Gedachten over de mathematisering van de samenleving, gezien 'vanuit de Wiskunde'

Inleiding

Dit essay is geschreven, vanuit een wiskundige invalshoek, op verzoek van de OCV. Het moet dienen als voorbereiding op een advies aan de Minister van OCenW over hoe in de wetenschap kan worden ingegaan op de mathematisering van de samenleving. De OCV gaf hiervoor een aantal opties aan:

1. Het vergroten van de toepassingsgerichtheid van de opleiding.
2. Het vergroten van de toepassingsgerichtheid van het onderzoek aan wiskunde-faculteiten
3. Stimulering van wiskundig onderzoek in de betreffende "afnemende" vakgebieden"
4. Stimulering van samenwerkingsprojecten tussen onderzoeksgroepen in de wiskunde en andere vakgebieden

Ik heb geprobeerd om in een drietal paragrafen een visie te geven op plaats en toekomstperspectief van de wiskunde in het algemeen en in Nederland in het bijzonder. Op grond van de beschreven overwegingen worden, aan het eind van de paragrafen 2 en 3, pre-adviezen geformuleerd. Bij deze overwegingen en pre-adviezen hebben de door de OCV genoemde opties als leidraad gefungeerd, maar ik heb me er niet toe beperkt, met name omdat ik het nodig vond de wiskunde als ondeelbaar geheel te blijven beschouwen en daarvan niet een enkel, zij het maatschappelijk belangrijk, aspect nadrukkelijk te isoleren. De adviezen strekken zich dus uit over de beoefening van de wiskunde als geheel maar beogen wel om de link met de samenleving en het bedrijfsleven te versterken. In hoeverre deze adviezen budget-neutraal kunnen worden uitgevoerd weet ik niet, dat hangt mede af van de grootte van het beoogde effect.

1. De wiskunde en haar belang voor de samenleving.

De wiskunde is een wetenschap die zich bezig houdt met het aanbrengen van structuren in een geheel kunstmatig geschapen wereld, een wereld die alleen in benadering gelijkenis vertoont met de werkelijke wereld. Elementen als een oneindig lange rechte lijn (zonder "dikte"), of een oneindig uitgestrekt plat vlak (alweer zonder "dikte") komen in de natuur niet voor. Desondanks heeft het aannemen van fundamentele eigenschappen ("axioma's") en ontdekken van structuren ("stellingen" en "algoritmen") in de zo ontstane schijnwereld geleid tot een wetenschap waarmee bruikbare, en vaak verrassend nauwkeurige, modellen voor de werkelijkheid kunnen worden geconstrueerd. De meteoroloog herleidt het weer tot een aantal abstracte meetbare elementen: temperatuur, druk, relatieve luchtvochtigheid. Hij gebruikt wiskundige formuleringen om verbanden ("wetten") tussen deze basis-elementen aan te geven. Zo'n wet drukt bijvoorbeeld uit dat in eerste benadering de luchtdruk in elk punt het gemiddelde is van de druk in de directe omgeving, dat gebeurt vaak in de vorm van een differentiaalvergelijking. Het is vervolgens bijzonder lastig om met dit soort locaal geldige wetten een groter

geheel te overzien, maar nu blijkt de kracht van de wiskunde. De in de wiskunde ontwikkelde structuren (in dit geval bijvoorbeeld de theorie van differentiaalvergelijkingen) kunnen vervolgens gebruikt worden om met deze wetten verder door te dringen in de ontrafeling van ingewikkelde problemen ("hoe zal het weer er morgen uitzien?", "waardoor wordt het ozon-gat veroorzaakt", "hoe ontwikkelt ons klimaat zich?", "kunnen onze warme zomers aan toeval worden toegeschreven?"), en om gericht te zoeken naar ontbrekende gegevens om het gehele systeem adequaat te kunnen beschrijven. Deze wiskunde heeft duidelijk een beperkte geldigheid: de fysische wet geldt maar bij benadering, maar ook doet de wiskunde hier slechts een exacte uitspraak over een oneindig kleine omgeving van het beschouwde punt. In werkelijkheid is er in zo'n oneindig kleine omgeving helemaal niets (als we tenminste ver voorbij het subatomaire niveau inzoomen). Als we op een dergelijke fijne schaal verschijnselen willen doorgronden, dan komt de wiskunde van stochastische processen ons te hulp.
Onder invloed van ontwikkelingen in onze samenleving hebben concrete probleemstellingen aanleiding gegeven voor het verder ontwikkelen van meer toepassingsgerichte vleugels aan het wiskunde bouwwerk: statistiek, operations research, numerieke wiskunde, mathematische fysica. Deze specialismen konden zich alleen ontwikkelen op basis van de op de bestudering van fundamentele structuren gerichte zuivere wiskunde.
Een belangrijke ontwikkeling is dat door de explosieve automatisering van onze maatschappij er impliciet een mathematisering van deze maatschappij plaats vindt. Vrijwel elke vorm van automatisering kent een achterliggend wiskundig model of wiskundige benaderingsmethode. Om de juiste beslissingen te kunnen nemen, is het van belang de moderne wiskunde te exploiteren. Een specialisme als Operations Research, bijvoorbeeld, is nodig voor het ontwerp van storingsongevoelige dienstregelingen voor de NS, voor vliegtuigrouteringsschema's van de KLM, voor de beheersing van transportproblematiek. Het oplossen van stelsels differentiaalvergelijkingen is vereist voor het adequaat bijregelen van de druk op ons gasdistributienet, voor het bepalen van de effecten van locale grondwaterverontreiniging, voor het begrijpen van chemische processen in de atmosfeer. De ontwikkeling van de platte beeldbuis vereist het kunnen berekenen van banen van electronen in zeer sterk gekromde magnetische velden (ook voor de constructie van deze velden is geavanceerde wiskunde nodig). Statistische technieken maken het mogelijk om risicoschattingen te maken ten behoeve van dijkverzwaring, om de risico's in te schatten op het uitvallen van een deel van het electriciteitsnet. Banken maken gebruik van moderne getaltheoretische resultaten voor het beveiligen van hun electronisch transactieverkeer. Boeren kunnen niet meer zonder computers voor hun melk- en mestboekhouding en zijn zeer gebaat bij statistische analyses daarvan. Bestuurders vertrouwen steeds meer op analyse van demografische gegevens. De lijst is moeiteloos uit te breiden, en het is verrassend te zien hoeveel van de gebruikte wiskunde in dit soort toepassingen in de afgelopen twintig jaar tot wasdom is gekomen (deels onder druk van deze vraagstellingen).
Het is dringende noodzaak dat de achterliggende wiskunde in deze modellen gezond is en, wat haast nog belangrijker is, dat zij door ons begrepen wordt. Wij kennen allemaal de voorbeelden van computers die rampzalige fouten maken, of van fouten door verkeerde interpretatie van een (onbekend) model.

Terugkomend op de wiskunde zelf: deze is voor mij als een gebergte met drie hoogste toppen:
zuiver, en daaronder valt het zoeken naar de structuren zelf,
toepasbaar, het onderzoek naar die structuren die aansluiten op aanvaarde concepties uit de niet-wiskundige wereld,
toegepast, het inbedden en aanpassen van wiskundig gereedschap voor toepassingen buiten de

wiskunde.
Het geheel is niet te scheiden: zonder zuivere wiskunde geen toepasbare en dus ook geen toegepaste wiskunde. Omgekeerd wordt de inspiratie voor de zuivere wiskunde gevoed door ontwikkelingen van buitenaf. Met name de categorieën *zuiver* en *toepasbaar* zullen een fundamenteel karakter hebben, maar ook toegepast onderzoek dat zich uitstrekt over meerdere toepassingen kan heel goed fundamenteel van aard zijn. Bij de toegepaste wiskunde komen we in het overgangsgebied met andere vakgebieden. Om nog even bij de beeldspraak te blijven: de rivieren met kennis, begonnen op de hoogste toppen en wederzijds versterkt, storten zich over de andere gebieden uit (maar daar houdt de beeldspraak dan ook wel op).

2. De huidige situatie in Nederland

De wiskundige zoekt dus naar structuur in abstracte modellen, onderzoekt de toepasbaarheid daarvan, en natuurlijk houdt hij zich ook met toepassingen bezig. Moderne fysica, chemie, biologie, technische wetenschappen, economische- en bedrijfswetenschappen, informatica, eigenlijk om het even wat, zijn ondenkbaar zonder wiskunde. Dit veld van afnemers heeft een groeiende behoefte aan wiskundig gereedschap, hetgeen niet impliceert dat zij ook een groeiende behoefte aan wiskundigen heeft. Het fundamenteel wiskundig onderzoek zal, wanneer het buiten de universiteiten plaats vindt, in het algemeen waarschijnlijk te kleinschalig zijn om te kunnen floreren. Wiskunde moet in grotere groepen beoefend worden, met alle schakeringen van abstractie naar toegepast, en de Nederlandse bedrijven zijn hiervoor niet groot genoeg. Wiskunde is dus in mijn optiek meer dan andere β-disciplines een universitaire aangelegenheid. Dit betekent dat de koppeling tussen probleemstelling uit de samenleving en het wiskundig onderzoek langs vele schakels kan lopen. Wij moeten ons, actiever dan nu het geval is, bezig houden met het levend houden van deze koppeling en tendensen van vervreemding tegengaan. Wat dit betreft heeft de huidige tweefasen structuur in het onderwijs nadelig uitgepakt. In een poging de noodzakelijke wiskunde in een vier-jarige opleiding te persen, heeft men sterk moeten snoeien op de bijvakken, en zelfs dan moet men nog betwijfelen of het mogelijk is om iemand in vier jaar tot wiskundige op te leiden. Doordat men bovendien de leraren-opleiding los gekoppeld heeft, komt sterk de vraag op welk beroepsperspectief de aankomend student mag hebben bij een tamelijk geïsoleerde studie in de wiskunde, anders dan een academische carrière. Het feit dat onze maatschappij nog steeds, en zelfs graag, wiskundig opgeleiden opneemt is waarschijnlijk meer te verklaren vanwege het imago van gestructureerd denker, dan aan de pure behoefte aan meegebrachte wiskundige kennis. Het ontbreken van een maatschappelijk beeld van wat een wiskundige kan betekenen is naar mijn overtuiging een oorzaak voor de geringe toestroom van studenten.
In elk geval betekent deze geringe, en nog steeds dalende, instroom dat de wiskunde zich in een zeer kwetsbare positie bevindt, vanwege de huidige universitaire financieringspolitiek waarin de omvang van eerste geldstroom gekoppeld is aan studentenaantallen.

De wiskunde is, in tegenstelling tot haar imago bij het grote publiek, een uitermate levende wetenschap. Haar beoefening staat in Nederland op een hoog peil. Het volume aan wiskundig werk blijft echter relatief achter bij andere westerse landen en we zijn inmiddels in een situatie beland waarin het wiskundig onderzoek in de gevarenzone is gekomen: onvoldoende massa en onvoldoende nieuw bloed. De tekenen zijn onmiskenbaar en de feiten zijn bekend. Door een dramatische daling in het aantal wiskunde studenten gedurende de laatste 10 jaar, zijn er nu te weinig afstudeerstudenten meer beschikbaar zijn om via stages inhoud te geven aan samenwerking met bedrijfsleven, GTI's en financieel-economische wereld, en vindt er op deze

wijze te weinig verspreiding van toepasbare universitaire kennis plaats. Zelf kan ik al geruime tijd niet meer voldoen aan de vraag van buitenaf naar afstudeerstudenten voor interessante projecten. Ook het wiskundig onderzoek zelf leidt hierdoor schade omdat afstudeerstudenten een nuttige bijdrage kunnen leveren aan het uitproberen van nieuwe ideeën, en aan het uitvoeren van kleinschaliger deelonderzoek.
De werkgelegenheid voor jonge wiskundigen is uitstekend en duidt op een tekort, alhoewel maar weinig afgestudeerden een baan als wiskundige vinden. Als de vraag naar wiskundig geschoolden niet afneemt, het tegendeel lijkt eerder het geval, dan zullen weldra de negatieve gevolgen van de sterk verminderde instroom duidelijk gaan worden.
Ondanks deze verminderde instroom dient zich nog steeds toptalent voor promotie-onderzoek aan. Echter het vasthouden van toptalent, na hun promotie-onderzoek, is zeer moeilijk. Immers, door de koppeling van eerste geldstroom aan de (dalende) studenteninstroom is het aantal vaste posities dalende. Ons toptalent krijgt na de promotie-fase meestal nog wel een vervolg aangeboden in de vorm van een KNAW-beurs of een post-doc positie. Maar vanwege de nog immer voortgaande inkrimping van de vaste staf aan onze universiteiten is er voor deze excellente jonge onderzoekers slechts zelden een universitaire carrière weggelegd. Doordat zij na hun lange vorming (doctoraal + promotie + post-doc fase) inmiddels te oud, te duur of te gespecialiseerd zijn voor het bedrijfsleven, hebben zij weinig alternatief boven vertrek naar het buitenland of het voortzetten van hun carrière in andere richting. Niet alleen leiden wij dus al te weinig wiskundigen op, maar de paar toptalenten die zich aandienen kunnen wij bovendien niet langdurig vasthouden voor het fundamentele onderzoek. Het gevolg van deze gang van zaken is op langere termijn catastrofaal: wij zijn bezig een hele generatie voor het wiskunde onderzoek en onderwijs over te slaan.
Zoals de meeste omringende landen houdt Nederland er een gespecialiseerd instituut voor de wiskunde (en de informatica) op na: het CWI. Het CWI, naast de GTI's, vervult een nuttige bufferfunctie voor de wiskunde. Zij heeft jonge talenten de gelegenheid tot verdere ontwikkeling geboden en de universiteiten en GTI's hebben deze talenten dankbaar afgenomen: menig hoogleraar begon zijn (helaas nog geen "haar") loopbaan bij het CWI. Het huidige streven is helaas om het CWI afhankelijker te maken van derde-geldstroom. Daardoor staat ook hier het aantal posities voor fundamenteel onderzoek onder druk.

Naast het ontbreken van een duidelijk beroepsperspectief moeten oorzaken voor de geringe nieuwe toestroom deels ook gezocht worden in het dorre imago van de wiskunde zoals de samenleving dat voor ogen heeft. In het onderwijs zou naast het aanleren van wiskundige basisvaardigheden grote aandacht besteed moeten worden aan de maatschappelijke betekenis en de mogelijkheden van de moderne wiskunde. Daarvoor is het nodig dat leraren geïnformeerd blijven. In dit verband kan opgemerkt worden dat de relatie die er destijds was tussen Universiteit en middelbaar onderwijs, via de "gecommitteerde" bij het eindexamen, helaas verloren is gegaan. Vaak werd deze relatie door leraar en gecommitteerde benut om over hun beider vakgebied van gedachten te wisselen.
De samenleving moet zich, onder andere via het onderwijs, bewust gemaakt worden van het enorme belang van een zorgvuldige denkmethodologie, vooral in een tijd dat zij zich steeds afhankelijker maakt van het in automatisering verscholen denkwerk van een beperkte groep.

Conclusies en pre-adviezen:

1. *Het huidige volume aan zelfstandige wiskunde beoefening is in de gevarenzone geraakt. Versterking van de wiskunde moet gepaard gaan met een verruiming van budgetten voor*

het opvangen van de dalende eerste-geldstroom. Het aanboren van derde-geldstroom mogelijkheden is geen goed alternatief. Terecht wijst de industrie er op dat het geven van goed (aan onderzoek) gekoppeld toponderwijs bij de infrastructurele voorziening van onze samenleving hoort. De via derde-geldstroom verkregen gelden dragen trouwens maar weinig bij aan de kwaliteit van dat top-onderwijs.

2. *Goede onderzoekers zouden bijvoorbeeld, bij gebrek aan vaste posten, ingeschakeld moeten kunnen worden in projectonderzoek. De wachtgeld regeling moet daarvoor aangepast worden; momenteel werkt deze in het nadeel van talent ouder dan 30 jaar. Ook zou er een bodem gelegd moeten worden in de koppeling tussen studentenaantallen en eerste geldstroom.*

3. *De wiskundigen zouden zich meer rekenschap moeten geven van de context waarbinnen hun onderzoek zich afspeelt en zij zouden de relevantie van hun werk voor de samenleving duidelijk moeten maken, hoe indirect die relatie ook moge zijn.*

4. *Bij het inrichten van studie-programma's moet meer aandacht besteed worden aan de relatie tussen wiskunde en afnemende vakgebieden. De huidige 4-jarige opleidingen bieden hier te weinig ruimte voor en men zou de studieduur moeten verlengen naar vijf jaar, onder voorwaarde van verbreding van de studie.*

5. *Alternatieven voor het huidige lange opleidingstraject voor uitstekende wiskundigen (nl. in de praktijk ruim 5 jaar doctoraal plus nog eens ruim 4 jaar voor promotie) moeten serieus worden onderzocht. Ik wijs hierbij op het succes van de ontwerpersopleidingen.*

6. *Een nationaal instituut voor de wiskunde moet in stand worden gehouden. Dat instituut zou een duidelijke missie op het gebied van fundamenteel onderzoek moeten hebben met sterke afgeleiden naar de toepassingen.*

7. *De relatie tussen Universiteit en middelbaar onderwijs moet verstevigd worden. Men zou de mogelijkheid kunnen onderzoeken om didactisch begaafde personen op posities aan te stellen waarbij zij hun onderzoek in een universitair kader uitvoeren en hun onderwijstaak bij het middelbaar onderwijs vervullen.*

3. De wiskundige en de Nederlandse samenleving

In deze paragraaf wil ik eerst wat bespiegelen over de rol waarin de wiskundige terecht is gekomen, al dan niet uit vrije keuze. De vraag rijst dan onmiddellijk of de wiskundige zich tegenwoordig wel voldoende bezig houdt met vragen die voortvloeien uit de niet-wiskundige samenleving, en of het bestaan van een draagvlak niet als te vanzelfsprekend wordt verondersteld.

Bij de verkenning van de grenzen van het abstract denken is het voor de wiskundig onderzoeker niet werkbaar om steeds bedacht te zijn op toepassingen. Echter het zwaartepunt van de wiskundige arbeid als geheel zou wel op toepassing gericht moeten zijn, danwel vanuit de toepassing gemotiveerd. Door concentratie op haar onderzoekstaak voor het verder werken aan abstracte structuren, en tegelijkertijd de toegankelijkheid van haar vakgebied voor de samenleving te verwaarlozen, heeft de moderne wiskundige zich te veel van de samenleving vervreemd. De ironie wil dat, juist nu de wiskunde krachtige middelen heeft ontwikkeld om complexe problemen uit wetenschap en samenleving te helpen doorgronden, de samenleving steeds minder in staat is om dit te benutten. Slechts bij uitzondering is het potentiële veld van afnemers zich bewust van wat de moderne wiskunde haar te bieden heeft. De reeds eerder geschetste situatie rond de twee-fasen structuur heeft deze situatie er in Nederland niet gunstiger op gemaakt. De kloof tussen wiskunde en samenleving, inclusief 'afnemende vakgebieden', wordt bovendien niet alleen steeds wijder door wiskundige voortgang, maar ook door het kennelijk weinig aansprekende wiskunde en informatica onderwijs op de middelbare scholen. Het onderwijs is kennelijk niet bij machte om voldoende interesse voor het gebruik van wiskundige vaardigheden op te wekken.

Een zelfde soort kenniskloof bedreigt ons wanneer wij het wiskunde onderzoek op te beperkte schaal in Nederland blijven uitvoeren. Een naïeve gedachte zou kunnen zijn om dan gebruik te maken van resultaten van buitenlands onderzoek. Echter precies zoals de samenleving momenteel de kennis ontbeert om de aansluiting tot stand te brengen, zo zal dan ook de gespecialiseerde kennis ontbreken om van buitenlandse resultaten te kunnen profiteren. Een ieder die wel eens een (toegepast) wiskundig tijdschrift doorbladert zal moeten beamen dat er veel achtergrondkennis nodig is om de gepresenteerde resulaten te kunnen interpreteren. Bovendien wordt hoogwaardige nieuwe kennis snel doorgegeven aan de 'top' en sijpelt zij veel langzamer door naar 'beneden'. Om die reden moeten wij op een voldoende breed gebied actief aan het front van het onderzoek bezig blijven, in alle schakeringen van *zuiver*, *toepasbaar* en *toegepast*.

De moderne wiskundige is naar mijn overtuiging te veel van de samenleving vervreemd en te vrezen valt dat nieuwe ontwikkelingen wegens deze vervreemding nog maar bij uitzondering hun weg weten te vinden naar andere vakgebieden, en dan nog in een te laag tempo. Wanneer er gewezen wordt op succesvolle toepassing van wiskundige abstracties, waar de structurering van deze abstracties juist door ongeremd onderzoek werden verkregen, dan betreft meestal gebeurtenissen uit een inmiddels ver verleden. Nu heeft het ook in het verleden vaak lang geduurd alvorens nieuwe bijdragen hun weg naar toepassing vonden, maar de dynamiek van het moderne onderzoek en de grote problemen waar de samenleving zich voor geplaatst ziet vragen om een kortere weg van theorie naar toepassing. Bovendien is er waarschijnlijk ook meer behoefte aan vanuit de maatschappelijke problematiek geïnitieerde theorie.

Het lijkt er sterk op dat de moderne niet-wiskundige wetenschap niet voldoende kan profiteren van het fundamentele wiskundige onderzoek. Maar ook het toegepast wiskundig onderzoek voltrekt zich, althans in Nederland, veelal los van de directe vragen uit de samenleving. Men onderzoekt grosso modo wat men in eigen kring belangrijk vindt en de onderzoeker wordt meestal ook slechts afgerekend op publikaties in vakbladen die zich richten op die eigen (kleine) kring. Te weinig wordt het gestimuleerd om wiskundig werk toegankelijk te maken voor potentiële afnemers; op zijn minst genieten publikaties in de niet-wiskundige tijdschriften een lagere status. De wiskunde, zelfs die aan de technische universiteiten, staat betrekkelijk los van de samenleving en er zijn nauwelijks impulsen om daar verbetering in aan te brengen. Sterker nog, de huidige 4-jarige studies hebben dat alleen maar verder verergerd.

Dit is een ernstige zaak omdat het onderzoek in vrijwel elke andere wetenschap zich steeds verder in theoretische richting ontwikkelt, waardoor modelvorming steeds complexer wordt en men dus, vaak zonder het zelf te beseffen, de wiskunde steeds dringender nodig heeft. Nu sijpelt de wiskunde ook zonder onze bemoeienis andere gebieden wel binnen, echter het tempo waarin dat gebeurt is onaanvaardbaar laag, vooral in een tijd waarin ontwikkelingen zich sneller als ooit tevoren voltrekken. Doordat vak-wiskundigen te weinig betrokken zijn bij het invoeren van wiskundige technieken in andere gebieden, ook bij het onderwijs daarvan,

worden tal van nieuwe ontwikkelingen onnodig geremd.
Een practisch probleem hierbij is dat het toepassen van de wiskunde, als daar door de (toegepast) wiskundige niet direct zelf nieuwe inzichten aan kunnen worden ontleend, niet gezien wordt als een aansprekende vorm van onderzoek. Bij multidisciplinaire projecten waar toegepaste wiskunde deel van uitmaakt zien we dan ook vaak het dilemma van fasering; de afnemende vakgebieden kunnen moeilijk wachten op nieuwe toegepast-wiskundige resultaten, en anderzijds is bij gebrek daaraan het project voor wiskundigen 'niet interessant'. In de projecten waarin ik zelf deelneem neem ik dat laatste aspect op de koop toe; de ervaring heeft mij geleerd dat zelfs op het eerste oog wiskundig niet-interessante toepassingen al snel tot interessante complicaties leiden.

Wiskundigen zouden daarom niet incidenteel, maar juist regelmatig, van hun Olympos moeten afdalen om te luisteren naar problemen uit de buitenwereld en om te onderzoeken in hoeverre deze problemen succesvol ingebed kunnen worden in effectieve inzichtverleggende en toepassingsverruimende wiskundige modellen, of in hoeverre het wiskundige gereedschap zelf bijstelling of verdere ontwikkeling behoeft. Op individuele basis vindt dit soort activiteiten wel plaats, met somtijds spectaculaire resulaten, maar het zou meer regel dan uitzondering moeten worden. Uiteraard zou hier, door gerichte uitbreiding van de staf, ruimte voor geschapen moeten worden. Het risico dat daarbij sommige wiskundigen zullen blijven steken in de toepassingen moet op de koop toe genomen worden.

Hoe krijgen wij de wiskunde op de centrale probleem-opzuigende en gedachtengoed-uitstralende plaats in het technisch en wetenschappelijk onderzoek waar zij van nature hoort? Daarvoor moeten we ernaar streven een belangrijk deel van het wiskundig onderzoek in te passen in multidisciplinaire onderzoeksprojecten. In engere zin kan dat multidisciplinariteit binnen de wiskunde inhouden, in bredere zin kan en moet er gezocht worden naar onderzoek waarin wiskunde een belangrijke rol speelt (bijvoorbeeld rond milieu-problematiek, of rond een groot waterbouwproject). Deze projecten zouden voor wat betreft het typisch fundamentele wiskundige werk over langere tijd moeten lopen; voor wat betreft directe toepassingen en hulp daarbij kan men denken aan projecten met een looptijd van 1 tot 2 jaar.
Bij de mathematische research groepen zouden transferpunten moeten komen waar men terecht kan voor wiskundige hulp en ondersteuning, en ook voor het helpen formuleren van geschikte projecten voor verder onderzoek (projecten voor afstudeerders, promovendi, postdocs, en stafleden). Deze activiteiten kunnen er voor zorgen dat er voldoende impulsen van buiten naar de wiskunde en omgekeerd kunnen gaan. Deze transferpunten zouden bemensd moeten worden via speciale (deel)aanstellingen. De betrokken wiskundigen moeten in elk geval voor een belangrijk deel van hun tijd ook verbonden zijn aan een wiskundige onderzoeksschool. Het is zaak voor de onderzoeksschool dat er voldoende contact ('menging') optreedt tussen de verschillende deelgebieden, lopend van *zuiver* tot *toegepast*.

De appreciatie voor wiskunde, als voor tal van andere disciplines, moet worden gevoed in het middelbaar onderwijs. Naast zorgvuldige heroverweging op de onderwijsprogramma's moet er ook weer voor gezorgd worden dat het normaal is dat er een academisch gevormde leraar voor de klas staat. Een academisch gevormde en goed gemotiveerde leraar, die zelf mogelijk ook nog binding heeft met het onderzoek, kan de leerlingen zicht geven op de maatschappelijke relevantie van de wiskunde en haar moderne toepassingen. De leerlingen kunnen dan ook behoed worden voor de misvatting dat de wiskunde "af" zou zijn en eigenlijk geen verdere ontwikkeling meer zou behoeven. Daarvoor is het natuurlijk wel nodig dat de wiskunde zelf ook richting geeft aan een meer in maatschappelijke context geplaatste ontwikkeling van haar onderzoeksactiviteiten.

Hoewel de eerste computers grotendeels voor wiskundig werk gebruikt werden, worden wiskundigen, buiten het numeriek wiskundige werk om, te weinig bij alle vormen van automatisering ingeschakeld en hebben wiskundigen ook zelf veel te weinig oog voor de mogelijkheden daarvan. Een gunstige uitzondering is het werk dat door het expertise-centrum Computer Algebra Nederland wordt verricht. Op individuele uitzonderingen na, laten wij uitgelezen mogelijkheden liggen om door het ontwikkelen van geschikte software ons gedachtengoed en de toepassingen daarvan voor anderen toegankelijk te maken.
Hierbij kan evenzeer gedacht worden aan wiskundige lesprogramma's naast de meer klassieke algoritmische ondersteunings software. Hier en daar wordt een begin gemaakt met het opzetten van lesprogramma's, of zelfs studierichtingen: Computational Science is hiervan een voorbeeld. In deze programma's vindt de wiskunde zijn weg naar toepassingen, maar de grootste betrokkenheid ligt eigenlijk nog maar bij een vrij kleine groep wiskundigen (voornamelijk numeriek wiskundigen).

Wiskundigen zouden meer aangemoedigd moeten worden om hun werk via de computer beschikbaar te maken, bijvoorbeeld door mee te werken aan zogenaamde ontwerpersplatforms. In deze platforms zouden geschikte wiskundige gereedschappen moeten worden beschikbaar gesteld voor modellering bij toepassingen (doorrekenen van constructies, moleculaire constructies, electro-magnetische velden, mengen van formule manipulatie met benaderend rekenwerk, lesprogramma's voor het middelbaar en hoger onderwijs, simulatie van verkeersafhandeling, etc). De huidige situatie waarin het vervaardigen van (wiskundige) software nog steeds niet wordt gezien als een hoogwaardige onderzoeksactiviteit is uit de tijd en werkt belemmerend voor het infilteren van wiskundige ontwikkelingen. De sterke scheiding tussen wiskunde en informatica is een Nederlands fenomeen en werkt in dit opzicht ook belemmerend. Wij beginnen door deze houding ook een achterstand op te lopen ten aanzien van andere westerse landen.

Conclusies en pre-adviezen:

1. *Het is voor individuen vrijwel onmogelijk om enigszins een overzicht over de moderne wiskunde te hebben. Daardoor weten wiskundigen vaak ook al niet dat ze van collega's geschikte kennis zouden kunnen verwerven. Samenwerkingsverbanden tussen wiskundigen onderling, waarbij de stromingen* zuiver, toepasbaar *en* toegepast *in contact gebracht worden, of waarbij verbanden gezocht worden tussen verschillende specialiteiten, moeten verder worden gestimuleerd. Hierbij ligt de nadruk op fundamenteel onderzoek. De prioriteits-programma's van NWO-SMC vormen zijn hier voorbeelden van.*

2. *Om de verbindingen tussen de wiskunde en het afnemend veld te versterken moeten multidisciplinaire onderzoeksprojecten gestimuleerd worden waarbij juist niet de nadruk op de ontwikkeling van de wiskunde zelf ligt, maar op het inpassen of aanpassen van reeds tot ontwikkeling gekomen wiskunde. Voorbeelden van kaders voor zulke projecten zouden kunnen liggen in de sfeer van statistiek - econometrie - actuariaat, of systeemtheorie - techniek - economie. De numeriek-wiskundige deelname in enkele door NWO gesubsidieerde HPCN-projecten, op natuurwetenschappelijk gebied, is hier een voorbeeld van.*

3. *Mogelijkheden stimuleren om wiskunde naar het bedrijfsleven te laten infiltreren in STW-achtige projecten, waarbij alweer de nadruk niet zozeer gelegd wordt op interessante*

nieuwe wiskunde, maar meer op verwerving van het bedrijfsleven van voor haar interessante mogelijkheden.

4. *Instellen van transferpunten voor hulp van wiskundige aard (met inschakeling van studenten of aio-achtige personen). Ik heb zoiets in Stanford heel aardig zien functioneren.*

5. *Wiskundigen aanmoedigen hun werk via automatisering toegankelijk te maken. Wiskundigen meer inschakelen bij het maken van software, waarbij wiskundige technieken een rol speelt. Projecten bevorderen waarbij kennis ook in de vorm van software wordt opgeleverd (vergelijk ESPRIT).*

6. *Ontwikkeling van computer leerprogramma's en experimenteerplatforms stimuleren.*

Naschrift: uiteraard zijn de hierboven weergegeven gedachten niet allemaal origineel. Men kan veel ervan aantreffen in:
WISKUNDE IN BEWEGING, Rapport van de Verkenningscommissie Wiskunde, 1992,
en in:
MATHEMATICS, Strategy for the future, SERC, 1991.
De in het laatste rapport gegeven aanbevelingen zijn naar ik begrepen heb door de Engelse overheid in belangrijke mate gehonoreerd.
Verder heb ik natuurlijk veel baat gehad van gedachtenwisselingen met collega's, zowel wiskundigen als 'afnemers', in binnen- en buitenland.

Prof.dr. Henk van der Vorst
Mathematisch Instituut, UU
10 januari 1996