *Processor-architecturen* en op systematische methodieken voor *Open architecturen*, die onder meer van belang zijn voor de ontwikkeling van standaards en geïntegreerde werkomgevingen. De bestaande expertise op het gebied van programmeeromgevingen, verkregen bij de ontwikkeling van de taal ABC, zal worden ingezet in een nieuw project *Integratie in omgevingen voor eindgebruikers*. Dit onderzoek betreft primair de theorievorming en methodologie-ontwikkeling.

Het CWI geeft reeds jaren veel aandacht aan **interactieve systemen**. Dit onderzoek is fundamenteel van aard, maar heeft tevens goede praktische toepassingsmogelijkheden. Vooral de laatste tijd heeft het onderwerp een sterke ontwikkeling doorgemaakt, getuige bijvoorbeeld de totstandkoming van de internationale grafische standaard GKS (Graphical Kernel System), waarin het CWI een belangrijke rol speelde. Op het gebied van computergrafiek staat de komende jaren de mens-machine interactie door middel van beelden van drie-dimensionale objecten (*Interactieve 3D-computergrafiek*) centraal. Naast het fundamentele onderzoek zal het ontwerpen van grote grafische *Methodenbanken* (informatiesystemen waarin gegevensbanken en programmatheken met elkaar zijn geïntegreerd) ter hand worden genomen. In het reeds geruime tijd lopende onderzoek naar *Gebruikersinterfaces*, die de abstracte informatie uit het computersysteem omzetten in een bruikbare representatie (woord, beeld, geluid), zal nu vooral het nog vrijwel onbetreden terrein van beeldinterpretatie aan de orde komen.

Na de ontwikkeling van een specificatietaal *Dialogcellen*, waarvan thans een experimentele implementatie gereed is (doel hiervan is het gedrag van een systeem tijdens interactie vast te leggen), zal het systeem worden uitgebreid met geavanceerde faciliteiten zoals automatische foutherstelling en dynamische scheduling. Ook uitbreiding naar machine-machine communicatie (onder meer robotica) wordt voorzien. Ander onderzoek in deze sfeer, dat nauw is gerelateerd aan projecten in het gebied van de architectuur, betreft de *Ergonomie van computersystemen*, waar het doel is een geïntegreerde gebruiker-gestuurde omgeving te genereren.

Een project met aspecten van zowel kunstmatige intelligentie als van interactieve systemen is IICAD (*Intelligent Integrated Interactive Computer Aided Design*). Doel is hier de theoretische basis te leggen voor zulke CAD-systemen, en een proefsysteem te implementeren ten behoeve van toekomstige, op *Knowledge engineering* berustende CAD-systemen.

Het CWI heeft een in principe flexibele organisatiestructuur waarbij wordt gestreefd naar zo veel mogelijk organisatorische samenhang tussen zuiver-wetenschappelijk onderzoek en het daarop gebaseerde strategische en toepassingsgerichte onderzoek. De onlangs gerealiseerde reorganisatie van het informatica-onderzoek, die resulteerde in drie afdelingen: Programmatuur, Algoritmiëk & Architectuur en Interactieve Systemen, voldoet op het moment goed aan dit criterium. Gezien de snel veranderende omstandigheden zal de afdelingsindeling echter steeds een punt van aandacht blijven.

6. Kennisoverdracht

Effectieve overdracht van resultaten is een vitaal aspect binnen een onderzoeksinstituut als het CWI. Enerzijds betreft het communicatie met collega's in de internationale onderzoekswereld, anderzijds gaat het om overdracht naar een grote en diverse groep van potentiële gebruikers van de aanwezige expertise.

Communicatie met collega's gaat via de gebruikelijke kanalen, zoals publikaties in wetenschappelijke tijdschriften, boeken en rapporten, voordrachten op conferenties, symposia, workshops, beoordeling van artikelen en onderzoeksvoorstellen, werkbezoeken, het uitnodigen van bezoekers, etc. Het CWI verzorgt het drukwerk en geeft boeken en rapporten uit in eigen beheer. De bibliotheek geeft ruime toegang tot de wetenschappelijke literatuur. Het CWI stimuleert de organisatie van wetenschappelijke conferenties. Onder auspiciën van het CWI werd in november 1986 de organisatie Frontiers in Information Technology (FIT) opgericht, met als doel een kader te bieden voor het organiseren van conferenties en symposia op veelbelovende deelgebieden van de informatietechnologie. Van de vele wetenschappelijke publikaties, voordrachten, bezoeken en dergelijke doet het CWI geregeld verslag. Ook door kadervorming krijgt kennisoverdracht gestalte. Veel jonge onderzoekers krijgen bij het CWI hun vorming en schrijven er hun proefschrift.

Kennisoverdracht naar diverse groepen van potentiële gebruikers heeft in de laatste jaren aanzienlijke extra aandacht gekregen. Er zijn vele vormen denkbaar, afhankelijk van de gebruikersgroep en de financieringsmogelijkheden.

In de eerste plaats zijn er cursussen voor gebruikers op expertisegebieden van het CWI. Binnen het PAO-kader worden verschillende cursussen gegeven. Ook is het CWI bereid deel te nemen aan tweede-fase opleidingen bij universiteiten. Zo draagt het CWI bij aan een door de Universiteiten van Amsterdam en Utrecht opgezette 'Academie voor Informatica' (een tweede-fase beroepsopleiding). Het geven van bedrijfscursussen wordt gestimuleerd en er wordt gepoogd om samen met het bedrijfsleven cursussen en seminars te ontwikkelen en te presenteren.

Een bijzonder aantrekkelijke wijze van kennisoverdracht, welke ook een zeer stimulerende invloed heeft op het eigen onderzoek van het CWI, is voorts het uitvoeren van onderzoek waarbij bedrijven zijn betrokken. Dit kan zijn in STW-verband, waarbij het bedrijfsleven als potentiële gebruiker deelneemt in de gebruikerscommissie, maar ook in het kader van ESPRIT of SPIN, of via andere overheidsstimuleringsregelingen, waarbij het gezamenlijk onderzoek betreft. Soms kunnen ook projecten worden opgezet die in belangrijke mate door bedrijven worden gefinancierd. En tenslotte kan men denken aan het detacheren van werknemers uit bedrijven bij het CWI (een bijzonder effectieve vorm van kennisvorming en -overdracht, die nog onvoldoende wordt benut). In 1986 bedroeg het totaal van de verkregen middelen voor samenwerkingsonderzoek 19%. Het beleid is erop gericht dit aandeel zo mogelijk nog te vergroten.

Onderzoek, kadervorming en kennisoverdracht komen op bijzonder aantrekkelijke wijze samen in een regeling waarbij een bedrijf 'fellowships' sticht bij het CWI. Dit betekent dat gedurende een aantal jaren een onderzoeksplaats wordt gefinancierd in een gezamenlijk geselecteerd gebied van fundamenteel onderzoek, dat voor het bedrijf interessant is. 'Fellowships' dragen bij tot het onderzoek van het CWI, de 'fellow' krijgt begeleiding van een der CWI-projectleiders, en er wordt kennis gevormd die na de afloop van de contractperiode beschikbaar is. In 1986 stichtte Shell zo twee fellowships bij het CWI en naar verwachting zullen ook met andere bedrijven dergelijke regelingen mogelijk zijn.

Het CWI streeft ernaar dat resultaten die daarvoor in aanmerking komen, bijvoorbeeld bepaalde programmatuurpakketten zoals GKS-C en CAR (Computer Aided Routing) commercieel worden geëxploiteerd. Hiervoor wordt zo mogelijk samenwerking gezocht met bestaande bedrijven die ontwikkeling, marketing en verkoop van dergelijke programmatuur in licentie wil verzorgen in ruil voor het afstaan van een royalty over de opbrengst. Indien langs die weg geen mogelijkheden bestaan, dan zal deelname worden overwogen in nieuwe, vanuit het CWI op te zetten bedrijven voor de commercialisatie van onderzoeksresultaten. Men kan hierbij denken aan zowel consultancy op het gebied van wiskunde en/of informatica, als aan de ontwikkeling en marketing van software-producten.

7. De rol van de niet-wetenschappelijke sectoren

De taken van de niet-wetenschappelijke sectoren betreffen in de eerste plaats de ondersteuning van de onderzoekers bij hun primaire taken: onderzoek, kennisoverdracht en kadervorming. Dit betreft het algemeen management van het instituut, bibliotheek en informatieverschaffing, projectbeheer, voorlichting, infrastructurele en

technische ondersteuning, gebouwbeheer, personeelszaken, financiële zaken, en dergelijke. In de laatste jaren is in het bijzonder aandacht besteed aan de organisatie van deze ondersteuning. De groei van het instituut, de eisen van de overheid betreffende de sturing van onderzoek en vooral ook de verschuiving in de financiering door aanzienlijke vergroting van het relatieve aandeel van inkomsten uit niet-ZWO bron, heeft geleid tot een herstructurering en versterking van de niet-wetenschappelijke sectoren.

De Sector Computersystemen en Telematica is in een aantal opzichten vergelijkbaar met de wetenschappelijk afdelingen. Deze sector draagt zorg voor installatie en onderhoud van de computer-infrastructuur die nodig is voor het uitvoeren van het wetenschappelijk programma. Ook internationaal worden faciliteiten verzorgd, zoals voor EUNET. Het CWI ziet dergelijke (inter)nationale activiteiten als noodzakelijk om op juiste wijze de centrumfunctie te kunnen vervullen. De expertise die binnen CST beschikbaar is wordt reeds ingezet bij ontwikkel- en standaardisatie-activiteiten, zowel nationaal als internationaal. Teneinde deze expertise ten nutte te maken zullen toepassingsgerichte onderzoeks- en ontwikkelprojecten binnen deze sector meer ruimte krijgen. Hierdoor, én door de enorme groei in het gebruik van computers en netwerken, is versterking van de sector CST noodzakelijk.

Ten aanzien van de directe ondersteuning door de Bibliotheek en Informatiedienst hebben de inspanningen in de loop der jaren geleid tot een grote en kwalitatief uitstekende collectie boeken, tijdschriften en rapporten, waardoor in feite een landelijke functie wordt vervuld. Dit is een direct gevolg van de aan de collectie gestelde eisen. Bij de acquisitie van aanwinsten voor de bibliotheek is het streven om het bezit zo evenwichtig mogelijk op te bouwen met betrekking tot de vertegenwoordigde onderwerpen. Daarnaast wordt rekening gehouden met het bij het CWI verrichte onderzoek. Ten aanzien van een verdere invulling van de taak denkt men onder meer aan samenwerking met andere bibliotheken (ook internationaal) en het gebruik van de mogelijkheden die moderne elektronische netwerken en informatietechnologie bieden. Er is een begin gemaakt met het interactief on-line toegankelijk maken van de catalogi. Deze faciliteit zal ook aan derden worden geboden (via SURF-net), hetgeen een belangrijke ondersteuning kan betekenen voor het wiskunde- en informatica-onderzoek in Nederland.

Binnen de sector Onderzoeksbeheer en -Voorlichting wordt aandacht gegeven aan taken zoals wetenschapsvoorlichting en het onderhouden van relaties met het bedrijfsleven, juridische ondersteuning bij contracten, organisatie van conferenties, congressen en cursussen, en het ontwikkelen van instrumenten voor projectbeheer. Naast de zuiver ondersteunende rol van deze sector worden er ook taken uitgevoerd die direct zijn gericht op het realiseren van de centrum-doelstelling van het CWI. Belangrijk is de administratieve organisatie en begeleiding van de landelijke ZWO-projecten in de wiskunde binnen de Stichting Mathematisch Centrum en in de informatica binnen SION. Het SION-bureau is gevestigd bij het CWI. Ook kunnen verenigingen of organisaties, tegen vergoeding van de kosten, gebruik maken van secretariële en organisatorische faciliteiten. In het bijzonder biedt het CWI ondersteuning bij de organisatie van conferenties en cursussen, waarbij zijn onderzoekers zijn betrokken.

De groter en complexer wordende organisatie heeft geleid tot uitbreiding van de Sector Sociaal-Economische Zaken. Deze uitbreiding is aangewend ter verbetering van de coördinatie en verhoging van de efficiëntie, alsmede voor een aantal taken in de personele en financiële sfeer die samenhangen met de versterking van de centrumfunctie. Doelen zijn een grotere efficiëntie van de financiële en personele administratie, alsmede het verschaffen van de voor bestuur en beheer benodigde middelen en informatie aan het management.

Bij hun werkzaamheden worden de onderzoekers waar nodig bijgestaan door programmeurs en systeemprogrammeurs. Deze zijn ondergebracht bij de Sector Technische Ondersteuning. Deze programmeurs moeten op efficiënte wijze inzetbaar zijn bij de wisselende en uiteenlopende werkzaamheden binnen de wetenschappelijke afdelingen. Daarnaast verzorgen zij de programmatuur op het gebied van de tekstverwerking en de kantoor- en bibliotheekautomatisering. De versterking van de computer-infrastructuur zal uitbreiding met zich meebrengen van de gebruikers-ondersteuning. Binnen deze sector is tevens de Publikatiedienst (drukkerij en tekstverwerking) ondergebracht. Deze staat ten dienste van de onderzoekers en verzorgt de wetenschappelijke publikaties, zoals de CWI-Monographs, -Tracts en -Syllabi, de CWI-rapportenseries en diverse andere publikaties. Voorts verzorgen de programmeurs en Publikatiedienst werkzaamheden in opdracht van derden. De uitbreiding van het instituut leidt ook voor deze sector tot verzwarende van taken.

8. Infrastructuur

Computer-infrastructuur

De laatste jaren heeft het gebruik van computers en de daarbij behorende infrastructuur voor onderzoek in zowel de informatica als de wiskunde een enorme vlucht genomen. Dit geldt ook voor het CWI. De informatica, voorzover niet zuiver theoretisch beoefend, behelst het ontwerpen, specificeren en construeren van systemen (programmatuur, architectuur, talen, netwerken, coderingen, apparatuur, etc.). Bijna steeds is daadwerkelijke constructie een noodzakelijke stap om een ontwerp op zijn mérites te kunnen beoordelen. Hiervoor is een geavanceerde infrastructuur op het gebied van computervoorzieningen imperatief. Ook voor het wiskunde-onderzoek wordt het computergebruik steeds belangrijker. Onderzoek aan systemen voor formulemanipulatie, simulering van dynamische systemen, cryptografie, analyse van beelden, parallelle algoritmen en statistische methoden met behulp van de computer, vereist ruime computercapaciteit en goede grafische werkstations. De genoemde 'capaciteit' moet echter niet worden afgemeten aan puur getalsmatige gegevens zoals aantallen Mips, maar aan de algehele kwaliteit van de geboden werkomgeving. In het algemeen is een op produktie gerichte omgeving zoals een rekencentrum die biedt niet erg geschikt om in de behoeften aan computerondersteuning bij het onderzoek te voorzien. Hierop zijn wel uitzonderingen, zoals voor grootschalige numerieke berekeningen op supercomputers, maar de aard van het gebruik in onderzoek vereist meestal snelle interactie en de aanwezigheid van voorzieningen zoals window managers en velerlei experimentele systemen, bijvoorbeeld compilers voor bijzondere talen, alsmede goede netwerkvoorzieningen.

In het Snowbird-rapport [1981] wordt gesteld: 'The department that wants its research to be at the frontier of Computer Science will require an investment of about \$55K to \$ 75K per researcher.' Hierbij kan men aan een afschrijvingsperiode van ongeveer vier jaar denken. In een later rapport van statistici in de Verenigde Staten ['Computers in Statistical Research', verslag van een workshop onder voorzitterschap van W.F. Eddy, *Statistical Science* Vol.1, Nr.4, 419-453, 1986] wordt voor statistici gesproken van 'a crude but useful summary figure is that \$10,000 per researcher per year on a continuing basis will provide a department substantial computational resources with adequate operating support'. Hoewel sinds 1981 de prijzen van apparatuur aanzienlijk zijn gedaald groeit de capaciteitsbehoefte steeds sneller. Bovendien is dezelfde of gelijkwaardige apparatuur in Europa doorgaans aanzienlijk duurder dan in de Verenigde Staten. De mening dat voor onderzoek van hoog niveau aanzienlijke investeringen nodig zijn voor apparatuur wordt ook bevestigd door de situatie bij gerenommeerde informatica-instituten in de Verenigde Staten en Engeland, waar de beschikbare computercapaciteit per onderzoeker thans reeds in de regel een veelvoud is van hetgeen bij het CWI beschikbaar is.

Bij de berekeningen van de structureel benodigde bedragen voor investeringen in apparatuur ligt het voor de hand om per onderzoeksplaats in zowel de wiskunde als de informatica, alsmede per (systeem)programmeursplaats, een gemiddeld bedrag voor investering in apparatuur te hanteren dat is gebaseerd op bovenstaande constatering. Daarnaast is in de ondersteunende sectoren (management en administratie, bibliotheek, tekstverwerking en drukkerij) een wat bescheidener investering per plaats nodig voor tekstverwerking, database-toepassingen en financieel-administratieve toepassingen.

Het CWI geeft in zijn Beleidsplan Computervoorzieningen 1988-1993 aan welke prioriteiten moeten worden gesteld om een adequate infrastructuur voor het onderzoek en de ondersteunende diensten te kunnen realiseren. Hierin worden ook schattingen gegeven voor de benodigde financiële middelen in deze periode, waarbij rekening wordt gehouden met de door SARA verstrekte faciliteiten. In deze nota zal hierop niet verder worden ingegaan.

Huisvesting

Het CWI heeft in 1980 de huidige goede huisvesting mogen betrekken. Het toentertijd ruim opgezette gebouw was bedoeld voor in totaal 175 personeelsleden, een aantal dat naar verwachting in de loop van de jaren tachtig zou worden bereikt. Inmiddels heeft een aantal, bij de bouw niet te voorziene ontwikkelingen geleid tot een aanzienlijk sterker uitbreiding van het personeel. In de periode van 1980 tot en met 1986 is het aantal personeelsleden met 33% toegenomen en gegroeid tot ongeveer 20% boven het aantal van 175 waarvoor het gebouw was ontworpen. Dit geldt

in de eerste plaats voor het eigen onderzoekspersoneel. Maar ook vereist een adequate invulling van de centrumfunctie dat er ruimte beschikbaar is voor wetenschappelijk adviseurs, buitenlandse deskundigen en bezoekers. Bovendien zal er voor stagiairs van Universiteiten en Hoger Beroepsonderwijs enige ruimte beschikbaar moeten zijn. Tenslotte zullen in verband met het streven naar samenwerking met bedrijven of andere instellingen soms ook gedetacheerden bij het CWI een plaats moeten vinden. Uitvoering van dit beleid wordt door ruimtegebrek ernstig belemmerd.

Tenslotte ziet men thans in toenemende mate onderzoekskernen ontstaan die in de directe omgeving van instituten als het CWI functioneren. Het CWI meent hierop te moeten inspelen. Deze ontwikkeling dient dan echter geen belemmering te ondervinden van ruimtegebrek binnen of bij het CWI.

Het CWI streeft gezien het bovenstaande met kracht naar uitbreiding van zijn behuizing op zo kort mogelijke termijn. De wensen daartoe zijn geformuleerd in een 'Programma van eisen', dat in het najaar van 1986/7 bij ZWO is ingediend.

Naast de uitbreiding zal ook in de huidige behuizing moeten worden geïnvesteerd. De snelle ontwikkelingen op het gebied van het apparatuurgebruik maken een aanzienlijke uitbreiding van het lokale netwerk noodzakelijk, hetgeen ingrijpende aanpassingen in het gebouw vereist. In het Beleidsplan Computervoorzieningen wordt hierop in detail ingegaan.

9. Samenvatting en conclusies

Deze beleidsnota schetst de contouren van een door het CWI te voeren beleid tot en met 1993. Als uitgangspunt geldt het in de statuten van de Stichting geformuleerde doel: de bevordering van de systematische beoefening van de zuivere en toegepaste wiskunde. Uit de wetenschappelijke activiteiten van het Centrum door de jaren heen blijkt duidelijk dat de initiatiefnemers vanaf de aanvang ook de beoefening van de informatica voor ogen heeft gestaan, doch dat het niet noemen ervan in de statuten moet worden verklaard uit het feit dat dit vakgebied ten tijde van de oprichting van de Stichting Mathematisch Centrum nog niet als aparte discipline werd gezien.

De statutaire doelstelling is ten aanzien van het CWI uitgewerkt naar drie wezenlijke aspecten: het uitvoeren van *excellent onderzoek, kennisoverdracht en kadervorming*, en het functioneren als internationale *ontmoetingsplaats*. Van deze drie aspecten is de eerste veruit de belangrijkste. De beide andere zijn weliswaar als doelstelling onafhankelijk, doch slechts realiseerbaar in samenhang met het onderzoek. Immers, de daaruit verkregen kennis wordt overgedragen en kadervorming vindt plaats door begeleiding van jonge onderzoekers.

Het uitvoeren van zuiver-wetenschappelijk onderzoek op internationaal niveau is voor het CWI de belangrijkste activiteit. Een essentiële nevenactiviteit vormt het strategisch en toepassingsgerichte onderzoek; het toegepaste onderzoek en ontwikkelingswerk is een afgeleide activiteit. Bij de uitvoering van het beleid zal het voordeel van een samengaan van wiskunde en informatica in één instituut optimaal worden benut.

Behoud van een goede balans tussen zuiver-wetenschappelijk onderzoek enerzijds en strategisch en toepassingsgericht onderzoek anderzijds vereist, en dit werd door de deelnemers aan de workshop in 1985 over de positie van het CWI ook onderschreven, een financiering van het instituut die steeds grotendeels ten laste van ZWO zal komen. Daarboven is financiering uit andere bronnen gewenst, waarbij wordt gestreefd naar een aandeel van ongeveer 30% in de totale financiering van het instituut. Daarvoor is een financieringsverhouding met ZWO gewenst, waarin enerzijds de continuïteit van het fundamentele onderzoeksprogramma is gewaarborgd, en anderzijds de ruimte bestaat, zowel financieel als ten aanzien van de besluitvorming, om te kunnen investeren in activiteiten gericht op commerciële exploitatie van onderzoeksresultaten.

Het CWI moet, op grond van het gekozen beleid, deelnemen in de belangrijke ontwikkelingen die thans in de wiskunde plaatsvinden. Dit vereist het betreden van nieuwe gebieden en soms ook het ombuigen van bestaande. In hoofdstuk 4 zijn de gebieden en projecten aangegeven die op grond van het gekozen beleid als prioriteiten gelden. Het belang van deze onderwerpen wordt in meer detail onderbouwd in een afzonderlijke bijlage. Het voorgestelde programma biedt uitzicht op behoud van kwaliteit in het wiskunde-onderzoek en een voldoende expertisebasis voor deelname in samenwerkingsonderzoek.

Het voorgestelde programma voor wiskunde-onderzoek is ten dele realiseerbaar via ombuigingen. Daarnaast is een geleidelijke groei vereist teneinde ook nieuwe onderzoeksgroepen te kunnen opbouwen. In totaal zullen naar verwachting in vergelijking met de begroting 1988 ongeveer 10 extra plaatsen nodig zijn tot 1993 voor de uitvoering van de voorgestelde prioriteiten. De ombuigingen vereisen echter enige tijd, zodat een tijdige start van nieuw onderzoek een relatief sterke groei in het begin van de vijfjarige periode vereist. In de tweede helft van deze periode kan dan de uit ombuigingen vrijkomende capaciteit worden benut voor verdere vernieuwing.

In het informatica-onderzoek is door deelname in diverse samenwerkingprojecten het evenwicht tussen zuiver-wetenschappelijk onderzoek enerzijds en strategisch en toepassingsgericht onderzoek anderzijds in gevaar gekomen. De in hoofdstuk 5 gegeven prioriteiten zijn mede gericht op het herstel van dit evenwicht. Belangrijke nieuwe projecten zijn daarom vooral van zuiver-wetenschappelijke aard. Nationaal en internationaal is er sprake van een sterke groei in het informatica-onderzoek. Het CWI heeft het vertrouwen met het in deze nota voorgestelde programma zijn opgebouwde positie nog iets te kunnen versterken. De gekozen prioriteiten sluiten aan bij de internationale ontwikkelingen en de eigen expertise. Van essentieel belang is dat de extra via het INSP verstrekte middelen van 2 Mfl per jaar na 1988 via een verhoging van het ZWO-subsidie structureel worden toegekend. Daarnaast is voor de uitvoering van het geschetste beleid naar verwachting een verhoging van de capaciteit vereist met

ongeveer 10 plaatsen.

Het CWI bevordert kennisoverdracht en kadervorming. Naast de klassieke middelen van publikaties en voordrachten wordt vooral aandacht gegeven aan onderzoek in samenwerking met het bedrijfsleven. Ook ondersteuning bij de organisatie van bijvoorbeeld cursussen, conferenties, workshops en tweede-fase opleidingen behoort tot deze activiteiten. Het CWI begeleidt stagiairs van Universiteiten en het Hoge Beroepsonderwijs en voert een actief beleid in het uitnodigen van buitenlandse onderzoekers. Dergelijke activiteiten vereisen middelen voor administratieve en organisatorische ondersteuning, voor reis- en verblijfkosten, voor het bieden van een goede infrastructuur aan gasten, etc. Het vereist eveneens dat de personele capaciteit in de ondersteuning gelijke tred houdt met die in de wetenschappelijke afdelingen.

De computer-infrastructuur bij het CWI is in verhouding tot internationale maatstaven onvoldoende. Op basis van internationale vergelijking en adviezen van deskundigen acht het CWI een aanzienlijke verhoging van de investeringen geboden. Daartoe is een Beleidsplan Computervoorzieningen CWI 1988-1993 opgesteld. Hierin wordt aangegeven welke infrastructuur benodigd is voor uitvoering van het hier voorgelegde beleid en welke investeringsbedragen dit vereist.

Het CWI heeft in 1980 een goede huisvesting mogen betrekken. Bij de bouw daarvan was het uitgangspunt dat uitbreiding tot 175 personen mogelijk zou zijn. Door niet te voorziene ontwikkelingen is de groei in personeel sinds 1980 aanzienlijk hoger uitgevallen, waardoor in 1987 het personeelsbestand reeds 20% boven de bedoelde 175 ligt. Uitvoering van het voorgenomen beleid zal leiden tot verdere groei van de huisvestingsbehoefte. Dit geldt zowel voor het eigen personeel als voor bezoekers, stagiairs en gedetacheerden. Het is daarom van het grootste belang dat het Centrum de mogelijkheid krijgt tot uitbreiding van het huidige gebouw.