Concentratie & Dynamiek

Een strategie voor de wiskunde

NWO
Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek

Concentratie & Dynamiek

Een strategie voor de wiskunde

Deze strategie is uitgebracht in opdracht van het nationaal Overleg Onderzoekscholen Wiskunde (OOW) en het gebiedsbestuur NWO Exacte Wetenschappen.

Aan de totstandkoming van deze strategie hebben velen bijgedragen. Voorbereidende en afrondende discussies werden met verschillende personen en gremia gevoerd. Alle gesprekspartners, en met name Henk van der Vorst, Onno Boxma, Jan Karel Lenstra, Dirk Siersma, Henk Broer, Rien Kaashoek, Arjeh Cohen, Huib de Vriend (Delft Hydraulics), Gerrit Burgers (KNMI), Wil Schilders (NXP), Jan Sijbrand (ABN-AMRO), verdienen onze dank.

Redactie
Prof. dr. Arjen Doelman (CWI & UvA, voorzitter)
Prof. dr. Mathisca de Gunst (VU)
Prof. dr. Remco van der Hofstad (TU/e)
Prof. dr. Ieke Moerdijk (UU)
Prof. dr. Arjan van der Schaft (RUG)
Prof. dr. Peter Stevenhagen (UL)
Prof. dr. ir. Pieter Wesseling (TUD)
Dr. Lex Zandee (NWO, secretaris)

Eindredactie
Mark Mieras, www.mieras.nl

Begeleiding vanuit NWO
Petra de Bont,
senior beleidsmedewerker wiskunde
Marjolein Schlarmann, voorlichter

Vormgeving
Hans Langstraat, www.ph-ontwerp.nl

Drukwerk
Best, in Best

Beeldmateriaal
Shutterstock

Redactieadres
NWO Exacte Wetenschappen
Postbus 93460
2509 AL Den Haag
e-mail: zandee@nwo.nl

Den Haag, mei 2008

Inhoudsopgave

Samenvatting 6

Vooraf 8

Nu, vijf jaar later 12

Ruimte voor wiskunde 20

Voorwaarden voor dynamiek 22

Een bestendige basis 26

Inspirerend wiskundeonderwijs 28

Maatregelen 32

Literatuur 36

Bijlage - Omvang wiskundestaf 37

Lijst van afkortingen en begrippen 38

Samenvatting

In deze strategie voor de Nederlandse wiskunde komt een nieuwe generatie wiskundehoogleraren aan het woord. Zij representeren de onderzoekers die de komende jaren het wiskundeonderzoek in Nederland gaan trekken. Hier formuleren ze de voorwaarden die ze zich voor hun onderzoek wensen. Zo kunnen zij hun onderzoeksambities verwezenlijken.
De commissie kiest nadrukkelijk voor kwaliteit, voor continuïteit en een langetermijnperspectief, en voor een focus op de sterkste punten van de Nederlandse wiskunde. Die benadering steunt op de eigen kracht, relevantie en vitaliteit van het vakgebied.
Na magere jaren mag de wiskunde zich verheugen op een groeiende belangstelling. De neerwaartse spiraal van het aantal wiskundestudenten lijkt te zijn doorbroken.

Onderzoeksclusters
De Nederlandse wiskunde heeft de afgelopen jaren vanuit een internationaal perspectief de pieken van haar onderzoek bepaald. Er hebben zich drie onderzoeksclusters gevormd die de samenwerking rond deze pieken versterken. De commissie wil dat de wiskunde voortbouwt op dit succes. Stochastiek en het onderzoeksinstituut EURANDOM zijn een vierde belangrijke concentratie. Tezamen kunnen zij de kern vormen van een vierde cluster. Voor de vier clusters moet een structurele financiële basis komen.

Dynamiek
De commissie wil geen grenzen trekken tussen zuivere wiskunde en toegepaste wiskunde en geen keuzes maken tussen ‘concentratie op basisgebieden’ en ‘interdisciplinair onderzoek’. Wat we vandaag ‘zuiver’ noemen kan over een jaar ‘toegepast’ zijn. Juist deze snelle integratie maakt de wiskunde zo vruchtbaar: wiskunde moet stromen. Inhoudelijke grenzen trekken is contraproductief. Daarom maakt de commissie ook geen keuze tussen onderzoeksthema’s. Inhoudelijke sturing moet plaatsmaken voor sturing van onderzoek op een procesmatig niveau: de dynamiek van het onderzoek moet worden geoptimaliseerd en de kwaliteit van het onderzoek beoordeeld vanuit een internationaal perspectief. Zo worden onderzoeksgroepen geprikkeld om zelf de meest productieve weg te zoeken tussen nieuwsgierigheidgedreven onderzoek en onderzoek gericht op korte-termijnvalidatie. De clusters worden geprikkeld om te evolueren en zich te herconfigureren.

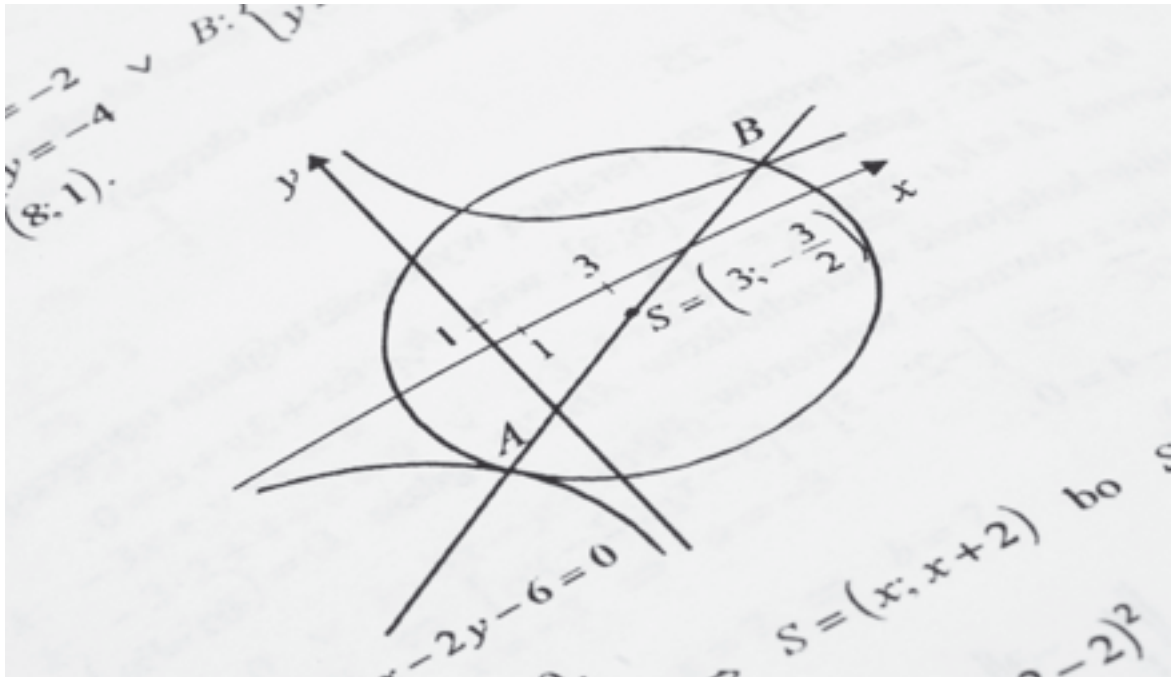
Investeer in jong talent
Jonge (excellente) wetenschappers aantrekken op postdoc- of op beginnend tenure trackniveau is de meest effectieve manier om de Nederlandse onderzoekswiskunde dynamisch te houden. De commissie wil de aantrekkingskracht van de Nederlandse wiskunde op dit talent daarom vergroten. Dat kan door op een flexibele manier het begin van een wetenschappelijke loopbaan aan te bieden. De clusters dienen daarbij een centrale rol te spelen. Daarnaast moet NWO-EW’s Vrije Competitie een goede instroom van talentvolle aio’s blijven waarborgen, zowel binnen de clusters als daarbuiten. Zeer goede en excellente voorstellen behoren een redelijke kans te maken op honorering. Het volume van de Vrije Competitie moet daarop worden geijkt.

Stimuleer samenwerkingsprojecten
De commissie pleit voor financiering van kleinschalige projecten waarbinnen wiskundigen onderling, of met collega’s van andere disciplines, in nationaal en internationaal verband, samenwerken in groepen van twee tot vier senioronderzoekers, met een vijftal tijdelijke onderzoekers en een looptijd van zo’n vijf jaar. Senioronderzoekers krijgen zo de kans om zich voor een periode ‘vrij te spelen’ om zich te concentreren op de ontwikkeling van het vakgebied.

Verder...
De commissie wil de inspiratie terugbrengen in het middelbaar wiskundeonderwijs door de instroom van academici in het lerarencorps te stimuleren. Ze bepleit onder ander de mogelijkheid om de bachelor wiskunde met een eerstegraads onderwijsbevoegdheid af te sluiten. Ook het NWO-EW programma ‘Leraar in Onderzoek’ dient verder versterkt te worden. De commissie pleit tevens voor een centrale rol van de ‘Mastermath’-organisatie op onderwijsgebied.

De commissie signaleert een sterke behoefte aan een centraal aanspreekpunt voor de industrie en het academisch onderzoek buiten de wiskunde. Zij staat dan ook achter de plannen om een Bureau van de Wiskunde op te richten, dat onder andere kan gaan fungeren als zo’n aanspreekpunt. Hierbinnen vallen ook de plannen voor de vorming van landelijke wiskundecommissies voor Onderzoek, Onderwijs, PR en Publicaties in de wiskunde, waarin de nu bestaande commissies opgaan. Deze kunnen dus ook rekenen op steun van de commissie.

Vooraf



In deze nieuwe agenda voor de Nederlandse wiskunde evalueren wij hoe de wiskunde de afgelopen jaren is gevaren en zetten we de koers vijf tot tien jaar verder uit naar de toekomst. Hoe heeft de wiskunde zich ontwikkeld? En wat is de volgende stap: hoe willen wij verder? Wat is het effect van de clustervorming? En hoe willen we die clusters verder ontwikkelen? Wat is de dynamiek van de Nederlandse wiskunde en haar internationale rol en hoe kunnen we die versterken? Wat is de rol van de wiskunde in wetenschap, economie en samenleving en hoe kunnen we die intensiveren?

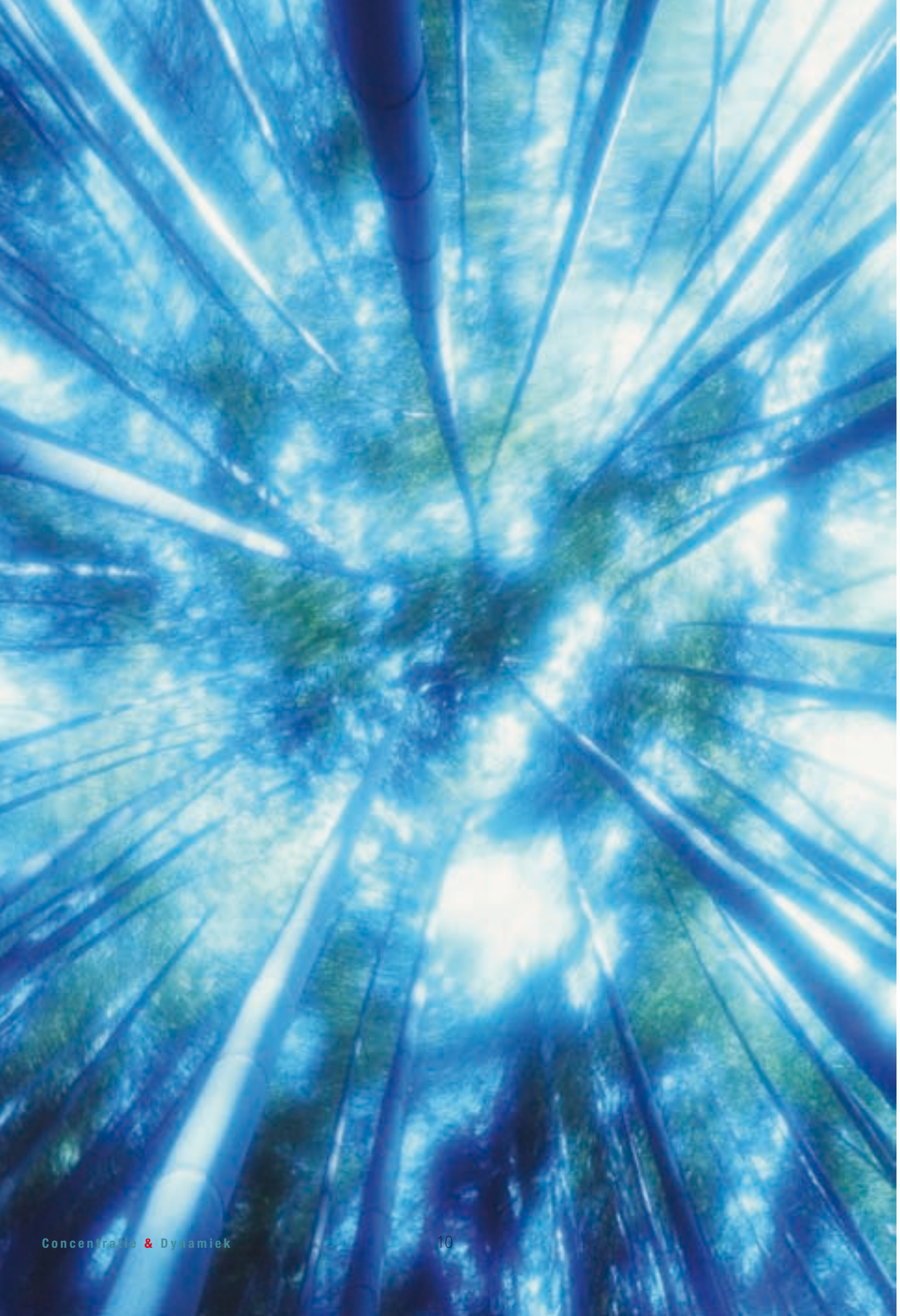
Ruim vijf jaar geleden verscheen *Nieuwe Dimensies, Ruimer Bereik* (NDRB), waarin het nationaal Overleg Onderzoekscholen Wiskunde en de NWO-Adviescommissie Wiskunde een nationale strategie voor het wiskundeonderzoek uitstippelden. Veel in de NDRB-nota is nog steeds actueel. Deze nieuwe agenda kan daarom in meerdere opzichten als een natuurlijk vervolg worden gezien.

Een belangrijk wapenfeit van NDRB was de impuls tot de vorming van drie clusters van wiskundig onderzoek. Sinds de oprichting van het derde cluster in 2006 zijn ze alledrie operationeel. We kunnen nu vaststellen hoe waardevol ze in de praktijk zijn en hoe ze zich verder dienen te ontwikkelen.

Wij representeren de generatie wiskundigen die de komende jaren de wiskunde zal voortbewegen. Met deze agenda formuleren wij de ambities voor onze eigen toekomst. Wij kiezen voor concentratie en dynamiek. Voor concentratie van ons onderzoek op de pieken in het Nederlandse onderzoekslandschap. En voor dynamiek, omdat deze pieken niet vast mogen liggen. Het onderzoek moet in vrijheid kunnen inspelen op, en richting geven aan, de internationale ontwikkelingen in de wiskunde.

Wiskundige inzichten ontwikkelen zich langs grillige wegen. De successen van nu hebben hun wortels vaak in zuiver nieuwsgierigheidgedreven onderzoek, los van iedere toepassing, en buiten geplande onderzoeksroutes. Ter illustratie beschrijft dit rapport enkele van die wortels. Nieuwsgierigheidgedreven onderzoek is de belangrijkste stuwende kracht achter vernieuwing in de wiskunde en dient dus volop de ruimte te krijgen zodat de wiskunde de motor voor economische vernieuwing kan zijn.

Prof. dr. Arjen Doelman (CWI & UvA, voorzitter),
Prof. dr. Mathisca de Gunst (VU),
Prof. dr. Remco van der Hofstad (TU/e),
Prof. dr. Ieke Moerdijk (UU),
Prof. dr. Arjan van der Schaft (RUG),
Prof. dr. Peter Stevenhagen (UL),
Prof. dr. ir. Pieter Wesseling (TUD),
Dr. Lex Zandee (NWO, secretaris).



Geworteld in de wiskunde

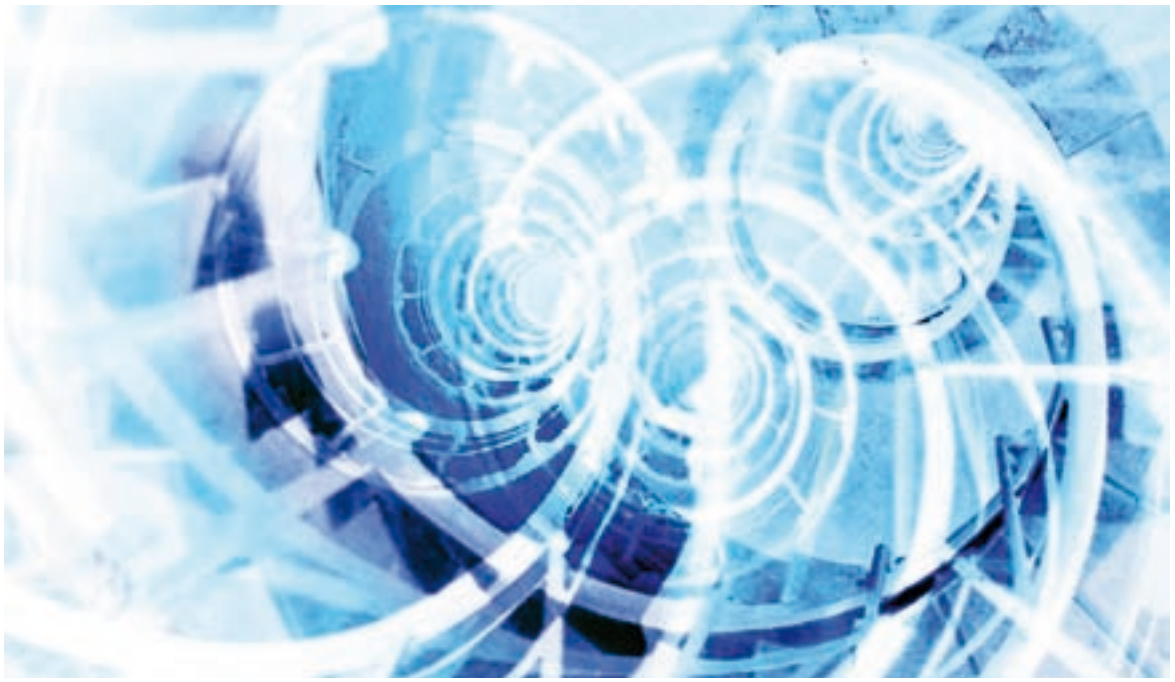
Van melkweg tot zuinig schip

Nieuwsgierigheid naar de vorming van melkwegstelsels bracht de Nederlandse wiskundige Bram van Leer ertoe eind jaren zeventig MUSCL (Monotone Upstream-centered Schemes for Conservation Laws) te ontwikkelen. Dankzij onder andere MUSCL kan men nu uitrekenen hoe een ijle gaswolk zich verdicht totdat er sterren ontstaan.

Van Leer maakte gebruik van het briljante idee uit 1959, van de Russische wiskundige Sergei Godunov, om de ruimte in cellen in te delen en voor elke paar aangrenzende cellen te berekenen hoe het gas zich daarin verspreidt als het scheidingswandje wordt weggehaald. Bij een onnauwkeurige, zogenoemde eerste-orde benadering gaat dat allemaal goed maar voor een betrouwbaar resultaat moeten de cellen dan wel heel klein zijn. Dit levert veel rekenwerk. Met een nauwkeuriger tweede-orde benadering ontstaan er storende fluctuaties waardoor de druk en de dichtheid soms zelfs negatief worden. Zelfs al gebeurt dat in slechts één celletje dan kan daardoor de hele berekening vastlopen.

Van Leer combineerde zijn natuurkundige en zijn wiskundige inzicht om de fluctuaties weg te werken. De wiskunde en natuurkunde vloeiden samen met slimme informatica. Op het grensvlak van die drie disciplines ontstond een nieuwe rekenmethode. De natuurkunde in de cellen bepaalt daarbij welke numerieke methode er plaatselijk wordt gebruikt om het probleem op te lossen. Slimme algoritmen leveren een rappe uitvoering van dit complexe recept. MUSCL is zo krachtig dat het inmiddels tot ver buiten de astronomie wordt toegepast. De methode is tegenwoordig een belangrijk ingrediënt van Computer Fluid Dynamics (CFD). Nederlandse wiskundigen spelen al tientallen jaren een belangrijke rol bij de ontwikkeling van CFD, onder andere in nauwe samenwerking met aerodynamici van het Nationaal Lucht en Ruimtevaart Laboratorium (NLR). CFD wordt wereldwijd gebruikt om de luchtstroming rond vliegtuigen, treinen en auto's te voorspellen, of om de waterstroming in zeeën en rivieren te berekenen. Veelal wordt daarbij standaard software gebruikt, maar dankzij de specifieke kennis van de onderliggende algoritmen hebben Nederlandse onderzoekers een voorsprong, bijvoorbeeld bij het doen van betrouwbare voorspelling van de gevolgen van een dijkdoorbraak. Onderzoekers van het Maritiem Research Instituut Nederland (MARIN) slaagden erin om met geavanceerde CFD scheepsrompen te ontwerpen die met minimale golfvorming door het water snijden. Dat levert forse brandstofbesparing. Voor de ontwikkeling van deze CFD methoden werkt het MARIN samen met onderzoekers van het Centrum voor Wiskunde en Informatica (CWI).

1. Nu, vijf jaar later



Science plaatste de Nederlandse wiskunde een aantal jaar geleden kwalitatief bij de top vijf van de wereld. Ook recente indicatoren laten zien dat we het goed doen. Naar Nederlandse wiskundige publicaties wordt frequent verwezen. Nederland kan zich kwalitatief meten met belangrijke wiskundelanden als Frankrijk en Duitsland; in omvang het tweede en derde wiskundeland in de wereld. Volgens cijfers van onderzoeksbureau Thomson Scientific lag tussen 2002 en 2006 de citatie-impact (het gemiddelde aantal citaties per artikel) voor artikelen van Nederlandse wiskundigen iets boven die van Duitse en Franse collega-onderzoekers. Veelzeggend is ook dat de meerderheid van de referenties naar het Nederlandse wiskundeonderzoek wordt gevonden in artikelen en proceedings buiten de wiskunde. De Nederlandse wiskunde koppelt dus fundamenteel onderzoek met een internationaal perspectief aan een brede toepasbaarheid.
De Nederlandse wiskunde staat er goed voor, nu, vijf jaar na de NDRB-strategienota. Die nota schetste de Nederlandse wiskunde in 2002 als een relatief kleine onderzoeksgemeenschap die internationaal toch al vele jaren een volwassen rol speelt. Een wetenschap die fundamenteel onderzoek succesvol koppelt aan toegepast werk, en waarvan de invloed tot ver buiten het vakgebied reikt, in vele andere wetenschappelijke disciplines, industrie en samenleving. Anders dan in sommige andere exacte wetenschappen is vijf jaar in de wiskunde niet zo lang. Veel in de NDRB-nota is nog actueel. Bestaande trends hebben zich verscherpt. Zo werd de sleutelrol van de wiskunde in de kennissamenleving de afgelopen vijf jaar prominenter en is ondanks de clustervorming de afname van de academische researchwiskundestaf niet tot staan gebracht.

Sleutelrol in wetenschap en industrie
De Nederlandse wiskunde streeft naar het behoud van de sleutelrol die de wiskunde speelt in onze eigen Nederlandse en Europese kenniseconomie en -samenleving. Participatie in de internationale onderzoekswiskunde is daarbij onontbeerlijk. In de NDRB-nota werd de wisselwerking tussen de wiskunde en de overige wetenschap en samenleving beschreven aan de hand van zeven elkaar gedeeltelijk overlappende thema's:

- Wiskunde en Levenswetenschappen
- Wiskunde en Beeldverwerking
- Wiskunde en Scientific Computing
- Wiskunde en Netwerken
- Financiële Wiskunde
- Wiskunde en Dynamica
- Wiskunde en Theoretische Natuurkunde.

Nu, vijf jaar later, is de rol van de wiskunde binnen elk van die thema's alleen maar groter geworden. Zo ontplooide het vakgebied zich stormachtig in de levenswetenschappen. Het onderzoeksgebied 'genomics', dat zich spectaculair ontwikkelt, levert een steeds grotere vloed aan data, waarin met wiskundige technieken orde moet worden geschapen. Bij het hanteren van de 'data-explosie' wordt de cruciale rol van de wiskunde alom erkend. De wiskunde wordt bovendien meer en meer ingezet als 'gereedschap' bij de ontwikkeling van nieuwe technieken binnen de gezondheidszorg en is noodzakelijk om orde en inzicht te scheppen binnen de systeembiologie – beide speerpunten ('thematische programma's) in de recente NWO-strategienota. De wiskunde is ook onontbeerlijk voor veel van de andere speerpunten in deze NWO-nota, met name voor 'Duurzame Aarde', 'Gebruik van nanowetenschap en technologie', 'Hersenen en cognitie', 'Kennisbasis voor ICT-toepassingen' en 'Nieuwe methoden voor gebruik, opslag, transport en gebruik van energie'. De wiskunde staat aan de basis van het thema 'Dynamica van complexe systemen'. Binnen verschillende toepassingsgebieden bestaat een groeiende belangstelling voor de wisselwerking van verschijnselen op verschillende schaalgrootte ('multiscale-effecten'). Bij de bestudering hiervan is de wiskunde onmisbaar. Een sprekend voorbeeld is de dynamica van het klimaat, aangedreven door kleinschalige, snelle, atmosferische processen (het weer) en trage ontwikkelingen op oceanografische schaal. Het onderzoek hiernaar heeft directe implicaties voor de betrouwbaarheid van de Nederlandse kustbescherming.
Grootschalige wetenschappelijke projecten als the Virtual Cell zijn onmogelijk zonder een zware gereedschapskist met wiskundige hulpmiddelen: zij kunnen niet zonder kwalitatieve analyse, algoritmiek en statistiek, niet zonder kansrekening, discrete wiskunde en optimalisering, en niet zonder kwantitatieve en voorspellende modellering met een beroep op numerieke wiskunde, analyse, systeem- en regeltheorie.
Onzekerheid is een belangrijk begrip in de huidige samenleving. De wiskunde levert gereedschappen waarmee we op een verstandige en veilige manier kunnen omgaan met die onzekerheid. Karakteristiek voor de aard van de wiskunde is dat deze gereedschappen universeel zijn en dus breed inzetbaar: bijvoorbeeld bij dijkverzwaring en in industriële processen, waar vergelijkbare complexe optimalisatie tussen betrouwbaarheid en kosten van belang is.

Grensverleggend onderzoek
Hoogwaardig wiskundig onderzoek is de levensader voor al deze, en vele andere, ontwikkelingen. Het helpt Nederland om nieuwe wiskundige concepten te signaleren en exploreren. Hoogwaardig onderzoek zorgt tegelijkertijd voor een voedingsbodem om jonge talentvolle onderzoekers naar Nederland te halen die kunnen helpen om belangrijke nieuwe

Land/onderzoeksorganisatie	€ per inwoner jaarlijks voor wiskunde-onderzoek	Dichtheid wiskundige onderzoekers (per miljoen inwoners)
Frankrijk/CNRS		54
Finland	1,1	
Verenigde Staten/NSF	0,57	
Duitsland/DFG	0,44	41
Verenigd Koninkrijk/EPSRC	0,29	
Nederland/NWO	0,19	18

Tabel 1 *Nederlandse wiskunde onderzoek in vergelijking met omringende landen*
In vergelijking met het aantal inwoners, is de Nederlandse wiskunde klein.

trekkingskracht op talentvolle jonge onderzoekers. Zo werd de cryptografie, lang onderwerp van zuiver onderzoek, tijdig naar Nederland (terug)gehaald om Nederland nu een vooraanstaande positie te geven in het onderzoek naar databescherming en security. Ander voorbeeld is de veiligheid en integriteit van het moderne internationale betalingsverkeer. Die stoelt volledig op wiskundige inzichten en methoden, bijvoorbeeld uit de getaltheorie. Alleen de wiskunde kan zekerheid geven dat de informatie die langs telecommunicatienetwerken stroomt veilig en integer is.

Samenwerking

Dat de Nederlandse wiskunde op internationale schaal een rol van belang speelt, berust op een lange traditie van toponderzoek en op intensieve samenwerking. Dat laatste veelal op het schaalniveau van individuele onderzoekers, en vaak over de grenzen van de onderzoeksinstellingen heen. Die samenwerking is noodzakelijk. De gehele Nederlandse researchwiskunde is in omvang te vergelijken met de wiskundefaculteiten in de directe omgeving van één Amerikaanse stad als Boston. Ook relatief gezien is de Nederlandse wiskunde klein. Alhoewel een land als Duitsland niet meer dan vijf keer zo veel inwoners telt als Nederland, is de Duitse wiskundige gemeenschap in omvang ongeveer tien keer die in Nederland. De Duitse onderzoeksoganisatie DFG geeft per inwoner twee keer zoveel uit aan wiskunde als Nederland *(zie tabel 1).*

De geringe schaalgrootte van de Nederlandse wiskunde betekent dat wij alleen internationaal kunnen concurreren wanneer we opereren als één groep. Met de vorming van drie clusters hebben we vijf jaar geleden een zeer wezenlijke ontwikkeling ingezet om de samenwerking binnen de wiskunde naar de schaalgrootte van onderzoeksgebieden te tillen. Binnen de clusters wordt intensief samengewerkt en beleid gemaakt op een schaal die de grenzen van universiteiten en instituten overstijgt.
De Nederlandse wiskunde heeft daarmee het lef getoond om intern expertisegebieden te selecteren. Het selectieproces voor de clusters kwam enigszins hortend op gang, maar eindigde in de tweede ronde met een zware en serieuze competitie waarin we bepaalden in welke onderzoeksvelden op dit moment onze grootste kracht ligt. Daarin hebben we vervolgens geïnvesteerd en daarin willen we op een flexibele manier blijven investeren.
De drie gehonoreerde clusterthema's dekken zonder twijfel drie, of zelfs meer, pieken in het Nederlandse wiskundelandschap. Tot de clustervorming was de Nederlandse wiskunde vrij homogeen. De clusters hebben het landschap geaccidenteerd en dat is van grote waarde. Met de clusters heeft de Nederlandse (research)wiskunde een werkbare infrastructuur gekregen voor verdere ontwikkeling. Naast de clusters heeft ook het onderzoeksinstituut EURANDOM de afgelopen jaren bijgedragen aan de samenwerking binnen de wiskunde, in het bijzonder binnen de stochastiek. Dit deelgebied van de wiskunde heeft zich mede daardoor kunnen ontwikkelen tot een andere bloeiende piek in het Nederlandse wiskundelandschap. Het is daarom natuurlijk dat EURANDOM ingebed raakt in een vierde cluster.

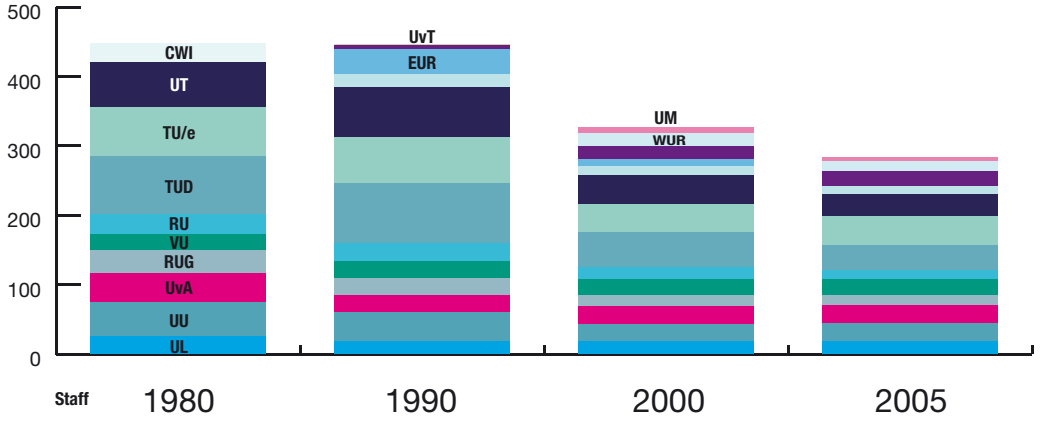
Kritische massa

Om de rol van de wiskunde in de samenleving te behouden is een voldoende spreiding van gebieden van toponderzoek noodzakelijk. Gebieden die ieder voor zich voldoende massa hebben voor een interne dynamiek. Wordt daaraan niet voldaan, dan raken onderzoekers geïsoleerd, is er onvoldoende interactie voor grensverleggend onderzoek, onvoldoende aantrekkingskracht om wiskundig toptalent vast te houden en onvoldoende capaciteit om op ontwikkelingen te kunnen inspelen en om wiskundige kennis te laten doorstromen naar wetenschap, industrie en samenleving. Die kritische massa was een punt van zorg in het NDRB-rapport en is dat nog steeds. Verschillende ontwikkelingen knabbelen al jaren aan de omvang van de Nederlandse wiskundige gemeenschap. Het behoud van een minimale kritische massa was een belangrijk oogmerk van de clustervorming. De clusters, maar ook EURANDOM, zijn hierin effectief gebleken.

Het NDNS-cluster bestaat sinds 2005. Het is een samenwerkingsverband van acht onderzoeksgroepen voor niet-lineaire dynamische systemen, met vertakkingen in de stochastiek. Een zwaartepunt van het clusteronderzoek is de interactie tussen de wiskunde en de aard- en levenswetenschappen. Er is een intensieve samenwerking met niet-wiskundigen, variërend van medici en biologen tot ecologen en oceanografen. Een voorbeeld hiervan is de samenwerking van toegepast analytici van het NDNS-cluster en KNMI-meteorologen binnen het klimaatonderzoek. Binnen NDNS zijn negen tenure trackers benoemd (in Amsterdam (CWI en VU), Leiden en Groningen), drie deeltijd hoogleraren (Leiden, VU, Groningen) en een fulltime hoogleraar (Groningen). Ook creëerde het cluster postdocposities (CWI, Groningen en Leiden) en zijn leden van het cluster succesvol in een grote verscheidenheid aan NWO-competities: Vernieuwingsimpuls (Veni, Vidi), EW, FOM, STW, ALW. Tevens worden er vanuit het NDNS-cluster jaarlijks meerdere workshops georganiseerd.

Het GQT-cluster bestaat sinds 2006. Het is een samenwerkingsverband van drie universiteiten op het gebied van meetkunde en kwantumtheorie. Centraal staat de invloed van recente ontwikkelingen in de theoretische natuurkunde op meetkunde en topologie. Binnen GQT zijn vijf nieuwe UD-plaatsen gecreëerd (Utrecht, Amsterdam) en drie nieuwe hoogleraarposities (Amsterdam, Nijmegen, Utrecht). Het cluster stelde een medewerker aan voor de relatie met het onderwijs en diverse student-assistenten. GQT creëerde promotieplaatsen in Amsterdam, Nijmegen en Utrecht. Leden van het cluster zijn succesvol in de NWO-EW Vernieuwingsimpuls (Veni, Vidi, Vici). Het GQT-cluster is intensief betrokken bij internationale samenwerking (onder andere met de Russische Federatie).
Het DIAMANT-cluster bestaat sinds 2005. Het is een samenwerkingsverband voor problemen van algoritmische aard. Er wordt gewerkt aan de ontwikkeling van getaltheorie en aan de toepassing in de cryptologie. Het cluster pakt optimaliseringsproblemen aan met algebra. Binnen DIAMANT ontwikkelt men theorie om wiskundebewijzen met een computer te verifiëren en wordt gewerkt aan combinatorische problemen uit de theorie van de kwantumberekeningen. Wiskundigen met verschillende achtergronden werken binnen het cluster samen. DIAMANT brengt een kruisbestuiving teweeg tussen verschillende soorten wiskunde, niet in de laatste plaats dankzij intensieve, halfjaarlijkse symposia. Dankzij DIAMANT zijn tenure trackers

Het aantal fte stafmedewerkers en hoogleraren in de wiskunde aan de Nederlandse universiteiten en CWI daalde de laatste jaren gestaag. Dit kwam mede door de krimp van het aantal studenten.



Tabel 2 *Aantal stafmedewerkers en hoogleraren in de wiskunde aan Nederlandse universiteiten en CWI*

benoemd in Eindhoven, Leiden, Nijmegen en aan het CWI, en een hoogleraar cryptologie in Eindhoven. Daarnaast stelde DIAMANT in 2007 vier postdocs aan, die werden geselecteerd uit een groep van zestig sollicitanten. Verschillende nationale en Europese projecten van DIAMANT-leden, zoals een aantal Veni's en een Vici, werden gehonoreerd.

De drie clusters profileerden zich in het landelijke masteronderwijs, onder andere via het nationale wiskundeprogramma Mastermath.

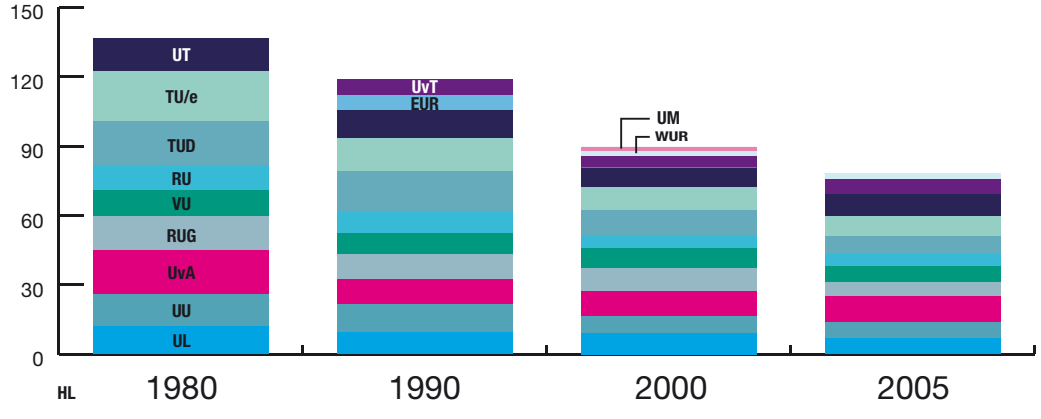
EURANDOM bevordert het onderzoek in de stochastiek en haar toepassingen. Het onderzoeksinstituut realiseert dit door de aanstelling van postdocs en promovendi, door een bezoekersprogramma, door de organisatie van workshops en tutorials door internationale toponderzoekers en door initiatieven te nemen voor nationale en internationale onderzoeksprogramma's. In 2007 telde EURANDOM achttien postdocs, negen promovendi en vijf research fellows werkzaam in EURANDOM. Zij werken in drie programma's: Queuing and Performance Analysis, Random Spatial Structures, en Statistical Information and Modelling. De jonge onderzoekers worden begeleid door zo'n vijftien senioronderzoekers verbonden aan diverse universiteiten.
In de eerste acht jaar van haar bestaan heeft EURANDOM 103 jonge onderzoekers aangesteld, waarvan 85 uit het buitenland. Eenderde van de buitenlanders heeft vervolgens een baan aan een Nederlandse universiteit of industrieel laboratorium gevonden, wat een flinke impuls leverde aan de Nederlandse stochastiek. Veel van de onderzoekers die de laatste jaren in de stochastiek een vaste aanstellingen kregen, begonnen hun loopbaan binnen EURANDOM.

Er is meer nodig

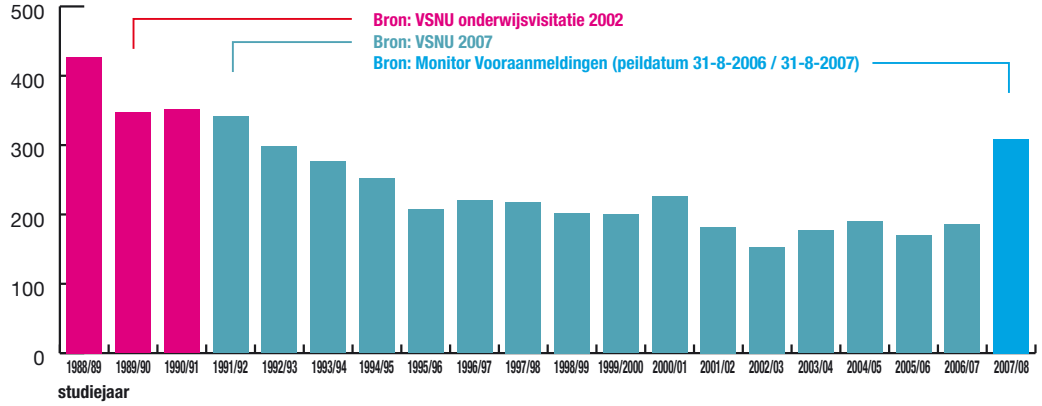
Binnen de clusters werd een flink aantal nieuwe onderzoeksfuncties geschapen, die bijdragen aan de kritische massa van de Nederlandse wiskunde. Toch is de omvang van deze bruto groei – die voor de drie clusters tot 2009 zal oplopen tot zo'n vierentwintig vaste aanstellingen plus vijf tot tien postdocplaatsen - verre van toereikend om de krimp van de afgelopen jaren te compenseren. Per saldo nam het aantal stafmedewerkers en hoogleraren aan Nederlandse universiteiten en wetenschappelijke instituten ook tussen 2000 en 2005 nog fors af *(zie tabel 2 en 3)*.

De daling ontstond vooral door de krimp in het aantal wiskundestudenten in de afgelopen jaren. Ook andere bètastudierichtingen werden getroffen, waardoor de malaise de wiskunde nog eens extra raakte: deze studierichtingen beperkten het aantal servicecolleges wiskunde. De trend drukte op de budgetten van de wiskundefaculteiten, waardoor veel posities verdwenen, vooral via natuurlijk verloop.
Gelukkig tekent zich een kentering af in de aanhoudende krimp die bètastudies de afgelopen jaren doormaakten. In de studiekeuze was in het studiejaar 2007/2008 een opvallende opleving van het aantal wiskundestudenten te zien (zie tabel 4). Als deze trend doorzet, betekent dat op de korte termijn een sterke groei van de onderwijsbelasting voor de wiskundefaculteiten, die in eerste instantie moet worden opgevangen door de bestaande staf. De tijd voor onderzoek kan zo verder onder druk komen te staan.

De eenmalige investering in de clusters was effectief, maar is zeker niet toereikend om de omvang van de wiskundige gemeenschap in een opwaartse beweging te brengen. Nu de eenmalige clusterbudgetten grotendeels zijn geïnvesteerd, is het zaak plannen te maken voor de komende periode om te voorkomen dat de clusters bevroren raken.



Tabel 3 *Aantal hoogleraren wiskunde aan de Nederlandse universiteiten en CWI*



Tabel 4 *Aantal eerstejaars wiskunde WO Wiskunde en Technische Wiskunde*

Het aantal eerstejaarsstudenten in de wiskunde groeide in 2007 voor het eerst substantieel na vele jaren te zijn gedaald. Kondigt zich een nieuwe lente aan?

Successen van nu ...

Geworteld in de wiskunde

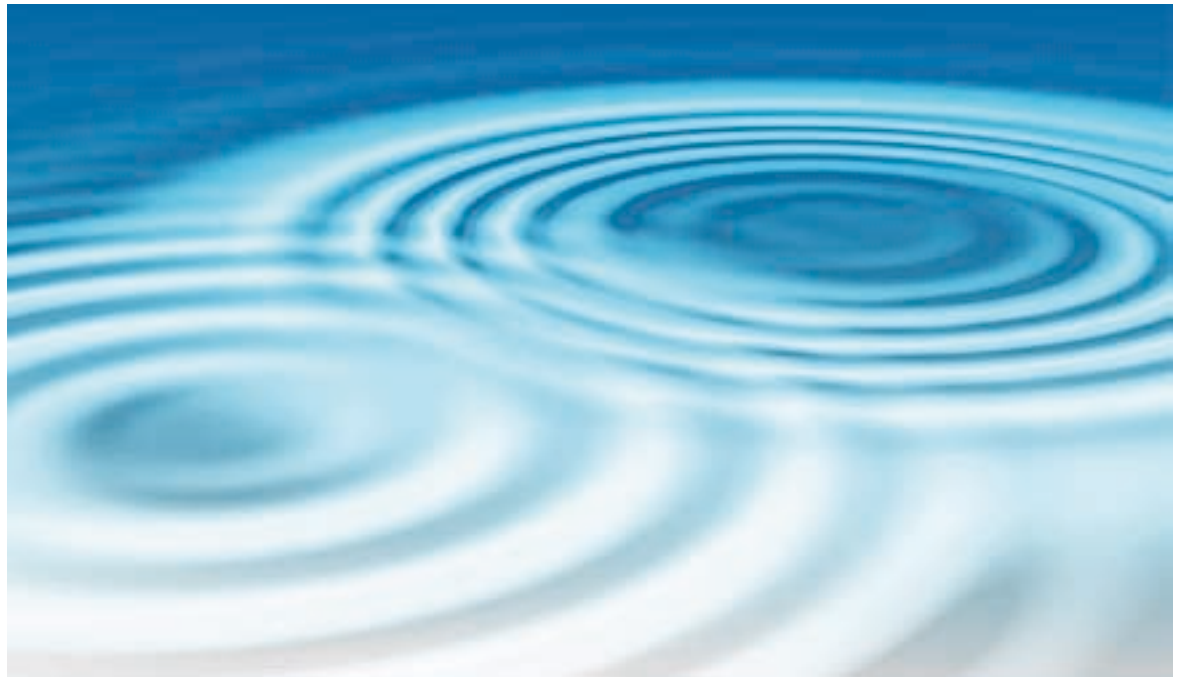
Van algebraïsche meetkunde tot veilige GSM

In 1982 ontwikkelden de Nederlandse wiskundigen Hendrik Lenstra en Arjen Lenstra en de Hongaar Laszlo Lovasz een efficiënt getaltheoretisch algoritme voor roosterbasisreductie - het LLL-algoritme. Daarmee losten ze een oud getal-theoretisch probleem op. Het resultaat bleek ook belangrijke praktische consequenties te hebben toen de beroemde cryptograaf Adi Shamir met het LLL-algoritme erin slaagde om het cryptografische ‘knapsack-systeem’ te kraken. Shamir was al bekend als de ‘S’ in RSA, het cryptosysteem dat in honderd mil-joenen webbrowsers zit. Het LLL-algoritme is nu een van de belangrijke instru-menten in de gereedschapskist van elke cryptograaf. Opmerkelijk genoeg speelt ‘LLL’ de laatste acht jaar ook een rol bij de ontwikkeling van nieuwe betere cryp-tosystemen.

De cryptografie heeft zich de laatste decennia ontwikkeld tot een octopus die zijn tentakels in vele wiskundige vakgebieden uitstrekt. Nederlandse wis-kundigen spelen daarbij een belangrijke rol. Op jacht naar wiskundige principes voor onder andere versleuteling, authenticatie en elektronische handtekeningen heeft het vakgebied de laatste decennia vele muren geslecht. Zo kunnen GSM-telefoons uitgevoerd worden met cryptografie met elliptische krommen. Dit staaltje algebraïsche meetkunde helpt om het telefoonverkeer te beschermen.

Cryptografen combineren elementen uit zuiver wiskundige vakgebieden als algebraïsche getaltheorie, algebraïsche meetkunde, discrete wiskunde, combinatoriek, theorie van fouten corrigerende codes maar ook logica, complexi-teitstheorie, algoritmiek en kwantummechanica. Zo ontstaan wiskundige principes die essentieel zijn voor de ontwikkeling van mobiele telefonie, internet en betalingsverkeer maar bijvoorbeeld ook voor de ontwikkeling van secure computation, een wezenlijk nieuwe toepassing van onder andere de Chinees Andrew Yao die partijen met conflicterende belangen de mogelijkheid biedt om samen te werken. Ze kunnen hun informatie bijvoorbeeld vergelijken zonder de informa-tie zelf prijs te geven.

2. Ruimte voor wiskunde



Wiskunde speelt een belangrijke rol onder de motorkap van de samenleving. Zonder wiskunde geen TomTom (kortste pad algoritme), geen Google (efficiënt zoeken) en geen veilige dijkverhogingen (dynamische modellen, simulaties en risicoanalyse). Hoe essentieel de rol van wiskunde is, wordt vaak onderschat, mede doordat die rol zo vanzelfsprekend is. Terecht vergeleek de Nederlandse wiskundige en Spinozaprijswinnaar Lex Schrijver wiskunde met zuurstof, waarvan we ons de essentiële rol voor ons welbevinden ook meestal pas ten volle realiseren als de toevloed stokt. En dan bovendien meestal pas in een vrij laat stadium, als de bedompte lucht ons al hoofdpijn bezorgt.

Kennis moet stromen

Een kenniseconomie vergt de doorstroom van wiskundige inzichten naar economie en samenleving. Maar hoe gebeurt dat effectief? In het verleden is vaak de hoop gevestigd op de directe valorisatie van onderzoek. Door systematische aansturing op direct toepasbare kennis hoopte men de maatschappelijke opbrengst van het wiskundig onderzoek te optimaliseren. Op de lange termijn pakt dat voor de wiskunde niet altijd goed uit.
De wisselwerking tussen de wiskunde en aangrenzende vakgebieden is altijd een van de belangrijkste – zo niet de belangrijkste – inspiratiebronnen geweest voor de ontwikkeling van de wiskunde. Het ‘nut’ van de wiskunde als hulpmiddel is een uitgemaakte zaak. Toch tast een eenzijdige aandacht voor de toepasbaarheid op den duur de vitaliteit van de wiskunde aan. Dat komt doordat de wiskunde, meer dan welk ander vakgebied ook, haar kwaliteit ontleent aan beweeglijkheid en vernieuwing. Vernieuwing die in de wiskunde vaak plaatsvindt buiten de gebaande paden. Waar doelgericht op ‘nuttige’ wiskunde wordt aangestuurd, is geen ruimte voor het nieuwsgierigheidgedreven onderzoek. Dit laatste is echter de belangrijkste stuwende kracht is achter fundamentele vernieuwing.
Een te sterke nadruk op valorisatie legt het accent bovendien te zeer op toegepast onderzoek, ten koste van de basisgebieden en het zuiver onderzoek. Wij zijn ervan overtuigd dat dit de vitaliteit van de wiskunde aantast, en daarmee ook de Nederlandse kenniseconomie treft.

Stimuleer dynamiek en kwaliteit

Wat de Nederlandse onderzoekswiskunde nodig heeft, is een klimaat waarin getalenteerde onderzoekers anderen inspireren en meetrekken. Het niveau en de uitstraling van zulke onderzoekers is veel belangrijker dan hun exacte specialisme. Het is daarom contraproductief om de Nederlandse wiskunde inhoudelijk te sturen. Veel productiever is het om goede voorwaarden te scheppen om de juiste mensen aan te trekken en de juiste nationale en internationale interactie te laten ontstaan. Daarom kiezen we in deze strategienota voor sturing van onderzoek op een ander niveau: we willen geen sturing op inhoud, maar sturing op dynamiek, op flexibiliteit en op de kwaliteit van onderzoek. Onderzoek optimaliseert zichzelf wanneer het gestuurd wordt door nieuwsgierigheid, wanneer het zich richt op internationale aansluiting en wanneer het gedreven wordt door de jacht op excellentie.
We trekken in deze strategieagenda geen lijn tussen toegepast en fundamenteel onderzoek, of tussen de concentratie op basisgebieden en interdisciplinaire samenwerking. Onderzoek sturen op grond van een dergelijk onderscheid is kunstmatig en leidt tot oneigenlijke discussies en ongewenste belemmering. Wat ‘fundamenteel’ is voor de één, is ‘toegepast’ voor de ander; wat vandaag ‘fundamenteel’ heet te zijn, kan volgend jaar onder de noemer ‘toegepast’ vallen. Interdisciplinair onderzoek kan toegepast maar ook volledig fundamenteel zijn.
Door inhoudelijke grenzen te trekken en inhoudelijke keuzes te maken tussen onderzoeksterreinen en -thema’s, raakt de dynamiek van de wiskunde geremd.
Inhoudelijke sturing moet daarom plaatsmaken voor sturing van wiskundig onderzoek op een procesmatig niveau: onderzoeksgroepen dienen geprikkeld te worden om zelf de meest productieve weg te zoeken tussen nieuwsgierigheidsgedreven onderzoek en onderzoek gericht op korte-termijnvalidatie. Geprikkeld ook om nationaal en internationaal samen te werken, zowel binnen als buiten de wiskunde. De clusters, ten slotte, moeten geprikkeld worden om te evolueren en zich te herconfigureren.
Het belangrijkste uitgangspunt is dat de sturing van het onderzoek gericht moet zijn op versterking van de dynamiek. De infrastructuur van het vakgebied moet daarop worden toegesneden.

3. Voorwaarden voor dynamiek

Onderzoek sturen op dynamiek en kwaliteit in plaats van op inhoud, dat is een benadering die om vertrouwen vraagt, daarvan zijn wij doordrongen. Wie inhoudelijke vrijheid verlangt, moet overtuigen dat de precieze opbrengst van het onderzoek weliswaar onvoorspelbaar is, maar dat de waarde daarvan wel is gegarandeerd. Die garantie ligt wat ons betreft besloten in de aard van de wiskunde en in de randvoorwaarden van de juiste financiering en beoordeling.

De wiskunde is van nature en bij uitstek een vakgebied waarin persoonlijke excellentie centraal staat: een vakgebied waar individuele onderzoekers zichzelf bewijzen. De instroom van excellente jonge (binnen- en buitenlandse) onderzoekers is daarom de levensader van het vakgebied en de eerste voorwaarde voor de juiste dynamiek. De tweede voorwaarde voor een juiste dynamiek is volgens ons een intensieve samenwerking van onderzoekers binnen Nederland en nauwe internationale contacten. De mate van interactie in het wiskundig onderzoek is een belangrijke voorspeller voor kwaliteit.

Persoonlijke excellentie

De aard van het wiskundig onderzoek plaatst ons, in vergelijking met de andere exacte wetenschappen, in een bijzondere situatie. De wiskunde kent geen experimentele laboratoria, geen testfaciliteiten die gerund en onderhouden moeten worden, geen proefdieren. Er is geen routinewerk. Het draait in de wiskunde exclusief om persoonlijke excellentie. Zo zorgde EURANDOM er voor, door een stroom jong talent binnen te halen, dat de kansrekening zich in een paar jaar ontwikkelde tot een florerend onderzoeksgebied in Nederland.

Grote wetenschappelijke doorbraken berusten in de wiskunde vrijwel zonder uitzondering op onverwachte, nieuwe combinaties van wiskundige subdisciplines, al dan niet in combinatie met een ander vakgebied: logica & topologie, statistische fysica & kansrekening, meteorologie & dynamische systemen. De verdere exploratie van die combinaties van subdisciplines berust bij uitstek op de excellentie van individuele onderzoekers, en dan vooral van jonge onderzoekers op het niveau van postdoc en beginnend tenure track. Zij in het bijzonder zijn in staat om zich in twee disciplines te wortelen. Met hun enthousiasme en gedrevenheid kunnen ze senioronderzoekers daarin meeslepen.

Zeker de jonge getalenteerde wiskundigen hoeven op geen enkele manier geprikkeld te worden. Zolang deze onderzoekers in een actieve omgeving werken, kunnen reizen, collega's kunnen uitnodigen en kunnen profiteren van de activiteiten van anderen (gasten, workshops, geavanceerde colleges), hebben ze ruim voldoende motivatie om met overgave aan hun onderzoek te werken. Vrijheid en vrijblijvendheid liggen in de wiskunde ver uiteen.

Brede samenwerking

Wiskundigen hebben - anders dan bijvoorbeeld sterrenkundigen - vanouds weinig reden gehad om zich in een breder verband als onderzoekers te organiseren. Er zijn binnen de wiskunde geen grote, dure faciliteiten, geen radiotelescopen of versnellers. In de wiskunde werd vooral op kleine schaal samengewerkt, in samenwerkingsverbanden van twee tot drie onderzoekers. Dit overigens in tegenstelling tot het academisch wiskundeonderwijs, waar zich juist wel, en vruchtbaar, een grootschalig samenwerkingsverband ontwikkelde. De laatste jaren is hierin ook op onderzoeksgebied een duidelijke verandering gekomen. Meer en meer zien we landelijke activiteiten als het Intercity Seminarium en de landelijke en internationale workshops die georganiseerd worden op het Lorentz Centrum.

Intensieve samenwerking binnen de onderzoeksgemeenschap verhoogt niet alleen de kwaliteit en productiviteit van het onderzoek maar vergroot ook de aantrekkingskracht van die gemeenschap op nieuw talent. De aanwezigheid van onderzoeksgemeenschappen met een aantrekkelijke omvang en internationale uitstraling en een werkomgeving met enthousiaste collega's in dezelfde fase van hun carrière, maakt het voor jonge toponderzoekers interessant om naar Nederland (terug) te komen. De concentratie van excellente onderzoekers, die zich zo vormt, intensiveert op haar beurt de samenwerking en de internationale contacten.

Als aanvulling op deze concentraties van jonge onderzoekers zou ook de oprichting van een 'Dutch Institute for Mathematical Sciences' een magneetfunctie kunnen vervullen. Een nationaal instituut dat zich kan meten met soortgelijke instituten in het buitenland zoals het Newton Institute in Cambridge (UK), het MSRI te Berkeley (USA) en het nieuwe Hausdorff Institute te Bonn. Via zo'n instituut kunnen wereldtoppers op seniorniveau voor kortere of langere tijd aan Nederland worden verbonden, wat de aantrekkingskracht van Nederland op jong toptalent verder kan verhogen en de internationale contacten verdiept. De commissie staat positief tegenover een mogelijk initiatief. Gezien de omvang en inbedding hiervan in het Nederlandse onderzoek, stellen we voor dit idee mogelijk te laten uitwerken door een hiervoor apart in te stellen commissie.

Financieringsstructuur

De instroom van talentvolle onderzoekers en hun onderlinge interactie laat zich effectief stimuleren via de financieringsstructuur. In de jacht op talent

is voor de wiskunde allereerst NWO-EW's Vrije Competitie van cruciaal belang. Helaas stond deze financieringsvorm de laatste jaren flink onder druk, waardoor ook zeer goede tot excellente voorstellen niet altijd werden gehonoreerd. Het volume van de Vrije Competitie moet dan ook beter worden afgestemd op de behoefte aan deze financiering. De kwaliteit van het aanbod rechtvaardigt dit in hoge mate.

De nadruk van de Vrije Competitie ligt vooral op aio-projecten, die in zekere zin de basis vormen van de (onderzoeks)wiskunde. In het wiskundig onderzoek is het vereiste kennisniveau zo hoog dat aio's meestal pas het tweede deel van hun contractperiode effectief bijdragen aan het onderzoek. De investering betaalt zich in principe in de postdocperiode terug, maar doordat Nederland netto exporteur is van postdocs, profiteert het daarvan te weinig. In vergelijking met het buitenland heeft de Nederlandse wiskunde weinig postdocs. Dat heeft alles te maken met de bekostigingsmodellen voor en binnen de universiteiten en met de beperkte slagvaardigheid die aan de dag kan worden gelegd om postdocs aan te trekken.

Hetzelfde geldt voor beginnende tenure trackers. Op de huidige (in-ternationale) markt kunnen juist de meest talentvolle jonge onderzoekers kiezen tussen verschillende aantrekkelijke posities. Posities met uitzicht op een vaste aanstelling zijn echter schaars. Daarom hebben tenure track-posities aantrekkingskracht op 'toptalenten'. Om talentvolle jonge onder-zoekers (uit het buitenland) voor een postdocpositie te strikken komt het vaak op snel handelen aan. De procedures binnen de Vrije Competitie en de Vernieuwingsimpuls (Veni, Vidi) nemen daarvoor te veel tijd in beslag. Nodig is een additionele vorm van financiering die dit nadeel niet heeft.

Veni- of Vidi-beurzen zijn echter wel doorslaggevend voor het behouden van deze jonge onderzoekers voor de Nederlandse wiskunde. Deze beurzen bieden de beste voorwaarden voor persoonsgebonden financiering van toptalenten. De Vernieuwingsimpuls concentreert zich op persoonlijk excellentie en sluit dus bij uitstek aan bij deze visie op het wiskundeonderzoek in Nederland, en vice versa.

Hoofdrol voor de clusters

Met de clustervorming is in het wiskundig onderzoek een samenwerking tot stand gebracht op een schaal die nieuw is in Nederland. De clusters spelen ook een sleutelrol bij het aantrekken van jong toptalent. Ze hebben hun budgetten meer dan eens aangewend ter overbrugging. Dankzij hun eigen, snel inzetbare geld konden ze goede onderzoekers uit binnen- en buitenland aanstellen.

Onderzoekers die met clustergeld werden binnengehaald, konden soms met een Vernieuwingsimpuls hun onderzoek voortzetten en in het geval van onderzoekers uit het buitenland, hun verblijf in Nederland verlengen. Met het vrijgekomen clustergeld konden vervolgens weer aio's of nieuwe postdocs worden aangesteld.

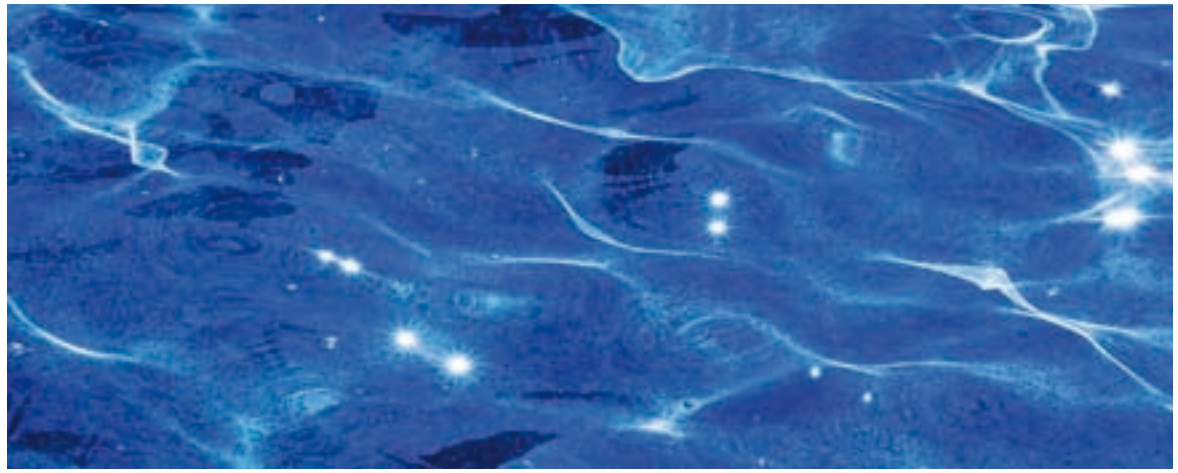
Nu de clusterbudgetten grotendeels op zijn, dreigt de dynamiek weer uit het systeem te verdwijnen. De clusters verstarren en hun slagvaardigheid in de jacht op wiskundig talent verdwijnt. We signaleerden eerder in deze nota dat de clusters een belangrijke rol vervullen bij het behoud van de kritische massa in het Nederlandse wiskundeonderzoek. Ook in dat opzicht is het gewenst de clusters vitaal te houden.

Daarom pleiten wij voor voortzetting van de financiering van de clusters. Door de clusters over een structureel budget te laten beschikken kunnen ze een sturende en stimulerende rol blijven spelen. De clusters bestemmen het budget via een snelle interne procedure van peer review voor het aantrekken van talentvolle postdocs en onderzoekers op beginnend tenure trackniveau op posities die een sleutelrol vervullen binnen de ontwikkeling van het clusteronderzoek. Met behulp van de mogelijkheden die de Vernieuwingsimpuls biedt, kunnen deze talenten zich nestelen in het Nederlandse wiskundelandschap.

De clusters krijgen zo de structuur van een postdoc-instituut als EURANDOM. Tegelijkertijd kan EURANDOM ingebed worden in een vierde cluster. Op deze manier groeien de clusters en EURANDOM naar elkaar toe.

Een belangrijke voorwaarde voor structurele financiering van de clusters is dat clusters zichzelf dynamisch blijven ontwikkelen en geen starre instituties worden. Een gezond, vitaal cluster moet meegroeien met de internationale ontwikkelingen en zich kunnen herconfigureren. Dat moet een voortdurend proces zijn: de instroom van jonge wetenschappers op postdoc- en tenure trackniveau houdt de clustergrenzen in beweging; nieuwe samenwerkingscombinaties die in het onderzoek ontstaan zorgen voor nieuwe contouren. Om dit proces te ondersteunen moet de verdeling van de clusterbudgetten meebewegen met de ontwikkeling van het onderzoek. Dit kan alleen gegarandeerd worden door een serieuze, en dus zeker niet-vrijblijvende, periodiek weerkerende beoordeling van de clusters door internationale wiskundigen van het hoogste kaliber. Een cluster dat aan wetenschappelijke waarde wint versterkt zijn positie. Van een cluster dat de aansluiting dreigt te missen met de internationale ontwikkelingen zal verwacht worden dat het zich herconfigureert, bijvoorbeeld door een andere groep wiskundigen in zich op te nemen. In het uiterste geval kan een 'verstard' cluster worden opgevolgd door een nieuwe, vitale, configuratie van samenwerkende wiskundigen. Zo ontstaat de garantie dat de clusters zich blijven oriënteren op het internationale onderzoek. De beoordeling hoeft weinig extra papierwerk met zich mee te brengen wanneer die samenvalt met andere evaluaties.

4. Een bestendige basis



De wiskunde is niet af, zoals soms wel wordt gedacht. De beschikbare wiskundige hulpmiddelen zijn lang niet toereikend om alle vragen te kunnen beantwoorden die de praktijk stelt. De wiskundige codes voor de benodigde algoritmen en analysemethoden kunnen niet van de plank worden gehaald, zoals gelukkig velen in de industrie en in andere wetenschappen tegenwoordig beseffen. Grotere en snellere computers zijn nodig maar niet voldoende voor de oplossing van onze problemen. Om verder te komen is betere wiskunde onontbeerlijk. Die 'betere wiskunde' vergt dikwijls fundamenteel onderzoek, maar vaak komt het ook aan op een goede ontsluiting van bestaande wiskundige kennis.

Onderzoekers in de industrie en in andere wetenschappelijke disciplines weten vaak slecht de weg te vinden naar kennis van actuele technieken die in Nederland aanwezig is. Men weet eenvoudig niet waar men moet aankloppen om de eigen wiskundige kennis te actualiseren. Veel wetenschappelijke en industriële organisaties werken mede daardoor met verouderde wiskunde.

Wetenschappers in verschillende disciplines weten vaak niet dat ze met dezelfde problemen kampen. Wiskunde zou hier veel meer een brugfunctie kunnen vervullen door waterloopkundigen bijvoorbeeld in contact te brengen met meteorologen of klimaatonderzoekers met epidemiologen, die bij hun simulaties met dezelfde wiskundige en algoritmische problemen worstelen.

De wiskundige gemeenschap biedt op dit moment niet de juiste aanspreekpunten. Dit knelpunt duikt steeds weer op in gesprekken met bedrijven en andere wetenschappelijke disciplines. Vaak bestaan er wel individuele contacten met wiskundig onderzoekers, maar die worden niet doorgelust binnen de wiskundige gemeenschap zelf.
De clusters hebben ook hierin een waardevolle rol te vervullen. Doordat ze thematische concentraties vormen, bieden ze natuurlijke aan-spreekpunten voor de buitenwereld. En doordat ze het knooppunt vormen van allerlei samenwerkingsverbanden dwars door de wiskundige gemeen-schap heen, bieden ze brede toegang tot expertise. Is de know-how niet binnen een cluster aanwezig, dan is daar voldoende overzicht om vragen door te verwijzen.
Het voorgestelde Bureau van de Wiskunde, een initiatief van de Commissie Structuur Belangenbehartiging Wiskunde (SBW), leent zich bij uitstek om als één centraal aanspreekpunt voor dit kennisnetwerk te gaan dienen. De commissie steunt ook de plannen van de SBW voor de vorming van een onafhankelijke landelijke wiskundecommissies voor On-derzoek, Onderwijs, PR en Publicaties in de wiskunde waarin bestaande commissies opgaan.

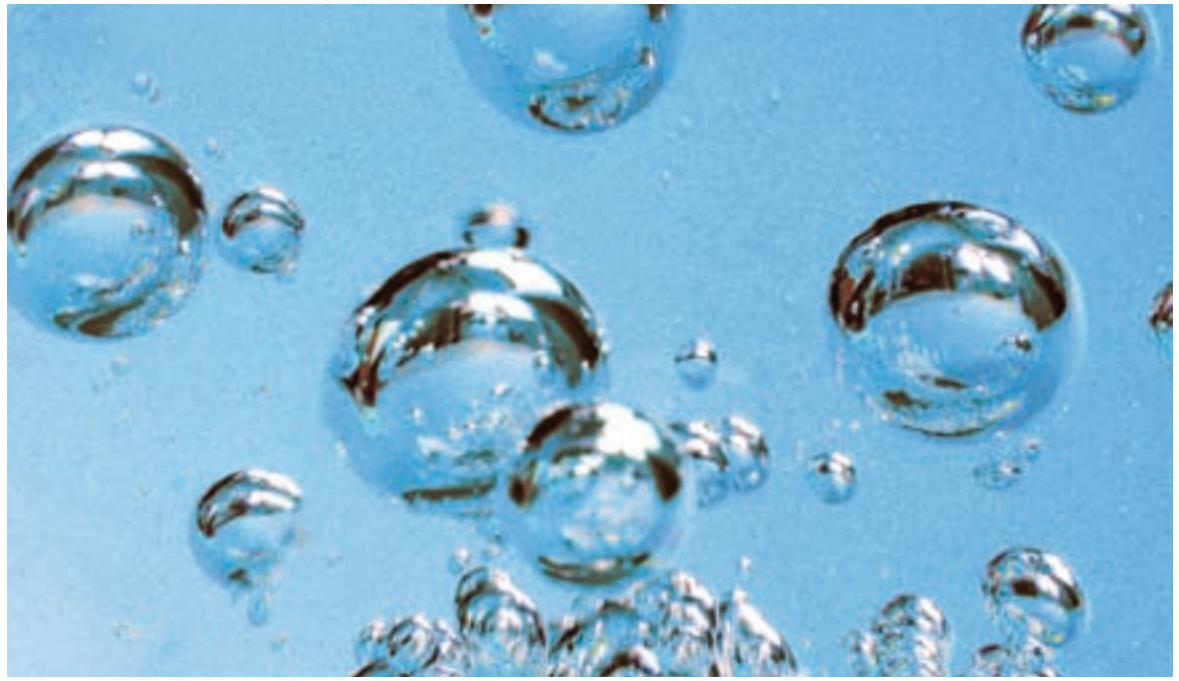
Tezamen ontnemen de clusters en het op te richten Bureau voor de Wiskunde de wiskundeonderzoekscholen, MRI en Stieltjes, een belangrijk gedeelte van hun bestaansrecht. Waardevolle onderdelen van deze onderzoekscholen als Master Classes, onderwijsweken en Stieltjeshoogleraren kunnen los van de onderzoekscholen blijven bestaan. Dit geldt niet voor de onderzoekscholen EIDMA, DISC en het J.M. Burgerscentrum, waarin de wiskunde ook een belangrijke rol speelt, maar die ook duidelijk een belang hebben buiten de clusters en het Bureau, en zelfs buiten de wiskunde als geheel.

Armslag voor samenwerking
Ondanks de geringe omvang van de Nederlandse wiskunde is er in principe voldoende expertise aanwezig om wetenschap, industrie en samenleving op adequate wijze met wiskundige kennis te ondersteunen. Goede wiskundigen kenmerken zich door een brede wiskundige basiskennis.
De kleinschaligheid wreekt zich wel op een andere manier. Onderzoeksgroepen ontbreekt het vaak aan speelruimte voor interdisciplinaire samenwerking en kennisoverdracht. Stafmedewerkers zijn te bezet met managementtaken en sterk toegenomen onderwijstaken om te reageren of te anticiperen op vragen uit industrie en samenleving. Door overbelasting ontbrak het de wiskundigen bijvoorbeeld aan speelruimte om aan te haken bij de ontwikkelingen in de financiële wiskunde, waardoor Nederland daar de aansluiting miste. Het gevolg is dat financiële instellingen in Nederland nu mensen uit het buitenland aantrekken, van wie de besten na verloop van tijd vaak worden weggekocht door concurrenten elders in Europa.

Voor de noodzakelijke speelruimte heeft de wiskunde, naast financiering van individuele aio- en postdocposities, behoefte aan financiering van samenwerkingsprojecten tot drie senioronderzoekers — waaronder mogelijk ook niet-wiskundigen. De samenwerking vindt plaats op een basisgebied van de wiskunde of in een interdisciplinair project, met drie tot vijf aio's of postdocs. Een looptijd van vijf jaar geeft stafonderzoekers de 'rust' de jonge onderzoekers met enige spreiding aan te nemen. Dat kan ook betekenen dat er een aantal jaar geen voorstellen geschreven hoeven te worden.

Het is belangrijk dat senioronderzoekers zichzelf binnen deze projectvorm kunnen 'vrijspelen' van onderwijs en management om zich een paar jaar volledig te kunnen richten op de ontwikkeling van het vakgebied en het initiëren van samenwerking met andere disciplines. De nieuwe projectvorm zal het onderzoek dynamiek geven doordat onderzoekers de kans krijgen om snel in te haken op nieuwe, vaak multidisciplinaire, ontwikkelingen en op fundamentele vragen die opduiken in andere vakgebieden en industrie. Dit zijn ook bij uitstek projecten waarin op internationale schaal kan worden samengewerkt met ondersteuning vanuit twee of meer landen.
Het ligt voor de hand om deze programma's in te bedden in een internationale (Europese) context. Een voorbeeld hiervan zijn de Europese plannen voor een complexiteitsprogramma. Andere thematische programma's zoals 'Climate Variability', 'Computational life sciences' en 'Dynamics of patterns' leverden de laatste jaren al waardevolle impulsen voor interdisciplinaire samenwerking. Voor dit soort nieuwe programma's dient voldoende ruimte te zijn.

5. Inspirerend wiskundeonderwijs

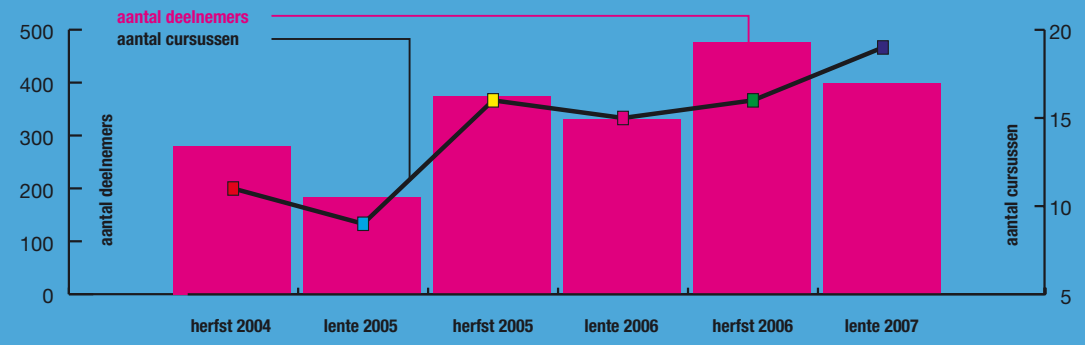


Ook in het wiskundeonderwijs is kritische massa van groot belang. Door de lage studentenaantallen in de afgelopen jaren werd het moeilijk om gespecialiseerde colleges te geven, en kwam het academische wiskundeonderwijs, essentieel voor de continuïteit van het wiskundeonderzoek, onder druk te staan.

Nog vóór de clustervorming heeft de Nederlandse wiskunde de handen ineengeslagen door de colleges aan het begin van de masterstudie voor een belangrijk deel nationaal te organiseren.
Aan Mastermath (zie www.mastermath.nl) wordt bijgedragen door stafleden van alle wiskunde-instituten, in onderlinge samenwerking. Vaak geeft men daarbij college aan andere instituten dan waar men werkzaam is. Deze constructie houdt niet alleen het onderwijsniveau op peil, maar biedt docenten ook een grotere en gevarieerdere studentenpopulatie (zie tabel 5). Dat studenten buiten de muren van hun eigen instituut kunnen rondkijken is een derde voordeel. Door de samenwerking van docenten en de harmonisatie van masterprogramma's, is Mastermath een wegbereider voor verdere nationale samenwerking binnen het wiskundig onderwijs. Dat geldt ook voor meer lokale, en eveneens succesvolle, samenwerkingen als die tussen de drie TU's, de Amsterdamse universiteiten en tussen Delft en Leiden.

Mastermath biedt het academisch wiskundeonderwijs tevens de flexibiliteit om rekening te kunnen houden met de verschillende soorten instromers: niet alle studenten hebben dezelfde voorkennis. Dat geldt voor Nederlandse studenten, maar zeker ook voor buitenlandse studenten die, onder andere

Binnen het Mastermath-programma slaan de wiskundefaculteiten hun handen ineen. De samenwerking groeide de afgelopen jaren.



Tabel 5 *Aantal centraal gecoördineerde cursussen (mastercolleeges) en cursusdeelnemers binnen het Mastermath-programma*

via programma's als de Erasmus Mundus master Algant, tot de Nederlandse master toetreden. Alle Mastermath-onderwijs in Nederland is Engelstalig.

Er zijn nog verschillende andere succesvolle activiteiten met internationale aantrekkingskracht waarin meerdere universiteiten samenwerken op onderwijsgebied, zoals het MRI masterclass-programma. Hierin wordt jaarlijks een tiental talentvolle buitenlandse studenten naar Nederland gehaald voor een overbruggingsjaar naar een mogelijke onderzoeksplaats. Deze Engelstalige masterclasses groeiden uit tot een kweekvijver voor succesvolle aio's. Zoals voorgesteld door de Commissie Structuur Belangenbehartiging Wiskunde (SBW), kunnen Mastermath en de andere succesvolle onderwijsactiviteiten op een natuurlijke manier worden ingebed in het eerder genoemde Bureau Wiskunde.

Middelbare school
Ook het niveau van het middelbaar wiskundeonderwijs is van belang. Verschuivingen die hier de laatste jaren plaatsvonden, werkten sterk door in het academisch onderwijs. Door voortdurende programmahervormingen is het accent op de middelbare school van meer abstracte naar 'realistische' wiskunde verschoven. Dat heeft het vak wellicht toegankelijker gemaakt, maar niet uitdagender voor de potentiële wiskundestudenten. De 'aansluitingsproblematiek' die zo ontstaat, moet tijdens de propedeuse van wiskundeopleidingen opgevangen worden met bijspijkertrainingen die enigszins eufemistisch worden aangeduid met 'opfriscursussen'. Hierin komen basisvaardigheden aan de orde die, in tegenstelling tot vroeger, nu op de middelbare school niet meer degelijk geoefend worden.

De verschuiving op de middelbare school raakt de onderzoekswiskunde op nog een andere, gevoelige, manier doordat de universitair geschoolde wiskundeleraar in hoog tempo uitsterft en daarmee het inspirerende voorbeeld voor kinderen met een wiskundeknobbel verdwijnt. De leraren wiskunde komen steeds meer via het hbo en worden langs

andere wegen opgeleid om voor de klas te staan. Zo ontstaat de vreemde situatie dat het kennisniveau van veel eerstegraads leraren wiskunde niet boven het universitaire propedeuseniveau uitstijgt, en aanzienlijk lager ligt dan dat van het vroegere MO-B.

Het vakinhoudelijk opleidingsniveau van de docent is van grote invloed op de prestaties van zijn leerlingen. Dat bleek onder andere in 2005 uit Brits onderzoek waarbij voor het vak natuurkunde werd vastgesteld dat de opleidingsgraad van de docent, naast de intelligentie en motivatie van de leerling zelf, de belangrijkste voorspeller is van leerprestaties. De opleidingsgraad van docenten is voor de leerprestaties zelfs belangrijker dan de 'kleur' van de school. Het is cruciaal dat docenten vakkennis hebben op een veel hoger niveau dan waarop ze lesgeven.
De weinige universitair geschoolde leraren die nu op de markt komen voelen zich overgekwalificeerd en onderbetaald in het onderwijs. Geen wonder dat die stroom bijna opgedroogd is. De ontwikkelingen, ingezet met het advies van de commissie-Rinnooy Kan, om geld in leraren te investeren zullen aan de oplossing van dit probleem bijdragen. Ook het NWO-programma 'Leraar in Onderzoek', levert een waardevolle bijdrage. Binnen dit programma biedt NWO leraren een beurs om, in deeltijd, onderzoek te verrichten aan een universiteit. Dit programma dient te worden voortgezet en versterkt.
Een interessante oplossing is ten slotte om de bachelor wiskunde met een eerstegraads onderwijsbevoegdheid af te sluiten. Binnen de major-minor-trajecten behoeft daartoe slechts een goed gestructureerde minor didactiek van de wiskunde te worden geïntroduceerd. Aangezien de academische bacheloropleiding wiskunde een niveau bereikt dat aanzienlijk hoger ligt dan dat van het gros van de op dit moment beginnende (eerstegraads) vwo-leraren, wordt het kennisniveau zo behoorlijk opgekrikt, terwijl het voor academische studenten aantrekkelijker wordt om naar het middelbaar onderwijs door te stromen. Een dergelijk traject voor aanstaande leraren kan goed bestaan naast de huidige 'educatieve' varianten van de masteropleiding, zeker in combinatie met de door Rinnooy Kan voorgestelde maatregelen om de salariëring van leraren afhankelijk te maken van hun opleidingsniveau.

Successen van nu ...

Geworteld in de wiskunde

Van lineaire algebra tot Google

Het Web telt tien miljard bladzijden. Dagelijks komen er nog zo'n tien miljoen webpagina's bij. Alleen dankzij zoekmachines als Google kan in die massa nog relevante informatie worden gevonden. Google definieert middels twee eenvoudige principes het belang (de PageRank) van elke pagina.

Regel 1: een pagina is belangrijk als er belangrijke pagina's naar verwijzen, en

Regel 2: hoe minder naar andere bladzijden die belangrijke bladzijden verwijzen, des te beter.

Met hulp van PageRank kunnen de vaak tienduizenden zoekresultaten in volgorde van relevantie worden gepresenteerd en wordt het web doorzoekbaar. De grafentheorie, de wiskunde van netwerken van knooppunten en verbindingen, en de lineaire algebra, de wiskunde van matrices en vectoren, bewijzen dat de twee Google-principes, mits de details goed worden ingevuld, tot één unieke rangorde leiden van al die miljarden pagina's van het web. Althans, in theorie. Om die unieke oplossing daadwerkelijk te bepalen moet heel concreet en snel met het netwerk van die miljarden webpagina's worden gerekend. Daarvoor is nog meer lineaire algebra nodig, en slimme
numerieke wiskunde.

Hoe verder het web groeit hoe gigantischer het rekenwerk. Het web is op te vatten als een gigantische matrix: tien miljard rijen en tien miljard kolommen groot. Eigenlijk een onafzienbare afstandentabel maar dan met slechts enen (er is een link) en nullen (er is geen link). De matrix is 'ijl', zeggen wiskundigen want er zijn vooral nullen.

De uitdaging is om van deze matrix een zogenaamde dominante eigenvector uit te rekenen. De wiskundige Gauss bedacht begin van de 19e eeuw daarvoor een standaardmethode waarbij de benodigde rekenkracht echter groeit met de derde macht van de omvang van de matrix.
Dat maakt de methode voor Google ongeschikt.

Gelukkig zijn er de afgelopen eeuw verfijndere methoden ontwikkeld waarvan de rekentijd 'slechts' toeneemt met het kwadraat of zelfs lineair met de omvang van het probleem. Het onderzoek daarnaar was aanvankelijk gericht op het benaderend oplossen van differentiaalvergelijkingen. In 1952 zorgden Hestenes en Stiefel voor een doorbraak met de CG-methode voor ijle matrices. In 1986 werd die door Saad en Schultz aangevuld met de GMRES-methode om ook ijle niet-symmetrische matrices aan te kunnen. In principe dus ook de Google matrix, alhoewel Google in 1986 nog niet bestond. Bij de toepassing van moderne rekenmethoden wordt er daarnaast dankbaar gebruik van gemaakt dat weblinks sterk geografisch zijn geconcentreerd. Nederlandse webpagina's verwijzen vooral naar Nederlandse pagina's. Franse naar Franse.

Dergelijke wiskunde helpt ons niet alleen om beter te zoeken in de databerg maar ook bijvoorbeeld om bij een tomografie een gedetailleerd 3D-beeld te berekenen van het menselijk lichaam, om citatiescores te bepalen van wetenschappelijke artikelen en om op een datingsite de juiste partners te matchen. Het wachten is op nieuwe vondsten die tot nog snellere methodes voor bepaalde toepassingen leiden. De rekenkracht van computers kan nog zo worden opgevoerd, als het web met de huidige snelheid blijft groeien leggen we het met de bestaande wiskunde op een goed moment af.

6. Maatregelen

De aanbevelingen in dit rapport laten zich samenvatten in vier concrete maatregelen. Vier maatregelen die onze visie op de wiskunde praktisch gestalte geven. Hiermee is een structureel budget gemoeid van 9 M€ per jaar. De maatregelen sluiten aan bij de NWO-strategielijnen.

Lijn 1: *Ruimte voor onderzoekers*

- IJk de Vrije Competitie zodat excellente voorstellen een serieuze kans op honorering maken. Continueer en versterk programma's zoals 'Leraar in Onderzoek'.

Per jaar worden meer dan zestig wiskundevoorstellen ingediend. Gezien de kwaliteit van deze voorstellen is een slagingspercentage van dertig procent natuurlijk. De laatste jaren lag dit percentage aanzienlijk lager.

Geschatte extra kosten per jaar: 2 M€

Lijn 2: *Bundeling van krachten*

- Maak fondsen beschikbaar voor vier wiskundeclusters. Investeer in jong wiskundig talent op het niveau van postdoc en beginnende tenure trackposities.

Gegeven de grootteorde van de clusters is een instroom van minimaal 4 x 5 postdocs/tenure trackers per jaar per cluster noodzakelijk. Deze posities hebben een looptijd van 2 à 3 jaar.

Geschatte totale kosten per jaar: 3 M€

- Stimuleer kleinschalige samenwerkingsprojecten. Deze nationale of internationale samenwerkingsprojecten hebben betrekking op vijf (of meer) tijdelijke posities. Om impact te hebben binnen het Nederlandse wiskundelandschap dienen er minstens drie van dit soort projecten per jaar te kunnen worden opgestart.

Geschatte totale kosten per jaar: 2 M€

Lijn 3: *Wetenschap voor de samenleving*

- Initieer nieuwe programma's, en breidt bestaande programma's uit, die de interacties tussen de (onderzoeks)wiskunde en andere wetenschapsdisciplines, maatschappij en industrie versterken. Thematische programma's, zoals het complexiteitsprogramma dat in ontwikkeling is, stimuleren de dynamiek van de wiskunde. Creëer hiervoor de ruimte.

Geschatte extra kosten per jaar: 2 M€

Concentratie en dynamiek

Ieke Moerdijk:

'We moeten zorgen dat we hier aan de goede kant van Europa zitten'

'De Europese universiteiten ontwikkelen zich tot een systeem van communicerende vaten, met een vrij verkeer van PhD-studenten en postdocs. Vergelijk het met de Amerikaanse universiteiten. Wij moeten zorgen dat we hier aan de goede kant van dat systeem zitten. PhD-studenten van topuniversiteiten in Europa en ook in de VS moeten hier graag een postdoc komen doen. En onze eigen PhD's moeten gewild zijn in het buitenland. Zo boeken we kwaliteitswinst en voorkomen we isolement. Daarvoor moeten we wel investeren. We hoeven maar over de grens te kijken in oostelijke richting en we zien een veelheid aan Graduiertenkollegs, Sonderforschungsbereiche en Centres of Excellenz. Onze clusters vormen een prachtig begin, maar er is nog een lange weg te gaan.'

Mathisca de Gunst:

'Alle wiskunde is nodig'

'We maken in dit rapport geen onderscheid tussen de verschillende soorten van wiskunde. Dat is mij uit het hart gegrepen. De ene wiskunde is niet beter of belangrijker dan de andere. Alle wiskunde is nodig. Ik doe aan de VU statistisch onderzoek aan biologische systemen. Daarbij gebruik ik een breed pallet aan wiskundige technieken. Zo willen hersenonderzoekers het dynamische connectiepatroon van hersencellen in kaart brengen. We maken vorderingen met een combinatie van stochastische en niet-stochastische methoden om die patronen te analyseren. Voor mijn onderzoek naar de kinetiek van ionkanalen gebruik ik weer heel andere methoden. Het is voor mijn werk belangrijk dat ik hier in Nederland over een netwerk van wiskundigen beschik met specialistische kennis van de gebieden van de wiskunde waarin ik zelf minder thuis ben.'

Arjen Doelman:

'De wiskunde is een dynamisch systeem'

'Ik hou me onder andere bezig met wiskunde in interactie met de aardwetenschappen, zoals de evolutie van rivieren en de groei van fytoplankton in de oceaan. Globaal gevoed door de zon ontwikkelen fytoplankton-organismen zich volgens hun eigen dynamiek concentraties van activiteit. Ik zie de wiskunde als zo'n dynamisch systeem, met pieken van activiteit die zich volgens een eigen dynamiek ontwikkelen. Het systeem moet wel gevoed worden, maar je moet het niet inhoudelijk willen sturen. Leg je de pieken vast, dan verdwijnt de vitaliteit uit het systeem en mist het onderzoek de aansluiting met internationale ontwikkelingen. Met wiskundig onderzoek is het net als met het beheer van rivieren. Je kunt proberen het water te kanaliseren met beton, maar dat werkt niet op de lange termijn, zeker niet als een externe invloed zoals de toestroom van water verandert. Ook bij Rijkswaterstaat heeft men de laatste jaren ingezien dat je veel meer bereikt als je het water ruimte geeft voor zijn eigen dynamiek.'

Literatuur

Voor het schrijven van dit rapport is gebruik gemaakt van de volgende literatuur:

Nieuwe dimensies, ruimer bereik. Een nationale strategie voor wiskundeonderzoek en gerelateerde masteropleidingen. Nationale Overleg Onderzoekscholen Wiskunde in samenwerking met de NWO Advies Commissie Wiskunde. Den Haag, 2002.

De toekomst van het wiskunde-onderzoek in Nederland, Verkenningen, Deel I, KNAW. Amsterdam, 1999.

Bibliometric Study on Mathematics Research in the Netherlands 1993-2002, CWTS Research Report to NWO-EW. Leiden, 2007.

Wiskunde in Actie, Akademie Raad voor de Wiskunde, KNAW. Amsterdam, 2006.

Wetenschap gewaardeerd! NWO-strategie 2007-2010. Den Haag, 2006.

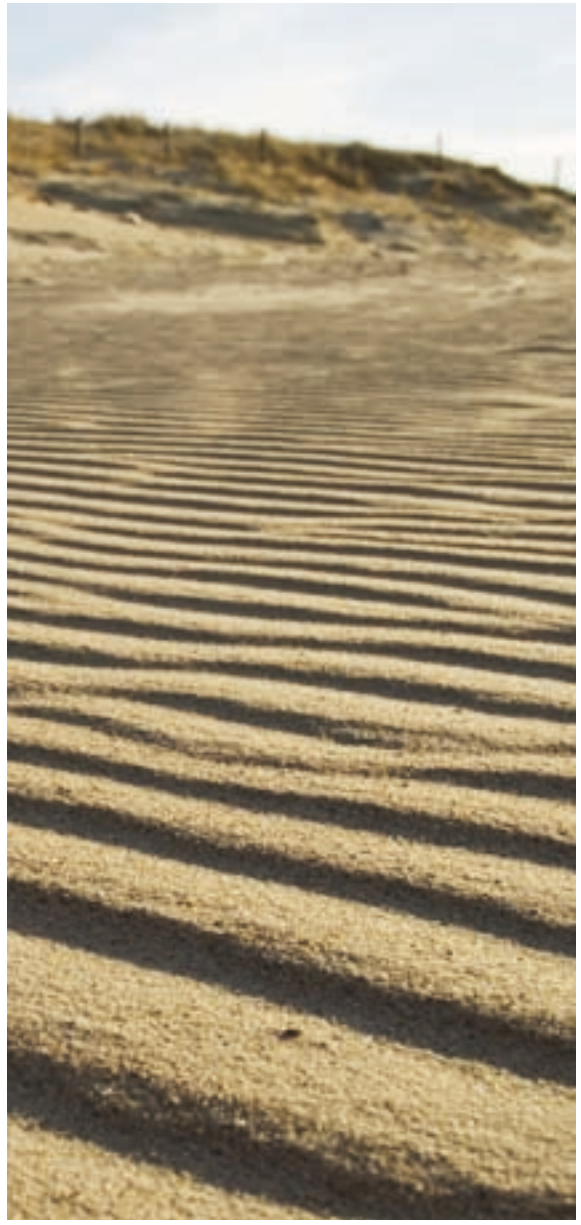
Duurzame wetenschap, Strategisch plan KNAW 2007-2010. Amsterdam, 2006.

Investeren in Dynamiek, Eindrapport Commissie Dynamisering, Den Haag 2006.

Diverse studies Thomson Research, zie www.in-cites.com/research/2007/

The scientific wealth of nations, R. M. May, Science ***75*** *793-796 (1997).*

Variatie doet weten, Inaugurele rede M. A. Peletier aan TUE, Nieuw Archief van de Wiskunde ***5/7*** *(4) 234-241 (2006).*



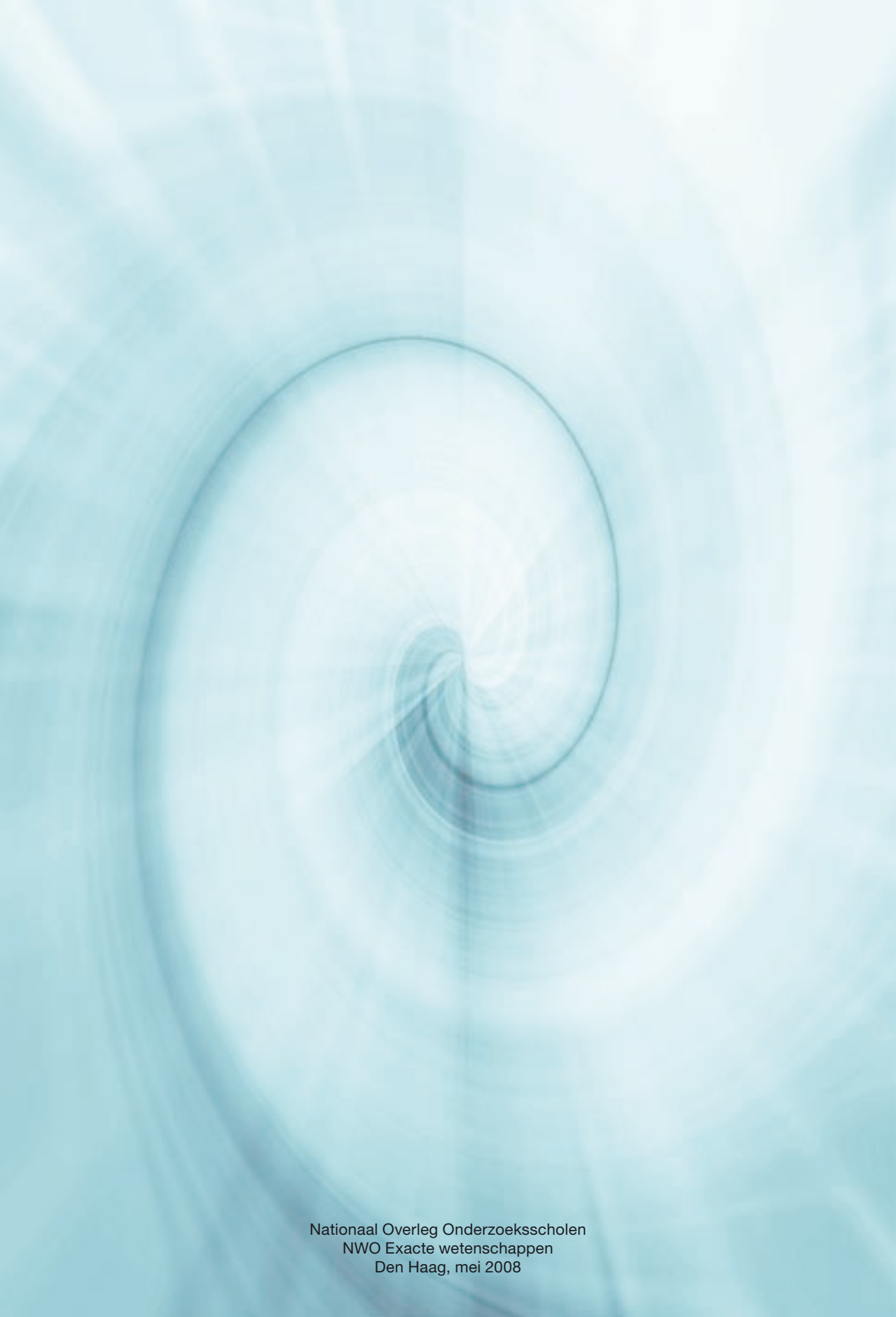
Omvang vaste wiskundestaf

		HL	UHD**	UD/TD	postdocs	promovendi
UL	1980	12,0	8,0	5,0	1,0	18,0
	1990	9,4	4,0	5,3	3,0	15,0
	2000	9,2	1,5	7,8	5,4	15,0
	2005	6,8	2,9	8,0	4,2	13,2
UU	1980	14,2	11,8	24,4	-	11,6
	1990	12,4	10,4	18,2	4,0	23,0
	2000	7,3	7,7	10,2	11,5	29,3
	2005	7,0	7,8	12,0	11,0	24,8
UvA	1980	18,6	18,9	3,0	1	4,2
	1990	10,6	3,0	10,9	4,0	14,0
	2000	10,8	5,1	9,4	6,5	23,0
	2005	11,2	5,5	8,5	2,0	18,0
RUG	1980	15,0	13,5	5,5	-	12,0
	1990	10,7	7,0	7,0	-	13,0
	2000	10,0	3,0	3,0	5,0	25,0
	2005	6,0	3,0	6,0	2,0	18,0
VU	1980	11,0	5,0	6,0	1,0	6,0
	1990	9,4	3,0	12,2	1,5	10,0
	2000	8,3	3,7	10,5	4,0	11,0
	2005	7,2	5,6	9,8	7,0	30,4
RU	1980	11,0	9,2	9,1	1,0	11,0
	1990	9,4	9,0	7,6	-	19,0
	2000	6,0	8,2	4,0	1,0	12,6
	2005	5,0	6,0	3,0	6,0	8,0
TUD	1980	19,0	45,0	20,0		
	1990	17,2	18,0	51,3	-	44,0
	2000	10,5	20,1	19,6	5,4	29,6
	2005	8,0	16,6	10,0	2,0	35,8
TU / E	1980	21,3	47,5	2,2	2,0	18,0
	1990	14,2	10,6	41,3	0,0	21,0
	2000	10,0	8,1	22,2	2,0	21,0
	2005	8,6	9,0	25,6	8,0	30,1
UT	1980	14,3	36,8	13,6	-	2,0
	1990	12,1	12,0	48,7	-	17,0
	2000	8,6	13,5	19,0	4,5	24,9
	2005	9,2	9,0	12,5	4,0	41,0
CWI	2000	*	5,0	9,1	9,0	16,8
	2005	*	4,6	7,1	18,0	25,0
EUR	1990	6,8	9,9	19,9	-	-
	2000	-	4,0	6,0	-	-
	2005	1,0	-	-	-	-
KUB	1990	6,7	-	-	-	-
	2000	5,0	9,0	4,0	1,0	6,0
	2005	5,0	-	-	-	-
WU	2000	2,0	4,5	13,0	0,0	4,0
	2005	2,2	2,7	9,4	2,0	3,0
UM	2000	2,0	2,0	4,0	-	-
	2005	-	2,6	2,5	-	4,0
EURANDOM	2000	-	-	-	19,5	2,0

*) Het CWI kent geen hoogleraren. Wel zijn acht senior-medewerkers van het CWI als deeltijdhoogleraar in de wiskundeaan een universiteit verbonden.
**) Voor 1980 is het aantal wetenschappelijk hoofdmedewerkers vermeld. In 1990 bestaat deze postie niet meer.

Lijst van afkortingen en begrippen

aio	Assistent in opleiding
ALW	NWO-wetenschapsgebied Aard- en Levenswetenschappen
CFD	Computer Fluid Dynamics
CG-methode	Conjugate gradient methode
CWI	Centrum voor Wiskunde en Informatica
CWTS	Centrum voor Wetenschap- en Technologiestudies
DIAMANT	Wiskundecluster Discrete, Interactive and Algorithmic Mathematics, Algebra and Number Theory
DISC	Onderzoekschool Dutch Institute of Systems and Control
EIDMA	Onderzoekschool Euler Institute for Discrete Mathematics and its Applications
EUR	Erasmus Universiteit Rotterdam
EURANDOM	European research institute for the study of randomness
FOM	Stichting voor Fundamenteel Onderzoek der Materie
fte	Full-time equivalent (mensjaar)
GMRES-methode	Generalized minimal residual methode
GQT	Wiskundecluster Geometry & Quantum Theory
GSM	Globale System for Mobile Communication
HL	Hoogleraar
J.M. Burgerscentrum	Onderzoekschool voor vloeistofmechanica
KNAW	Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
LLL-algoritme	Lenstra Lenstra Lovasz algoritme
M€	Miljoen euro
MARIN	Marine Research Instituut Nederland
MRI	Onderzoekschool Mathematisch Research Instituut
MSRI	Mathematical Science Research Institute in Berkeley
MUSCL	Monotone Upstream-centered Schemes for Conservation Laws
NDNS	Wiskundecluster Nonlinear Dynamics of Natural Systems
NDRB	Strategienota Nieuwe Dimensies, Ruimer Bereik
NLR	Nationaal Lucht- en Ruimtevaart Laboratorium
NWO	Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek
NWO-EW	NWO-wetenschapsgebied Exacte Wetenschappen
OOW	Overleg Onderzoekscholen Wiskunde
RSA	Rivest Shamir Adleman encryptiealgoritme
RU	Radboud Universiteit
RUG	Rijksuniversiteit Groningen
SBW	Commissie Structuur Belangenbehartiging Wiskunde
STW	Stichting Technische Wetenschappen
TD	Technisch Docent
TUD	Technische Universiteit Delft
TU/e	Technische Universiteit Eindhoven
UD	Universitair docent
UHD	Universitair Hoofddocent
UL	Universiteit Leiden
UM	Universiteit Maastricht
UT	Universiteit Twente
UU	Universiteit Utrecht
UvA	Universiteit van Amsterdam
UvT	Universiteit van Tilburg
VU	Vrije Universiteit
vwo	Voorbereidend wetenschappelijk onderwijs
WO	Wetenschappelijk Onderwijs
WUR	Wageningen Universiteit



Nationaal Overleg Onderzoeksscholen
NWO Exacte wetenschappen
Den Haag, mei 2008