

**Wiskundeonderwijs
aan de Nederlandse
Universiteiten in 2013**

State of the Art rapport

Quality Assurance Netherlands Universities (QANU)
Catharijnesingel 56
Postbus 8035
3503 RA Utrecht
The Netherlands

Telefoon: 030 230 3100
Fax: 030 230 3129
E-mail: info@qanu.nl
Internet: www.qanu.nl

Projectnummer: Q0434

© 2014 QANU

Tekst en cijfermateriaal uit deze uitgave mogen, na toestemming van QANU en voorzien van bronvermelding, door middel van druk, fotokopie, of op welke andere wijze dan ook, worden overgenomen.

Wiskundeonderwijs aan de Nederlandse Universiteiten in 2013

State of the Art rapport

Onderwijsvisitatie Wiskunde

Oktober 2014

Inhoudsopgave

Rapport.....	6
Samenvatting.....	6
Inleiding	8
1. De wiskundeopleidingen aan de Nederlandse universiteiten.....	10
2. Algemene bevindingen en ontwikkelingen in het vakgebied	14
I. Herbezinning op landelijk vakkenaanbod Mastermath	14
II. Profilering en indeling van de opleidingen	17
III. Universitaire opleidingen tot wiskundeleraar.....	19
IV. Passend onderwijs voor groeiende studentenaantallen.....	22
V. Afstudeerprojecten	24
VI. Arbeidsmarkt	27
3. Bevindingen per standaard.....	30
Standaard 1: Beoogde eindkwalificaties	30
Standaard 2: Onderwijsleeromgeving.....	31
Standaard 3: Toetsing en gerealiseerde eindkwalificaties	34
Bijlagen.....	36
Bijlage 1. Samenstelling en werkwijze van de commissie	38
Bijlage 2: Domeinspecifiek referentiekader	41

Samenvatting

Dit rapport is geschreven als sluitstuk van de onderwijsvisitatie Wiskunde, en is bedoeld als stimulans tot verdere verbetering van de opleidingen Wiskunde aan Nederlandse universiteiten. Tijdens haar beoordeling heeft de visitatiecommissie opleidingen aangetroffen die zonder uitzondering van een hoog niveau waren. De commissie sprak overal in het land competente en enthousiaste docenten en heeft met plezier geconstateerd dat steeds meer studenten zich inschrijven voor een universitaire opleiding wiskunde.

De groei van het aantal studenten bij een gelijk gebleven aantal docenten heeft er de laatste jaren toe bijgedragen dat de efficiëntie in de uitvoering van het onderwijs is verhoogd. Voor de komende jaren vormt het groeiende aantal studenten één van de belangrijkste uitdagingen: om de huidige kwaliteit van onderwijs en de intensieve persoonlijke begeleiding bij afstudeerprojecten in stand te houden, is een grote en groeiende personele inzet nodig. Ook het aantal masterstudenten zal de komende jaren verder toenemen, met als gevolg dat het landelijke onderwijsaanbod binnen Mastermath een andere functie krijgt.

De commissie stelt in dit rapport zes opleidingsoverstijgende thema's aan de orde:

- *De veranderende rol van Mastermath* Door de groei van de aantallen studenten en het veranderende aanbod aan cursussen is een heroverweging van de vorm en de organisatie van het onderwijs in Mastermath nodig. De commissie geeft daar aanbevelingen voor.
- *Profilering* Het grootste deel van de wiskundeopleidingen is breed georiënteerd. Daarbij is er verschil tussen enerzijds de hoofdzakelijk toepassingsgerichte opleidingen 'technische wiskunde' en anderzijds de ruimere aandacht voor theorievorming binnen opleidingen 'wiskunde'. De commissie moedigt opleidingen aan die breedte te behouden maar heeft ook waardering voor de paar meer specifiek georiënteerde masteropleidingen in Amsterdam en Leiden.
- *Opleiding tot wiskundedocent* Alle wiskundedocenten met eerstegraads bevoegdheid zouden universitair geschoold moeten zijn. Opleidingen beschikken over een adequaat aanbod, maar zouden meer kunnen doen om studenten voor dat aanbod te interesseren. De overheid zou het maatschappelijk aanzien van docenten in het middelbaar onderwijs moeten versterken.
- *Groeiende studentenaantallen* Om het hoge niveau van de opleidingen ook in de toekomst te waarborgen, zijn meer docenten nodig.
- *Afstudeerprojecten* De hoge kwaliteit van de afstudeerwerken kan nog verder verbeterd worden door vooral in de bacheloropleidingen het afstudeertraject te optimaliseren. De commissie wijst verder op mogelijkheden om de transparantie van beoordeling te vergroten.
- *Arbeidsmarkt* Wiskundestudenten kunnen goed terecht op de arbeidsmarkt, maar zouden tijdens hun opleiding meer gestimuleerd moeten worden om hun eigen mogelijkheden te verkennen en hun interesses te volgen, bijvoorbeeld in ondernemerschap.

Verder doet de commissie verschillende concrete adviezen op het gebied van de door de NVAO voorgeschreven standaarden waaraan elke opleiding moet voldoen. Met betrekking tot de *eindkwalificaties* (standaard 1) raadt de commissie opleidingen aan om de eindtermen explicieter aan te laten sluiten bij het Domeinspecifieke referentiekader, aangevuld met een of enkele profilerende eindtermen. Wat de *onderwijsleeromgeving* (standaard 2) betreft, viel het de commissie op dat een behoorlijk aantal opleidingen een programmaherziening heeft doorgevoerd die van bovenaf werd opgelegd. De commissie heeft begrip voor pogingen het onderwijs aan universiteiten meer uniform te maken, maar benadrukt dat een goede wiskundeopleiding een bepaalde volgordelijkheid kent en tijd moet bieden aan vakken met een hoog abstractiegehalte. Op het punt van *toetsing* (standaard 3) raadt de commissie opleidingen aan om goed zicht te blijven houden op de individuele prestaties van studenten.

Inleiding

De visitatiecommissie Wiskunde heeft de Nederlandse universitaire bachelor- en masteropleidingen in het wiskundedomein gevisiteerd. In dit rapport geeft de commissie haar algemene indrukken weer van de opleidingen en het universitaire wiskundelandschap en doet zij aanbevelingen. De belangrijkste constatering van de commissie is dat de opleidingen een hoog niveau hebben en worden gedragen door een enthousiaste en competente staf. Daarnaast is de commissie blij met de geestdrift waarmee studenten over hun opleiding spraken. Ook het groeiende aantal studenten bij de wiskundeopleidingen draagt bij aan het positieve beeld dat de commissie heeft gekregen van de universitaire wiskundeopleidingen. De genoemde groei is één van de uitdagingen waarmee de opleidingen worden geconfronteerd. Een andere is dat de inrichting van het onderwijs in beweging is ook onder invloed van eisen en wensen van buiten het vakgebied. De commissie zal ingaan op ontwikkelingen bij de opleidingen.

Na deze inleiding volgt in het eerste hoofdstuk een korte schets van de gevisiteerde opleidingen. Daarna bespreekt het rapport in het tweede hoofdstuk een zestal belangrijke thema's, te weten 'Herbezinning op landelijk vakkenaanbod Mastermath', 'Profilering en indeling van de opleidingen', 'Universitaire opleidingen tot wiskundeleraar', 'Passend onderwijs voor groeiende studentenaantallen', 'Afstudeerprojecten' en 'Arbeidsmarkt'. In het derde hoofdstuk volgen beschouwingen en aanbevelingen gerangschikt naar de standaarden die bij de visitaties zijn gehanteerd.

De commissie bedankt de opleidingen voor de gastvrijheid waarmee zij ontvangen is, voor de openheid waarmee de gesprekken tijdens het bezoek van de commissie verliepen en voor de inspanningen van de opleidingen om de commissie van de gewenste informatie te voorzien. De opleidingen hebben een niet geringe inspanning geleverd bij het samenstellen van de kritische reflecties en het voorbereiden van de visitatie. De commissie hoopt dan ook dat de rapporten over de opleidingen en dit State of the Art rapport zullen bijdragen aan de verdere versterking van de wiskundeopleidingen aan de Nederlandse universiteiten.

De commissie heeft per opleiding op drie kwaliteitsstandaarden een oordeel gegeven. Die drie standaarden waren veel breder dan de 21 facetten waarover visitatiecommissies in het verleden een oordeel uitspraken. Om een oordeel 'goed' over een standaard te geven, is het criterium 'De opleiding steekt systematisch en over de volle breedte uit boven de gangbare basiskwaliteit'. Aangezien de commissie alleen opleidingen in het wiskundedomein heeft gevisiteerd, is de gangbare basiskwaliteit dat wat de commissie bij de wiskundeopleidingen in het algemeen aantreft, waarmee het oordeel relatief wordt ten opzichte van de wiskundeopleidingen. Om die reden is de commissie zeer terughoudend geweest in het geven van andere oordelen dan 'voldoende'. En zelfs in die gevallen waar de commissie een beoordeling 'goed' heeft gegeven, is zij ruimhartig met het bovengenoemde strenge criterium omgegaan. Het oordeel 'voldoende' dat de commissie in de meeste gevallen uitsprak, geeft dus ten onrechte een zuinige indruk van het positieve beeld dat zij van de opleidingen heeft.

1. De wiskundeopleidingen aan de Nederlandse universiteiten

De wiskundeopleidingen die hebben deelgenomen aan de clusterbeoordeling Wiskunde 2013, volgen het domeinspecifiek referentiekader (DSRK) dat de Kamer Wiskunde VSNU in overleg met de opleidingen heeft opgesteld voor de bachelor- en de masteropleidingen binnen het wiskundedomein. Het kader is voorgelegd aan de Innovatiecommissie van het Platform Wiskunde Nederland, dat bestaat uit vertegenwoordigers van het afnemend veld. De Kamer heeft het commentaar van deze commissie als appendix opgenomen in het kader. Het kader creëert ruimte voor verschillen die tussen de opleidingen kunnen bestaan. Een wiskundeopleiding aan een technische universiteit zal een meer ‘practice based’ profiel hebben, terwijl een wiskundeopleiding van een algemene universiteit meer ‘theory based’ zal zijn.

In totaal namen 25 opleidingen verdeeld over negen universiteiten deel aan de clusterbeoordeling. Acht van deze opleidingen hebben een technisch wiskundig profiel, twaalf opleidingen hebben een meer ‘theory based’ karakter. De vijf resterende opleidingen richten zich specifiek op bedrijfskundige analyse, stochastiek en financiële wiskunde, of mathematische fysica.

De eerste universiteit die de commissie bezocht heeft, is de **Technische Universiteit Delft (TUD)**. Deze universiteit biedt twee opleidingen in de technische wiskunde aan: de bacheloropleiding Technische Wiskunde en de Engelstalige masteropleiding Applied Mathematics. De bacheloropleiding Technische Wiskunde biedt goede studenten de mogelijkheid om een dubbele bachelor Technische Wiskunde/Technische Natuurkunde te behalen of een Honoursprogramma te volgen. Met ingang van september 2013, kort na het bezoek van de commissie, is een nieuw, modulair curriculum ingevoerd dat voor het merendeel uit kwartaalvakken bestaat. De opleiding kent een samenwerkingsverband met de bacheloropleiding Wiskunde van de Universiteit Leiden. Via een educatieve minor kunnen studenten een tweedegraads lesbevoegdheid verwerven. De masteropleiding kent de specialisaties Computational Science and Engineering en Probability, Risk and Statistics. Daarnaast neemt de opleiding deel aan het Erasmus Mundus programma Computer Simulation for Science and Engineering, in samenwerking met het KTH Institute of Technology (Stockholm), de TU Berlin en de Friedrich-Alexander Universität (Erlangen).

De **Radboud Universiteit Nijmegen (RU)** biedt eveneens twee opleidingen aan, beide met een meer ‘theory based’ profiel: de bacheloropleiding Wiskunde en de Engelstalige masteropleiding Mathematics. De bacheloropleiding Wiskunde biedt goede studenten de mogelijkheid om een dubbele bachelor Wiskunde/Informatica of Wiskunde/Natuurkunde te behalen of een Honoursprogramma te volgen. Via een educatieve minor kunnen studenten een tweedegraads lesbevoegdheid verwerven. De masteropleiding biedt vier specialisatiemogelijkheden: Algebra & Topology, Applied Stochastics, Mathematical Physics en – in samenwerking met de masteropleiding Computer Science – Mathematical Foundations of Computer Science. Naast de specialisatie volgen studenten één van vier varianten: Research; Science, Management & Innovation; Communication; en Education.

De **Universiteit Twente (UT)** behoort tot de drie technische universiteiten en biedt twee technisch wiskundige opleidingen aan: de bacheloropleiding Technische Wiskunde en de Engelstalige masteropleiding Applied Mathematics. Voor goede studenten biedt de bacheloropleiding een ‘Excellence Stream’ en een Honoursprogramma aan; ook bestaat de mogelijkheid van een dubbele bachelor met Technische Natuurkunde of Technische

Informatica. Verder onderscheidt de opleiding de Educatieve Bachelor, waarin studenten een tweedegraads lesbevoegdheid kunnen verwerven. Met ingang van september 2013, kort na het bezoek van de commissie, is het curriculum opnieuw ingericht met modulair onderwijs, als onderdeel van de universiteitsbrede invoering van het Twents Onderwijs Model (TOM). De masteropleiding onderscheidt drie specialisatie-richtingen: Industrial Engineering and Operations Research, Mathematical Physics and Computational Mechanics, en Mathematics and Applications of Signals and Systems. Studenten kunnen een eerstegraads lesbevoegdheid behalen als zij een educatief programma volgen.

De **Universiteit Utrecht (UU)** biedt als algemene universiteit twee ‘theory based’ opleidingen wiskunde aan: de bacheloropleiding Wiskunde en de Engelstalige masteropleiding Mathematical Sciences. In de bacheloropleiding kunnen studenten kiezen uit de varianten Wiskunde of Wiskunde en Toepassingen. Verder kunnen studenten een dubbele major Wiskunde/Natuurkunde of Wiskunde/Informatica volgen. Studenten die kiezen voor een educatieve minor, verwerven een tweedegraads lesbevoegdheid. De masteropleiding onderscheidt acht specialisaties: Algebraic geometry and number theory, Applied analysis, Differential geometry and topology, Logic, Probability and Statistics, Pure Analysis, Scientific Computing en History of Mathematics. Verder biedt de opleiding voor goede studenten samen met de masteropleiding Theoretical Physics een honoursprogramma aan dat resulteert in twee masterdiploma’s.

De **Universiteit van Amsterdam (UvA)** biedt vier opleidingen wiskunde aan: de bacheloropleiding Wiskunde en de Engelstalige masteropleidingen Mathematics, Stochastics and Financial Mathematics en Mathematical Physics. In de bacheloropleiding Wiskunde biedt de opleiding goede studenten de mogelijkheid om een dubbele bachelor Wiskunde/Natuurkunde of Wiskunde/Informatica te behalen, of om een Honoursprogramma te volgen. Studenten die kiezen voor een educatieve minor, verwerven een tweedegraads lesbevoegdheid. De masteropleiding Mathematics kent een Research- en een Society-variant. Goede studenten krijgen de mogelijkheid om een dubbel masterprogramma Mathematics/Econometrics of Stochastics and Financial Mathematics/Econometrics te volgen, leidend tot twee masterdiploma’s. De masteropleiding Stochastics and Financial Mathematics (SFM) leidt studenten op tot stochasticus op academisch niveau. Ook deze masteropleiding kent een Research- en een Society-variant. De masteropleiding Mathematical Physics ten slotte is de enige zelfstandige opleiding met een wiskundig-fysisch profiel in Nederland. De opleiding beoogt ‘tweetalige’ onderzoekers op te leiden, die zowel met wiskundigen als theoretisch fysici over hun onderzoek kunnen communiceren.

Zowel binnen de masteropleiding Mathematics als de masteropleiding SFM werkt de UvA nauw samen met de gelijknamige opleidingen aan de Vrije Universiteit Amsterdam; ook voor de bacheloropleiding wordt deels samengewerkt. De verwachting is dat de samenwerking voor deze drie opleidingen de komende jaren verder geformaliseerd zal worden. Binnen de masteropleiding SFM wordt ook samengewerkt met de Universiteit Utrecht en de Universiteit Leiden.

De **Vrije Universiteit Amsterdam (VU)** biedt vijf opleidingen wiskunde aan: de bacheloropleidingen Wiskunde en Business Analytics en de Engelstalige masteropleidingen Mathematics, Stochastics and Financial Mathematics (SFM) en Business Analytics. De bacheloropleiding Wiskunde biedt goede studenten de mogelijkheid om een dubbele bachelor Wiskunde/Natuurkunde te behalen en daarnaast de gelegenheid om een Honoursprogramma te volgen. Studenten die kiezen voor een educatieve minor, verwerven een tweedegraads

lesbevoegdheid. De masteropleiding Mathematics kent zeven varianten: Research, Professional, Society, Communication, Biomedic, Education en Teacher. De twee laatstgenoemde varianten stellen studenten in staat een eerstegraads lesbevoegdheid te halen. De masteropleiding Stochastics and Financial Mathematics (SFM) leidt studenten op tot stochasticus op academisch niveau. De opleiding biedt wiskunde-studenten van een aantal Europese universiteiten de mogelijkheid om een *short track* programma van een jaar te volgen (na een jaar masteronderwijs aan de eigen universiteit). De VU werkt voor de opleidingen Wiskunde, Mathematics en SFM samen met de UvA.

De bachelor- en masteropleiding Business Analytics van de VU zijn de enige in hun soort in Nederland en richten zich op de toepassing van wiskunde en informatica in een bedrijfsmatige context. Ze nemen een uitzonderlijke plaats in binnen het universitaire wiskundeonderwijs en zijn om die reden ook apart beschreven in het DSRK. De bacheloropleiding wordt afgerond met een bedrijfscase, waarin studenten een bestaand bedrijfsprobleem analyseren en daarover adviseren. De masteropleiding kent drie specialisaties: Business Process Optimization, Computational Intelligence en Financial Risk Management.

De **Rijksuniversiteit Groningen (RUG)** telt vier wiskunde-opleidingen: de Engelstalige bacheloropleidingen Wiskunde en Technische Wiskunde, en de Engelstalige masteropleidingen Mathematics en Applied Mathematics. Daarmee is de RUG de enige algemene universiteit in Nederland die ook opleidingen in de technische wiskunde aanbiedt – en de enige Nederlandse universiteit die het Engels als voertaal hanteert in de wiskundige bacheloropleidingen. De bacheloropleiding Wiskunde onderscheidt de richtingen Wiskunde Algemeen en Statistiek & Economie. In de bacheloropleiding Technische Wiskunde zijn Computational Science & Numerical Analysis en Systems, Control & Optimization belangrijke aandachtsgebieden. In de bacheloropleiding Wiskunde kunnen studenten een educatieve minor volgen die hen een tweedegraads lesbevoegdheid biedt. Voor bachelorstudenten Technische Wiskunde is deze optie alleen extracurriculair beschikbaar. Beide bacheloropleidingen geven ook toegang tot de masteropleiding Educatie en Communicatie in de Wiskunde en de Natuurwetenschappen, waar studenten een eerstegraads lesbevoegdheid verwerven. Verder kunnen goede studenten van beide opleidingen zich aanmelden voor het universiteitsbrede Honours College of een dubbele bachelor Wiskunde/Natuurkunde volgen. De masteropleiding Mathematics kent een onderzoekvariant en de variant Wetenschap, Beleid en Bedrijf. Binnen de onderzoekvariant kunnen studenten zich specialiseren in Algebra and Geometry, Dynamical Systems and Analysis, of Statistics and Probability. De masteropleiding Applied Mathematics kent dezelfde specialisaties als de bacheloropleiding Technische Wiskunde: Computational Science & Numerical Mathematics en Systems, Control & Optimization.

De **Universiteit Leiden (UL)** biedt twee wiskundeopleidingen aan: de bacheloropleiding Wiskunde en de Engelstalige masteropleiding Mathematics. In de bacheloropleiding Wiskunde biedt de opleiding goede studenten de mogelijkheid aan om een dubbele bachelor Wiskunde/Natuurkunde, Wiskunde/Sterrenkunde of Wiskunde/Informatica te volgen. Ook is een universiteitsbreed Honoursprogramma beschikbaar. Verder kunnen studenten een educatieve minor volgen, waarmee ze een tweedegraads lesbevoegdheid verwerven. De opleiding werkt samen met de bacheloropleiding Technische Wiskunde van de TUD. De masteropleiding Mathematics kent zeven specialisaties. De meeste studenten kiezen voor Applied Mathematics of Algebra, Geometry and Number Theory (ALGANT). De ALGANT-specialisatie is onderdeel van een Erasmus Mundus programma, in samenwerking met zes buitenlandse universiteiten. Verder kent de opleiding de specialisatie Statistical

Science for the Life and Behavioural Sciences, in samenwerking met Wageningen University. Tenslotte kent de opleiding de maatschappij-varianten Mathematics & Education, Mathematics & Science, Communication and Society, en Mathematics & Science-Based Business.

De **Technische Universiteit Eindhoven (TU/e)** biedt twee technische wiskundeopleidingen aan: de bacheloropleiding Technische Wiskunde en de Engelstalige masteropleiding Industrial and Applied Mathematics. Het curriculum van de bacheloropleiding Technische Wiskunde wordt sinds 2012 gradueel gewijzigd vanwege de universiteitsbrede invoering van het Bachelor College, dat ten doel heeft meer verbreding en differentiatie in de Eindhovense bacheloropleidingen te brengen. Voor goede studenten is een verbredend (Honors Horizon) en een verdiepend (Honors Star) Honors programma beschikbaar. Ook kunnen goede studenten een dubbele bachelor Technische wiskunde/Technische natuurkunde of Technische wiskunde/Technische informatica volgen. Door een geschikte invulling van de keuzeruimte kan de tweedegraadsbevoegdheid gehaald worden. In de masteropleiding Industrial and Applied Mathematics kunnen studenten kiezen uit drie specialisaties: Computational Science and Engineering; Discrete Mathematics and Applications; en Statistics, Probability and Operations Research. Ook de masteropleiding biedt een Honors programma aan voor goede studenten. Studenten met belangstelling voor het onderwijs kunnen een bidualomeringstraject volgen met de masteropleiding Science Education and Communication.

Alle bovengenoemde masteropleidingen bieden hun studenten toegang tot het landelijke mastervakkenaanbod in de wiskunde dat wordt verzorgd door het Regieorgaan voor de Masteropleidingen Wiskunde (Mastermath). (Zie Hoofdstuk 2, paragraaf I.)

2. Algemene bevindingen en ontwikkelingen in het vakgebied

I. Herbezinning op landelijk vakkenaanbod Mastermath

Een substantieel deel van het cursorisch gedeelte van de Nederlandse masterprogramma's (Applied) Mathematics bestaat uit vakken die worden aangeboden via het landelijk Regieorgaan voor de masteropleidingen Wiskunde. Mastermath is de naam die ingeburgerd is geraakt voor het onderwijsprogramma dat het Regieorgaan organiseert. Aanleiding voor de oprichting van het Regieorgaan en het ontstaan van Mastermath was het feit dat de opleidingen kampten met lage en teruglopende studentenaantallen. Het doel was toen om op deze manier toch een breed aanbod aan basisvakken voor de masteropleidingen te behouden. Zo konden de diverse instellingen kwalitatief hoogwaardige masteropleidingen in het wiskundedomein blijven aanbieden. Er hebben zich sinds de instelling van Mastermath een aantal ontwikkelingen voorgedaan die nopen tot een herbezinning op de organisatie en de plaats van Mastermath binnen de masteropleidingen op het gebied van de wiskunde.

- Er heeft zich een aanzienlijke stijging in studentenaantallen voorgedaan. Was aanvankelijk het doel 20 tot 25 studenten per cursus, tegenwoordig ligt het gerealiseerde aantal dichterbij de 60.
- Het aantal aangeboden vakken is fors gestegen, van 25 in cursusjaar 2004/2005 naar 43 in cursusjaar 2012/2013.
- Aanvankelijk was het doel om brede cursussen aan te bieden voor beginnende masterstudenten. Dat is veranderd sinds het vakkenaanbod van Mastermath gekoppeld is aan de vier landelijke onderzoeksclusters: DIAMANT (Discrete Interactive and Algorithmic Mathematics, Algebra and Number Theory), NDNS+ (Nonlinear Dynamics of Natural Systems), GQT (Geometry and Quantum Theory) en STAR (Stochastics, Theoretical and Applied Research). Verder wordt een deel van het vakkenaanbod verzorgd door samenwerkingsverbanden zoals 3TU, het LNMB (Landelijk Netwerk Mathematische Besliskunde) en DISC (Dutch Institute of Systems and Control). Ook worden onder de vlag van WONDER, de onderzoeksschool voor de Wiskunde in Nederland, binnen Mastermath cursussen aangeboden voor gevorderde masterstudenten en beginnende PhD-studenten.

De commissie heeft kennis genomen van de ervaringen van studenten met het onderwijsaanbod van Mastermath. Deze informatie en de gewijzigde omstandigheden waren de aanleiding tot een gesprek met de voorzitter, de uitvoerend directeur en de coördinator van het Regieorgaan. Dit heeft geleid tot de onderstaande beschouwing.

Kwaliteitszorg

De informatie die het Regieorgaan krijgt over de ervaringen van studenten loopt via online ingevulde enquêtes, via het e-mailadres complaints@math.leidenuniv.nl en via gesprekken die het Regieorgaan twee maal per jaar heeft met de studentvertegenwoordiging van de opleidingscommissies. Vooral die laatste bron van informatie blijkt heel waardevol te zijn. Klachten via de mail stellen het bestuur in staat om gerezen problemen snel aan te pakken. Te denken valt aan een slecht gepland tentamen of een niet optimaal functionerende docent. De respons op de enquêtes is niet hoog. Het Regieorgaan besteedt aandacht aan het stimuleren van studenten om de enquêtes in te vullen.

Zwaarte van de cursussen

De commissie had eerder bij de bezoeken aan de opleidingen van studenten te horen gekregen dat er nogal verschillen in zwaarte en studielast waren tussen vakken die in principe op die punten gelijk zouden moeten zijn. Over de zwaarte van een cursus blijken bovendien de meningen niet zelden ook nogal verdeeld tussen studenten onderling. Over dezelfde cursus klaagt een deel van de deelnemers dat die te zwaar zou zijn, een ander deel vindt de cursus juist te licht. Wel zijn er globaal gesproken verschillen in zwaarte van cursussen en worden bijvoorbeeld cursussen aangeboden door DIAMANT vaker als zwaar beoordeeld dan cursussen aangeboden door het LNMB. In de enquête over een cursus wordt de student gevraagd hoeveel uren de student aan de cursus heeft besteed. De opgegeven aantallen en de spreiding daarin hanteert Mastermath als een indicatie voor de ervaren zwaarte van de cursus. Naar het oordeel van zowel de commissie als het Regieorgaan is het voor een cursus van 8 EC goed, gegeven de verschillen in talent en voorkennis van de betreffende studenten, als de studenten aangeven tussen de 150 en 225 uur te hebben besteed aan de cursus. Aangezien de afhakkers bij de enquête ondervertegenwoordigd zijn, is het — zeker bij een groot percentage afhakkers — ook van belang te weten hoe zij de zwaarte van de cursus hebben ervaren.

Informatie over het onderwijs

De commissie hoorde dat het soms moeilijk was om van te voren in te schatten welke voorkennis vereist werd voor een cursus. Soortgelijke geluiden waren ook bij het dagelijks bestuur van het Regieorgaan gekomen. Op dit punt schiet de informatie op de site in die gevallen duidelijk te kort. De voorkennis is dan bijvoorbeeld te summier of te veel in algemene termen beschreven, bijvoorbeeld als 'het is handig enige kennis te hebben van het gebied XYZ'. Als dan blijkt dat de cursus vanaf de start voor iedereen eisen stelt die de beschikbare tijd vullen, dan komen studenten die de 'enige kennis van XYZ' niet paraat hebben meteen in moeilijkheden, zeker als het huiswerk deel uitmaakt van de toetsing. Dit probleem is grotendeels te verhelpen door preciezer de verwachte voorkennis te omschrijven. Dan kan immers de lokale adviseur op de instelling van de student helpen bij het van te voren verwerven van de voorkennis. De commissie beveelt Mastermath aan van docenten te eisen dat de informatie over benodigde voorkennis tijdig, bijvoorbeeld ten minste drie maanden voor aanvang van de cursus, beschikbaar is en precies is omschreven aan de hand van algemeen beschikbare literatuur. Ook is gewenst dat er op iedere instelling ondersteuning voor studenten beschikbaar is die kan inschatten wat voor een specifieke student een keuze uit het aanbod van Mastermath is die aan de mogelijkheden van die student recht doet.

In de loop van de jaren is het aantal cursussen flink gestegen. De structuur van de inbreng van de onderwerpen is ook veranderd. In de beginfase werd de inhoud van een cursus bepaald door een vakteam, waarvan uit elk van de deelnemende instellingen een docent deel uitmaakte. Nu komen de voorstellen voor de inhoud van de cursussen uit de clusters en andere grotere gremia. Daardoor is het minder duidelijk geworden hoe de instellingen zicht hebben op de inhoud van een cursus. Een belangrijk voordeel aan de andere kant is dat de grotere gremia de wenselijkheden en mogelijkheden op hun deelgebied van de wiskunde overzien en zo in staat zijn een weloverwogen meerjarenplan voor het aanbod te presenteren. Dat zorgt er voor dat studenten de keuzevrijheid in hun masterprogramma op een goede manier kunnen benutten. De commissie beveelt aan een voor studenten zichtbare meerjarenplanning te maken en dat er voor ieder vakgebied/gremium een vertegenwoordiger is die als aanspreekpunt voor het bestuur van Mastermath kan fungeren. Te overwegen valt ook om weer per cursus met een vakteam te werken ter bepaling van de inhoud van de cursus.

Toetsing

Er zijn door Mastermath regels opgesteld voor de toetsing. Die regels zijn te vinden op de site mastermath.nl. De commissie stelt vast dat het in de eerste plaats noodzakelijk is bij alle vormen van toetsing van iedere individuele student te kunnen vaststellen of hij/zij de leerdoelen van het vak heeft bereikt. Bij bijvoorbeeld uitsluitend beoordelen op basis van ingeleverd thuis gemaakt werk is dat niet volledig te garanderen. Ook niet als nauwkeurig wordt gecontroleerd dat studenten geen overgeschreven werk kunnen inleveren. Als een individuele presentatie voor de docent of een breder gehoor wordt gegeven, dan kan dat wel in voldoende mate. Het bezwaar dat dit de werkomvang voor de docent naast al het beoordelingswerk van huiswerk erg groot kan maken, noopt tot goed nadenken over de vorm. De commissie beveelt aan om bij toetsing middels huiswerk aan het ingeleverde werk een controleerbare individuele prestatie te koppelen. De regels en richtlijnen van Mastermath zouden dit voldoende scherp moeten eisen.

Bij toetsing door middel van schriftelijke tentamens is het op dit moment niet voor aanvang van het semester duidelijk wat de data van de tentamens zijn. Met vrij grote studentenaantallen is het in de praktijk niet meer mogelijk op een later tijdstip een planning te maken die alle studenten recht doet. Bij tijdige informatie kunnen studenten mogelijk de tentamenplanning op hun eigen instelling beïnvloeden, waar het immers in de regel om kleinere aantallen studenten gaat. In geval van onverenigbare data kan de student de eigen plannen aanpassen. De commissie beveelt aan dat ruim voor de aanvang van de cursus de data van eventuele schriftelijke tentamens bekend zijn en dat daarbij binnen het aanbod van Mastermath een optimale spreiding van tentamendata is. Dat laatste biedt studenten de mogelijkheid om bij planningsproblemen alternatieve vakken te kiezen.

Reacties op gestegen studentenaantallen

De instroom in de masteropleidingen (Applied) Mathematics is de laatste jaren sterk gestegen en zullen gezien de hogere instroom in de bacheloropleidingen verder stijgen. De initiële doelstelling van Mastermath, het geven van cursussen voor gemiddeld 25 beginnende masterstudenten, is op zich niet meer een motivatie om cursussen centraal onder de vlag van Mastermath te geven. Aan de andere kant is de gezamenlijke beschikbare staf voor de masteropleidingen (Applied) Mathematics in Nederland de laatste tien jaar niet gegroeid. Per saldo is de beschikbare staf per student dus afgenomen (zie hierover ook Thema IV). Samenwerking is meer dan ooit nodig om het kwalitatief hoogstaande aanbod van onderwijs in de masteropleidingen te behouden. Nu studentenaantallen stijgen tot bijvoorbeeld 89 studenten bij een cursus 'Elliptic Curves', komt de vraag naar boven of andere organisatievormen voor het onderwijs in Mastermath niet beter zijn dan de huidige. We noemen in een willekeurige volgorde een paar mogelijkheden die naar de mening van de commissie het onderzoeken waard zijn.

1. Een cursus gelijktijdig op verschillende plaatsen aanbieden door inzet van meer docenten.
2. Een cursus herhalen in een opvolgend semester en dus twee maal per jaar geven.
3. Een cursus op een voor video-streaming geschikte plaats geven en op andere plaatsen lokale of regionale ondersteuning organiseren.
4. Een cursus opnemen op video en voor studenten beschikbaar stellen. Daarbij hoort dan wel een regionaal of misschien zelfs lokaal georganiseerde ondersteuning, bijvoorbeeld in de vorm van een werkcollege.

Uiteraard kan ook aan een combinatie van de genoemde mogelijkheden worden gedacht.

Het voordeel van bovenstaande opties is dat minder strak hoeft te worden vastgehouden aan de locaties UU, UvA en VU. Dat zou een groot voordeel zijn voor studenten van opleidingen buiten de Randstad. Immers, de verdeling van de instroom, met name die van buitenlandse studenten, wordt beïnvloed door de locatie van het onderwijs. In dit verband is het belangrijk op te merken dat de kwaliteit van het aanbod in Mastermath inderdaad studenten uit het buitenland aantrekt. Ook maken de genoemde onderwijsvormen de samenwerking minder afhankelijk van het voortbestaan van de ov-studentenkaart.

Een schaduwkant van gedecentraliseerd onderwijs en van cursussen op downloadbare videopresentaties is dat het minder voor de hand liggend is dat banden ontstaan tussen studenten van verschillende instellingen. Ook zal het contact tussen de docent en de studenten dan afnemen, met name als docent en student niet van dezelfde instelling afkomstig zijn. Daarenboven moet de beoordeling goed gecoördineerd worden om die locatieafhankelijk te laten zijn. Verder moet er op iedere instelling per cursus een aanspreekpunt zijn dat – afhankelijk van het gekozen model - een behoorlijk omvangrijke taak moet vervullen.

Elk van de genoemde mogelijkheden zal de kosten voor het onderwijs onder de vlag van Mastermath hoger maken. Gezien de lage kosten op dit moment, ongeveer 60 k€ per jaar, lijkt er financiële ruimte om andere vormen van onderwijs in te passen. Een groot knelpunt is en blijft evenwel de omvang van de beschikbare wetenschappelijke staf.

II. Profilering en indeling van de opleidingen

In het Domein Specifieke Referentiekader (DSRK) zijn eisen aan de vakinhoud van de opleidingen beschreven. Ieder van de bezochte opleidingen geeft aan de opleiding een inkleuring die de eigen onderzoeksexpertise in de wiskunde van de aanbieder instelling reflecteert. De TUD, UT en TU/e hebben afspraken over de verdeling van de expertise op het gebied van de (toegepaste) wiskunde over de drie instellingen, en de daaruit voortvloeiende verschillen zijn herkenbaar in de masteropleidingen en in mindere mate ook in de bacheloropleidingen. Ook de opleiding Applied Mathematics van de RUG heeft een herkenbare band met de expertise in de toegepaste wiskunde van die universiteit. Bij de algemene universiteiten zijn er geen expliciete afspraken over de verdeling van de onderzoeksexpertise over de universiteiten. Desondanks is een blik op het overzicht van de betrokkenheid van de instellingen bij de vier onderzoeksclusters voldoende om in te zien dat wel degelijk iedere universiteit een eigen onderzoeksprofiel heeft.¹ Die onderzoeksexpertise is ook bij alle universiteiten herkenbaar in de opleidingen, sterker bij de masteropleidingen dan bij de bacheloropleidingen.

Voor aspirant bachelorstudenten is het belangrijk in te zien wat het verschil is tussen een opleiding Technische Wiskunde en een opleiding Wiskunde. Dat is niet eenvoudig uit te leggen, omdat ook een opleiding Wiskunde een belangrijk toegepast karakter kan hebben. De opleiding Wiskunde in Leiden en de opleiding Technische Wiskunde in Delft delen het eerste jaar en de student kan dus in die fase nog het verschil ontdekken en de eigen ontwikkelde voorkeur volgen vanaf het tweede jaar. De Rijksuniversiteit Groningen biedt zowel Wiskunde als Technische Wiskunde als bacheloropleiding aan. In het eerste jaar overlappen die opleidingen sterk. Dat schept een situatie zoals die ook bestaat in de samenwerking tussen

¹ Zie hierover ook Platform Wiskunde Nederland, *Formulas for Insight and Innovation. Mathematical Sciences in the Netherlands* (Amsterdam 2014) 32.

Leiden en Delft en heeft daarmee ook de voordelen van die vorm van organisatie. Afgezien van het verschil tussen Technische Wiskunde en Wiskunde wordt in de voorlichting aan aspirant bachelorstudenten door de opleidingen betrekkelijk weinig aandacht besteed aan de inhoudelijke accentverschillen tussen de opleidingen. Dat is redelijk, omdat die verschillen bij de keuze van studenten in die fase ook nauwelijks een rol kunnen spelen. Voor de keuze van een masteropleiding is informatie over de in de opleiding gereflecteerde onderzoekexpertise van de staf belangrijker. Daarom krijgen de verschillen meer aandacht bij de presentatie van de masteropleidingen. Aan de andere kant biedt Mastermath ook de mogelijkheid voor studenten om binnen de opleiding kennis te verwerven die op de eigen universiteit niet aangeboden wordt. Dit heeft er toe geleid dat studenten er zelden voor kiezen om na afronding van hun bacheloropleiding aan een andere universiteit een masteropleiding te volgen.

De commissie is geen voorstander van het inrichten van aparte masteropleidingen voor afstudeervarianten die goed in te passen zijn binnen de bestaande brede opleidingen (Applied) Mathematics. Een brede masteropleiding met verschillende afstudeervarianten of -richtingen geeft studenten de kans om ook in de master nog te evolueren in zijn belangstelling. Aan de andere kant schept een aparte opleiding de mogelijkheid eigen instroomeisen te stellen. De noodzaak daartoe is naast een eigen doel voor de opleiding allicht een geldige reden om te kiezen voor een aparte opleiding. We gaan hier niet in op doelmatigheidseisen die instellingen of de overheid aan een nieuwe opleiding stellen.

Binnen het wiskundedomein is er een vijftal aparte opleidingen, waaraan we hieronder aandacht besteden.

De bachelor- en masteropleidingen Business Analytics aan de VU onderscheiden zich van de opleidingen Wiskunde en Technische Wiskunde door een multidisciplinair karakter met grote componenten informatica en bedrijfseconom(etr)ie. De bacheloropleiding Business Analytics wordt gerekend tot het wiskundedomein, maar is geen wiskundeopleiding. In het DSRK worden de landelijke eisen voor een dergelijke opleiding apart beschreven. De toelatingseisen voor de masteropleiding Business Analytics onderscheiden zich van die voor de masteropleiding Mathematics door de eisen op het gebied van de informatica en economie. In de afgelopen decennia heeft deze multidisciplinaire opleiding een eigen plaats in het palet van opleidingen rond de wiskunde verworven en zijn nut voor de arbeidsmarkt bewezen.

De masteropleidingen Stochastics and Financial Mathematics (SFM) aan de VU en de UvA werken samen in het aanbod van onderwijs met de opleidingen Mathematische Wetenschappen van de Universiteit Utrecht en Mathematics van de Leidse Universiteit. In Utrecht en Leiden kunnen studenten een afstudeertraject volgen dat grotendeels overlapt met SFM. Het is ook voor masterstudenten Mathematics aan de VU of de UvA mogelijk om zich te specialiseren op de onderwerpen stochastiek en financiële wiskunde. De vraag dringt zich op hoe de gespecialiseerde en in studentenaantal relatief kleine opleiding SFM zich verhoudt tot de brede masteropleiding Mathematics aan de VU en de UvA. De instroom in SFM is beperkt van omvang en wordt gekenmerkt door een relatief hoog aantal buitenlandse studenten, voor de VU en de UvA een belangrijke reden om de opleiding SFM te handhaven. De instroomeisen voor SFM omvatten, anders dan die voor Mathematics, specifieke eisen over kennis van stochastiek en maattheorie. Bovendien hebben studenten aangegeven dat de keuze voor de masteropleiding SFM zeer bewust was en met name ingegeven werd door de specifieke benaming van het diploma. Daarop wordt de masteropleiding Stochastics and Financial Mathematics vermeld en niet de bredere masteropleiding Mathematics. De commissie acht het mogelijk dat de afweging tussen het handhaven van de opleiding SFM als

aparte opleiding en het inbedden als een afstudeerrichting binnen Mathematics op den duur naar de tweede mogelijkheid tendeeft. De commissie ziet dat in de huidige omstandigheden als een logische ontwikkeling.

De Universiteit van Amsterdam biedt ook de masteropleiding Mathematical Physics aan. Die opleiding richt zich op het opleiden van wetenschappelijke onderzoekers. De opleiding heeft een theoretisch en ambitieus profiel. De opleiding stelt hoge toelatingseisen en is selectief. Dit maakt dat de opleiding een eigen plaats verdient. Aan de andere kant is het aantal studenten gering. De commissie deelt met de instelling de hoop en verwachting dat de instroom, met name die van buitenlandse studenten, de komende jaren zal stijgen.

Binnen de opleiding Mathematics aan de Universiteit Leiden bestaat de afstudeerrichting Statistical Science for the Life and Behavioural Sciences. De richting wijkt relatief sterk af van de andere afstudeerrichtingen. Er zijn specifieke en afwijkende doelstellingen. Ook de toelatingseisen voor studenten die niet een bachelordiploma Wiskunde hebben, zijn anders geformuleerd. Als de afstudeerrichting een aparte masteropleiding wordt, dan is het een opleiding met aparte instroomeisen en een aparte doelstelling en eindtermen. Op die manier ontstaat een sterke opleiding met een profiel dat aansluit bij opleidingen Statistics zoals die in het buitenland bestaan. De commissie meent dat dit een betere situatie geeft dan de huidige positie als afstudeerrichting binnen Mathematics die zij ziet als een opstap naar de instelling van een aparte opleiding.

Er is een hechte samenwerking tussen de wiskundeopleidingen van de VU en de UvA. Er is sprake van een gezamenlijk aanbod van colleges. Die samenwerking gaat zo ver dat het onderwijsaanbod aan deze instellingen voor zowel de masteropleidingen Mathematics als de masteropleidingen Stochastics and Financial Mathematics identiek is. Formeel gaat het om verschillende opleidingen. De commissie acht een verder gaande integratie een natuurlijke ontwikkeling.

III. Universitaire opleidingen tot wiskundeleraar

De commissie heeft met instemming kennis genomen van het rapport *Formulas for insight and innovation* van het Platform Wiskunde Nederland (PWN). Daarin wordt het belang van de wiskunde voor de maatschappij beschreven en worden aanbevelingen gedaan voor het wiskundeonderwijs, secundair en universitair:

Mathematics as a school subject also plays a key role in awakening curiosity and interest in questions of a scientific and technological nature. A strong mathematical foundation is critical to the success of an advanced economy.

Over het opleiden van wiskundeleraren vermeldt dit rapport:

In secondary education, the teachers are the ambassadors of thought and learning. At present, the large majority of high school teachers are educated at teacher academies, not at universities. The universities should view it as their mission to resume their role in educating first-level high school teachers. This will require a reshaping of the current curriculum. After a bachelor degree in, e.g., mathematics, the master program should be structured in a flexible and attractive way.

Deze visie sluit aan bij het actieplan van de VSNU² en wordt door de commissie van harte onderschreven. Hieronder gaat de commissie in op enkele organisatorische aspecten van de opleidingen tot leraar wiskunde aan de universiteiten.

Overzicht

Alle negen instellingen bieden in de bacheloropleidingen een educatieve minor aan. Bij een groot deel van de bacheloropleidingen, maar niet bij alle, kan de student door het afronden van de studie inclusief een educatieve minor reeds een tweedegraads lesbevoegdheid verwerven. De commissie juicht het toe dat een afgestudeerde bachelorstudent Wiskunde of Technische Wiskunde de mogelijkheid heeft om bij het bachelordiploma een lesbevoegdheid te krijgen.

Voor het verwerven van een eerstegraads lesbevoegdheid Wiskunde worden verschillende trajecten aangeboden na de bachelor (Technische) Wiskunde. Enerzijds zijn er de Educatieve varianten van de masteropleiding (Applied) Mathematics, anderzijds zijn er wiskundesparen binnen de opleidingen 'Science Education and Communication'. Sommige instellingen bieden beide mogelijkheden aan. Bij een deel van de instellingen moeten studenten ook de educatieve minor uit de bacheloropleiding hebben afgerond om in de educatieve variant van de masteropleiding (Applied) Mathematics de eerstegraads lesbevoegdheid te behalen. Die afronding geschiedt bij voorkeur binnen de bacheloropleiding. Ook na de masteropleiding bieden universiteiten verschillende mogelijkheden om een eerstegraads bevoegdheid te verwerven, zoals de postmasteropleiding Leraar Voorbereidend Hoger Onderwijs (LVHO). De commissie laat deze opties hier verder buiten beschouwing en concentreert zich op de opties binnen de initiële opleidingen.

In alle gevallen wordt na de bachelor (Technische) Wiskunde ook in de opleiding, die leidt tot een lesbevoegdheid in de wiskunde voor het VWO, de kennis van de studenten van het wetenschapsgebied wiskunde vergroot.

	Educatieve minor (tweedegraads lesbevoegdheid)	Educatieve variant in master (eerstegraads lesbevoegdheid)	Science Education and Communication (eerstegraads lesbevoegdheid)
TUD	x	x	x
RU	x	x	
UT	x	x	x
UU	x		x
VU	x	x	
UvA	x	x	
RUG	x		x
UL	x	x	
TU/e	x		x

Observaties en adviezen

Een belangrijke constatering is dat het aantal studenten wiskunde dat gebruik maakt van de mogelijkheid een lesbevoegdheid te verwerven zowel absoluut als in relatie tot het totale aantal wiskundestudenten zeer klein is. Dat is een fundamenteel probleem omdat dit aantal studenten aan universitaire lerarenopleidingen volstrekt onvoldoende is om te kunnen voorzien in de vraag naar goed gekwalificeerde leraren voor het onderwijs op het niveau van HAVO en VWO.

² VSNU, *Actieplan lerarenagenda Nederlandse universiteiten*, (Utrecht 2013).

De opleidingen (Technische) Wiskunde besteden in het algemeen aandacht aan de beroepsperspectieven en keuzes binnen de opleiding. In dat kader past ook aandacht voor de educatieve minor en de mogelijkheden om de masterstudie (ook) te besteden aan het verwerven van een eerstegraads lesbevoegdheid. De commissie geeft in overweging studenten meer de kans te geven kennis te maken met het geven van onderwijs. Dat kan bijvoorbeeld door studenten als studentassistent bij onderwijs te betrekken. Ook een student die tutor is en een begeleidingstaak heeft voor jongere studenten kan op die manier enthousiast worden voor een loopbaan binnen het onderwijs. Studenten die de educatieve minor in hun studie opnemen, doen in die minor vaak ook ervaring op met lesgeven op de middelbare school. Maar die studenten hebben dan door hun keuze hun belangstelling voor onderwijs al kenbaar gemaakt.

De commissie is voorstander van een nauwe relatie tussen de opleidingen Wiskunde en de opleiding tot leraar wiskunde: eerstegraads en master, tweedegraads en bachelor. In sommige landen, zoals Duitsland en Finland, is de opleiding tot leraar voorbehouden aan de universiteiten. Door de meer directe band tussen onderwijs en onderzoek is er in die landen een beter uitgangspunt voor het op peil brengen en houden van de kwaliteit van het secundaire onderwijs. De commissie acht het van groot belang dat ook in Nederland de opleiding tot wiskundeleraar (eerste- en tweedegraads) primair op de universiteiten geschiedt. Voor een goede voorbereiding op dit beroep zijn wiskundeopleidingen nodig met een breed aanbod van cursussen. Voor VWO en HAVO is er in Nederland aan uitstekend lesmateriaal voor wiskunde geen gebrek. Het bedroevende is dat het weinig wordt gebruikt. Er zijn leraren nodig die dit wel willen en kunnen gebruiken, leraren die daar het belang van zien.

Momenteel zijn er aan alle universiteiten met wiskundeopleidingen varianten die opleiden tot het beroep van leraar (zie het overzicht op pagina 20). Voor de opleiding tot leraar is het gewenst dat er cursussen worden geboden die bijdragen tot de 'algemene wiskundige ontwikkeling' van de student, cursussen die ook kunnen fungeren als een verbreding van tracks die gericht zijn op onderzoek. Het is voor de instellingen die een opleiding tot eerstegraads leraar wiskunde aanbieden niet eenvoudig om in nauwe relatie met de opleiding Wiskunde een adequaat en toegespitst aanbod te realiseren. Immers aan de ene kant zijn de aantallen studenten in de opleiding tot leraar wiskunde klein tot zeer klein en aan de andere kant eisen de opleidingen (Technische) Wiskunde en (Applied) Mathematics ook nu al de volle inzet van de staf. De oplossing kan alleen komen uit vergroting van de beschikbare onderwijscapaciteit. Een efficiënte organisatie van dit onderwijs onder de vlag van Mastermath kan de vraag naar extra capaciteit realiseerbaar maken. De commissie beveelt aan om in overleg tussen de instellingen onder de vlag van Mastermath een aanbod aan wiskundeonderwijs te realiseren dat gericht is op de opleiding tot eerstegraads leraar.

De commissie acht een verblijf van vijf jaar aan de universiteit voldoende om naast het verwerven van voldoende vakinhoud voor een master wiskunde ook de opleiding tot leraar wiskunde te voltooien. In een enkel geval is er bij een instelling op de weg naar een lesbevoegdheid wiskunde binnen vijf jaar een obstakel in de vorm van instroomeisen bovenop de eis dat de student een bachelordiploma in de wiskunde heeft behaald. De commissie raadt de instellingen aan dat soort eisen te vermijden.

IV. Passend onderwijs voor groeiende studentenaantallen

Alle gevisiteerde opleidingen hebben te maken met groeiende studentenaantallen. Dat is een prettige uitgangspositie, maar die is niet zonder uitdagingen. Allereerst valt op dat de stafbezetting vooralsnog niet is meegegroeid met het aantal studenten. Ter illustratie enkele cijfers.³ Het aantal beginnende wiskundestudenten daalde aanvankelijk van 427 in 1988 naar 153 in 2002, om vervolgens weer te stijgen tot 591 studenten in 2012 en 673 in 2013. De wetenschappelijke staf is echter alleen maar in omvang gedaald: van ongeveer 150 in 1988 naar onder de 100 in 2002. Hoewel studentenaantallen sindsdien stegen, bleef het aantal docenten ondanks de extra staf gefinancierd via de onderzoeksclusters slechts min of meer stabiel over de periode 2003 tot 2013.

Het rapport *Formulas for insight and innovation* van PWN concludeert uit die cijfers:

The decline in mathematics student numbers that started in 1989 has led to a reduction in mathematics staff by forty percent overall. The growth of student numbers since 2002 is a positive development for the mathematical sciences and for society as a whole. However, it has not been matched by an increase in staff, in spite of appointments from cluster funds. The quality of research, teaching and student guidance is at stake.

Het rapport geeft daarop de volgende aanbeveling:

Expand the mathematics staff in academia by at least fifty percent, in order to balance the primary tasks of teaching and research, and to safeguard their quality.

De commissie ondersteunt deze aanbeveling met overtuiging.

De commissie heeft door het hele land heen als sterke punten benoemd dat de opleidingen kleinschalig georganiseerd zijn, met een toegankelijke staf en met enthousiaste studenten en docenten. De commissie heeft voorafgaand aan de bezoeken veel afstudeerwerken bestudeerd en daarbij veel uitstekend werk van studenten onder ogen gekregen. Handhaven van de kwaliteit van het bereikte eindniveau in de opleidingen vraagt bij stijgende studentenaantallen een toename in de inspanningen van de wetenschappelijke staf voor het onderwijs. De commissie acht het niet mogelijk die inspanning te realiseren zonder uitbreiding van de wetenschappelijke staf. Toch heeft de commissie bij de opleidingen daarnaast ook nog andere goede voorbeelden gezien van maatregelen om de effectiviteit van de inzet van de wetenschappelijke staf voor grotere groepen studenten enigszins te vergroten. We noemen hieronder enkele voorbeelden van een 'good practice', maar onderstrepen dat deze maatregelen niet het basale probleem van een lage personele bezetting kunnen oplossen. Niet alleen zijn de studentenaantallen gestegen, ook is sinds de invoering van de bacheloreindprojecten het takenpakket voor docenten aanzienlijk uitgebreid.

Eerstejaaronderwijs

De opleidingen zijn ingericht op het door training ontwikkelen van het talent van de student om kennis van en inzicht in wiskunde te verwerven en die kennis actief in te zetten. Dat impliceert dat de opleiding van de student verlangt dat die een actieve rol speelt in de ontwikkeling van zijn of haar talent op het gebied van de wiskunde. De opleidingen trachten daarom de wiskunde zo te presenteren dat de motivatie van de student om actief met de studie bezig te zijn wordt versterkt. Een alom gebruikt middel is de studenten te begeleiden in

³ De cijfers zijn ontleend aan: Platform Wiskunde Nederland, *Formulas for insight and innovation* 32-33.

mentoraat- of tutoraatgroepjes van studenten, in het algemeen tussen de vier en tien studenten groot, die gezamenlijk onder leiding van een studentmentor of -tutor de studie bespreken. Aan de UvA leert men in die context groepjes van vier studenten samenwerken aan wiskundige opdrachten en opgaven. Door die groepjes in de eerste drie à vier weken willekeurig samen te stellen, ontstaat daar een klimaat waarin studenten gemotiveerd zijn om actief met de studie bezig te zijn en hiervoor met hun peers samen te werken. De tutores zijn studentassistenten en worden voor hun taak getraind. Dit heeft geleid tot een verbeterde studiehouding. Bij andere instellingen komen vergelijkbare varianten voor. Om deze intensieve begeleiding te bekostigen is de inschakeling van student(assistent)en een beproefde en relatief goedkope maatregel. Een nadeel is dat de kwaliteiten van student(assistent)en voor zo'n taak uiteen kunnen lopen. Dat geldt trouwens niet alleen voor studenten, maar voor iedere vorm van inschakelen in het onderwijs van relatief onervaren personen, zoals AIO's. Aan de andere kant leveren makkelijk bereikbare studentassistenten een laagdrempelige toegang tot hulp voor studenten. Dat draagt bij aan de kwaliteit van het onderwijs. De commissie vond in dit verband de kamer voor de studentassistenten, zoals die in Leiden werd aangetroffen, een goed idee.

Bachelorprojecten

Met de invoering van de bachelor-master structuur voor universitaire studies zijn die studies opgedeeld in twee opleidingen die beide een afronding behoeven. De vormgeving van eindprojecten voor bacheloropleidingen is bij de meeste instellingen nog niet geheel uitgekristalliseerd. De instelling van deze eindprojecten gaat gepaard met een aanzienlijke toename van de gewenste inzet van de staf bij het begeleiden van deze projecten. De stijgende studentenaantallen zetten druk op individuele begeleiding bij projecten. De commissie acht die vorm van contact tussen de student en de docent in het kader van het "meester-gezel" model in het universitaire wiskundeonderwijs essentieel. De commissie trof in de organisatie van de bacheloreindprojecten op diverse plaatsen elementen aan die het navolgen waard zijn. Het bacheloreindproject wordt bij veel opleidingen ingebed in een bachelorseminarium of bachelorprojectklas. Bij die vormen van organisatie kunnen studenten – naast de individuele begeleiding die zij van hun afstudeerdocent ontvangen – van elkaar leren, elkaar inspireren en de communicatieve aspecten van kennisoverdracht op elkaar oefenen. Bovendien worden de algemene eisen waaraan bijvoorbeeld het verslag moet voldoen niet individueel onderwezen maar aan een groep studenten gelijktijdig. Dat is niet alleen efficiënt maar verhoogt ook de kwaliteit. Bij Thema V hieronder gaan we in meer detail in op de organisatie rond bacheloreindprojecten. Bij de bacheloropleidingen zijn ook in een eerder stadium projecten ingeroosterd. Ook voor die projecten is een efficiënte vorm van organisatie gewenst en kan een werkvorm, die op een bachelorklas lijkt, bijdragen aan de effectiviteit van de stafinzet.

Cursorisch deel van de masteropleidingen

In de masteropleidingen voorziet Mastermath in een deel van de extra efficiëntie die nodig is om de kwaliteit van de opleidingen op peil te houden bij stijgende studentenaantallen. Maar door de toenemende studentenaantallen zal ook de inspanning voor Mastermathonderwijs toenemen, terwijl daar weinig efficiëntiewinst te boeken valt. Voor meer details op dit punt leze men de paragraaf over Mastermath.

Masterscripties en masterprojecten

De individuele begeleiding die bij afstudeerprojecten in de masteropleidingen gebruikelijk en noodzakelijk is, maakt dat de door de wetenschappelijke staf te besteden tijd aan afstudeerprojecten ongeveer evenredig met het aantal studenten stijgt. We nemen daarbij aan dat de maatschappelijke behoefte aan een hoge kwaliteit van de afgestudeerde wiskundigen onverminderd zal blijven. Het bovengenoemde rapport van PWN voert daar tal van

argumenten voor aan. De commissie wil ervoor waarschuwen dat voor een goede, individuele begeleiding van masterscripties met de huidige personele bezetting op niet al te lange termijn een ernstig knelpunt dreigt te ontstaan.

V. Afstudeerprojecten

Deze visitatiecommissie heeft – meer dan haar voorgangers – aandacht besteed aan de kwaliteit en kwaliteitsborging van de afstudeerprojecten, vanwege het toenemende belang dat de NVAO daaraan hecht.

De commissie trof veel goede afstudeerwerken aan. De judicia varieerden van juist voldoende tot uitmuntend. De meerderheid werd met goed tot een enkele keer zelfs uitmuntend, een 10, beoordeeld. Een klein deel was voldoende en niet meer dan dat. Bij zulk werk bestaat de neiging van de beoordelaars om een wat hoger judicium dan 6 toe te kennen. De commissie dringt er bij de opleidingen op aan niet aan die neiging toe te geven. In het algemeen kon de commissie zich goed vinden in de gegeven judicia.

De commissie vond dat zeker voor de bachelorprojecten de inbedding van de eindprojecten in de opleiding nog geen vanzelfsprekende vorm heeft gevonden: er zijn behoorlijke variaties in omvang (in EC) en traject. Hieronder beschrijft de commissie overwegingen en ideeën voor de vorm en organisatie van het afstuderen voor respectievelijk de bachelor- en de masteropleiding.

Bachelor

Bij de meeste opleidingen is het afstudeerwerk van de bacheloropleiding individueel werk. Bij een tweetal opleidingen is er voor gekozen ook teamwerk in het afstudeerwerk te betrekken en te beoordelen. Beide opleidingen besteden aandacht aan het individuele aspect van de eindbeoordeling. De commissie raadt aan er voor te zorgen dat het zicht op de prestaties van de individuele deelnemers aan zo'n project niet vervaagt.

De omvang van het afstudeerwerk van de bacheloropleiding bedraagt tussen de 7,5 en 18 EC. De organisatie varieert van individueel werk, dat begint op het moment dat de student daar aan toe is, tot een afstudeerklas of bachelorseminarium aan het eind van het derde bachelorjaar waaraan iedere student deelneemt die aan het afstudeerproject werkt. Die eerste, losse onderwijsvorm heeft als nadeel dat het voor de opleiding lastig is zicht te houden op de vorderingen van de studenten met het afstudeerwerk en eventuele problemen daarmee tijdig te signaleren. Ook hebben studenten weinig zicht op waar medestudenten aan werken. Aan de andere kant is het eenvoudig te organiseren dat het afstudeerwerk daadwerkelijk het laatste onderdeel van de bacheloropleiding vormt.

In de vorige paragraaf noemden we al dat een afstudeerklas of bachelorseminarium als voordelen heeft dat de studenten ervaringen kunnen uitwisselen en elkaar inspireren, voor elkaar hun werk kunnen presenteren, ook tussentijds, en gezamenlijk instructie kunnen krijgen over de vorm van en eisen aan de afstudeerscriptie en andere aspecten van de projecten. Een nadeel van een vaste periode in het jaar voor afstudeerwerk is dat het afstudeerwerk aan het einde van de opleiding hoort. Indien een student vertraging heeft opgelopen, zal in de regel het afstudeerwerk niet het laatste onderdeel van de opleiding zijn. De commissie constateerde dat het voor kwam dat een student pas meer dan een jaar na het afronden van het afstudeerproject het diploma verkreeg. De commissie raadt daarom aan om aan de toelating tot het afstudeerwerk en de bijbehorende onderwijsvorm eisen te stellen in termen van afgeronde opleidingsonderdelen of minimale aantallen behaalde EC.

Een aandachtspunt bij de bachelorprojecten is dat studenten die overwegen na afronding van de bacheloropleiding het onderwijs in te gaan, niet overvraagd worden door eisen die gericht zijn op studenten die een loopbaan in het (wetenschappelijk) onderzoek voor ogen hebben. De afstudeerfase van de bachelor en in het bijzonder de bachelorprojectklas of het bachelorseminarium zou ook een plaats voor de studenten kunnen zijn om voor te sorteren voor een latere studiecarière door de keuze van hun project. Denk daarbij aan het richten van de (vervolg-)opleiding op een loopbaan als docent VWO, onderzoeker, wiskundige in een bedrijfs- of overheidsfunctie of het kiezen van een opleiding buiten de wiskunde.

Het oordeel over het afstudeerwerk in de bacheloropleiding wordt als regel door ten minste twee docenten vastgesteld. Het is lang niet overal zo dat de Examencommissie daar direct bij betrokken is. In het algemeen is het echter wel raadzaam dat de Examencommissie ten minste steekproefsgewijs de judicia toetst om zo de kwaliteit van het behaalde eindniveau te borgen. Daarvoor is nodig dat het judicium transparant tot stand komt. Een goed beoordelingsformulier, met oordelen voor diverse aspecten en ruimte voor een (verplichte) korte toelichting lijkt daarvoor eigenlijk onmisbaar. Ook de commissie begreep de gegeven oordelen eenvoudiger als er zo'n goed ingevuld beoordelingsformulier met toelichting beschikbaar was.

Master

Er zijn, voor wat in dit rapport verder afstudeerproject zal heten, diverse namen in de omloop. We noemen als voorbeelden Final Project en Final Research Project. De omvang van het afstudeerproject bedraagt in het algemeen ongeveer 40 EC. Dat is inclusief de scriptie, die bij enkele opleidingen een apart toegekend aantal studiepunten heeft. De variatie is van 30 EC tot 50 EC. Enkele opleidingen laten variatie in omvang tussen de projecten toe door studenten de keuze te bieden het project al dan niet te combineren met een stage.

Aard van het afstudeerproject. Er zijn verschillende vormen voor het afstuderen, zoals een afstudeerstage, een afstudeerproject of -onderzoek binnen de afdeling/het instituut of soms ook een combinatie van die mogelijkheden. De commissie adviseert om studenten verschillende mogelijkheden te bieden. Dit ook omdat met toenemende aantallen studenten afstudeerprojecten buiten de universiteit een welkome aanvulling kunnen zijn. Uiteraard dient de opleiding er voor te zorgen dat door de binnen de opleiding aanwezige expertise de kwaliteit van de externe projecten gegarandeerd wordt. Vrij algemeen kiezen studenten onderwerpen uit hetgeen de opleiding actief aanbiedt. Maar soms draagt een student een onderwerp aan. De commissie adviseert die mogelijkheid open te laten, uiteraard onder de voorwaarde dat begeleiding en beoordeling op het gebied van dat onderwerp binnen de mogelijkheden van de opleiding ligt.

Hier en daar liet de vorm van een afstudeerscriptie te wensen over. Wat zeker niet mag ontbreken is een inleiding waarin het onderwerp voor niet-ingewijden wordt duidelijk gemaakt en waarin de eigen inbreng van de student inzichtelijk wordt gemaakt. Ook een goede afronding is gewenst, de vorm daarvan hangt af van de aard van de scriptie. Zeker in het geval van het toepassen van wiskunde hoort de scriptie een conclusie te hebben. Het ligt voor de hand dat de opleiding een document verstrekt waarin de eisen staan waaraan een student bij een afstudeerproject moet voldoen. In het bijzonder dienen daarin de eisen te worden benoemd waaraan de afstudeerscriptie moet voldoen. Die eisen behoren ook terug te komen op beoordelingsformulieren.

Begin van het afstudeerproject. De meeste opleidingen hebben vastgelegd welke onderdelen van de opleiding afgelegd moeten zijn of hoeveel EC behaald moet zijn voordat een afstudeerproject kan beginnen. De commissie beveelt alle opleidingen aan zulke regels vast te leggen. Bij een aantal opleidingen hoort bij de beginfase van het afstudeertraject het invullen van een formulier, waarop de namen van student en docent(en), onderwerp, tijdschema, afspraken over frequentie en tijd van begeleiding en verdere bijzonderheden worden vastgelegd. Een voorbeeld is het Utrechtse Research Application Form. Het vastleggen van zulke afspraken biedt studenten houvast, en is te meer van belang als het afstudeerproject buiten de universiteit plaats vindt en de dagelijkse begeleider niet in dienst is van de instelling die de opleiding verzorgt. De commissie beveelt ook andere opleidingen aan de afspraken op een formulier vast te leggen. Ze acht het raadzaam om dat formulier ter hand te stellen van de mastercoördinator, studieadviseur of de examencommissie. In ieder geval kan de examencommissie op die manier inzage krijgen in welke afspraken er in een vroeg stadium over de lopende afstudeerprojecten zijn gemaakt. Dat is onder meer zinvol bij potentiële conflicten.

Verloop van het project. Bij een aantal opleidingen bestaat een studentenseminarium waar studenten hun afstudeerwerk presenteren. Op sommige plaatsen is het gebruikelijk dat ongeveer halverwege de geplande tijd de student een presentatie geeft en dat dan ook de vorderingen worden geëvalueerd. Bovendien wordt dan ook het perspectief van het verdere verloop van het project gezien. Deze gang van zaken acht de commissie in het belang van de kwaliteit van het afstudeerproject. Zo'n studentenseminarium heeft bovendien soortgelijke voordelen als de bachelorklas in de bacheloropleiding, al is de organisatievorm in de masteropleidingen van nature losser.

Beoordeling en eindpresentatie. Zoals boven al bij het bachelorproject is beschreven, kan een helder formulier bijdragen aan de transparantie van de oordelen. Zo'n formulier zou dan de beoordelingscriteria moeten benoemen. Bij het invullen moet dan per criterium in een korte tekst het oordeel worden toegelicht. Het is aan de examencommissie om er op toe te zien dat begeleiders en beoordelaars het formulier consciëntieus invullen.

Bij een afstudeerproject hoort een afstudeervoordracht. De commissie trof verschillende geschikte vormen aan. Een mooi voorbeeld is de Leidse 'minipromotie' waarbij een deel van de presentatie gericht is op niet-wiskundigen. Bij afstudeerstages ligt het voor de hand zowel op de afstudeerlocatie als op de opleidingslocatie een voordracht te verlangen.

De rol van de examencommissie. De examencommissie is verantwoordelijk voor de borging van de kwaliteit van het afstudeerproject. Bij een aantal opleidingen is een lid van de examencommissie actief betrokken bij het vaststellen van het uiteindelijke jugement voor het afstudeerwerk. Op andere plaatsen controleert de examencommissie achteraf het oordeel. De commissie wijst erop dat bij toenemende studentenaantallen een actieve rol bij de beoordeling van alle afstudeerprojecten voor een examencommissie van beperkte omvang niet realistisch is. Bij een goede transparante verslaggeving over het oordeel kan de examencommissie redelijkerwijs ook achteraf toetsen. Dit pleit opnieuw voor een helder formulier voor de beoordeling.

VI. Arbeidsmarkt

In het visiedocument *Formulas for Insight and Innovation* van het PWN wordt de rol van de wiskunde in de maatschappij van de nabije toekomst geschetst. In het document spreekt PWN als advies uit dat

In the light of the increased and more diverse demand for mathematical scientists, academia needs to reassess the mathematics education.

Het is aan de wiskundeinstututen om de expertise in het wetenschappelijk onderzoek aan de eisen van de tijd aan te passen. Als gevolg van de ontwikkeling van de expertise zal ook de inhoud van het onderwijs bij de tijd moeten worden gehouden. Het is immers de bedoeling van de opleidingen te voorzien in de behoefte van de maatschappij aan afgestudeerde wiskundigen.

De opleiding moet de studenten moderne wiskunde bieden en hun talent voor wiskunde ontwikkelen en uitdagen. De aangeboden wiskunde kan passend zijn voor de rol van de wiskunde in de maatschappij, maar dient de aard van de discipline wiskunde te respecteren. Ook nu al vinden afgestudeerde wiskundigen relatief snel na afstuderen een plaats in de maatschappij in tal van betrekkingen. Het is zaak er voor te zorgen dat ze daar optimaal op voorbereid zijn. Daarom besteden de opleidingen conform het DSRK (zie Bijlage 2) ook aandacht enerzijds aan

- de vaardigheid te communiceren en samenwerken met vakgenoten en niet-wiskundigen,
- leervaardigheden in een ander vakgebied dan wiskunde

en anderzijds aan

- zicht op het brede veld van de beroepsmogelijkheden voor afgestudeerde wiskundigen,
- zicht op de betekenis en de gevolgen van keuzes binnen de opleiding en van vervolgoopleidingen,
- zicht op de algemene vaardigheden die een opleiding in de wiskunde meebrengt en in de maatschappij waardevol blijken.

Aan de eerste twee van die vijf boven genoemde punten wordt door de opleidingen aandacht besteed in het kader van het afstuderen en de voorbereiding daarop en in een 'minor' of bijvak. In de opleidingsrapporten heeft de commissie eventuele aanbevelingen of aandachtspunten benoemd.

De laatste drie punten verdienen in dit kader aandacht. Immers, vrijwel alle gevisiteerde opleidingen meldden al in de kritische reflectie dat zij wellicht meer zouden kunnen doen aan voorbereiding op de arbeidsmarkt. Voor die voorbereiding worden uiteenlopende vormen gekozen: sommige opleidingen hebben aparte cursussen ontwikkeld, andere opleidingen zien de stage als belangrijkste instrument ter voorbereiding op de arbeidsmarkt. Weer andere opleidingen beschouwen oriëntatie op de arbeidsmarkt als een extracurriculaire activiteit die belegd wordt bij bijvoorbeeld de studievereniging. De commissie acht het de verantwoordelijkheid van de opleiding dat een afgestudeerde voorbereid is op de loopbaan na de studie. Dat impliceert dat iedere student binnen zowel de bachelor- als de masteropleiding

met de vraag wordt geconfronteerd wat zijn of haar keuzes zijn en vervolgens door de opleiding wordt begeleid om een bij die keuze passend studietraject uit te zetten. De commissie beveelt aan dat de studieverenigingen en de alumni daarbij actief betrokken worden. In het bijzonder de alumni met een werkkring buiten de academische wereld kunnen studenten wijzen op de algemene kwaliteiten die een afgestudeerde wiskundige de arbeidsmarkt te bieden heeft. Te denken valt bijvoorbeeld aan de meer dan gemiddelde analytische vaardigheden die de afgestudeerde wiskundige heeft. Kennis daarover kan studenten helpen hun positie op de arbeidsmarkt beter in te schatten. Bij de banenmarkten, waarbij veel van de studieverenigingen actief betrokken zijn, kunnen studenten hun beeld van de arbeidsmarkt opbouwen.

Ook om andere redenen is het waardevol voor opleidingen om contacten met alumni te onderhouden. Alumni kunnen ook de opleiding adviseren over behoeften aan wiskundigen in de maatschappij en helpen bij het vinden van stageplaatsen. De commissie constateert dat sommige opleidingen (bijvoorbeeld aan de VU) beschikken over een goed georganiseerd bestand van contacten buiten de academische wereld voor onder meer stages, terwijl andere opleidingen het vinden van een stageplaats aan de student over laten. De opleiding Industrial and Applied Mathematics aan de TU/e en de opleiding Business Analytics aan de VU beschikken over veel en goed onderhouden contacten met het bedrijfsleven en de alumni.

De commissie sluit zich aan bij de aanbeveling van de vorige visitatiecommissie om het afnemend veld ook te betrekken bij de inhoud van de opleiding. Opleidingen kunnen dat doen door – naast het onderhouden van goede contacten met de alumni – een werkveldadviescommissie in te stellen.

Ten slotte roept de commissie de opleidingen op om zelf nadrukkelijk de regie te behouden in de voorbereiding van studenten op de arbeidsmarkt. Op de banenmarkten worden studenten bijvoorbeeld zelden gewezen op de mogelijkheden om zelfstandig ondernemer te worden. De opleiding zou studenten kunnen stimuleren om eigen innovatieve projecten op te zetten die wellicht kunnen leiden tot het opstarten van een bedrijf. Het zou in zo'n geval ook goed zijn als de opleidingen de studenten wijzen op de mogelijkheden binnen de universiteit om vaardigheden te verwerven die nodig zijn voor zelfstandig ondernemerschap.

3. Bevindingen per standaard

Een zestal voor de commissie belangrijke thema's is behandeld in Hoofdstuk 2. In dit hoofdstuk komen per standaard overige zaken aan de orde.

Standaard 1: Beoogde eindkwalificaties

Wiskundeopleidingen hebben een lange traditie en onder wiskundigen is er een grote mate van consensus over hun doelstellingen. Die was er ook al in de tijd dat de doelstellingen niet expliciet werden geformuleerd. Doelstellingen waren toen wel impliciet aanwezig en hoofdzakelijk vakinhoudelijk van karakter. Tegenwoordig voldoen de opleidingen aan de eis dat hun doelstellingen vastgelegd zijn in eindkwalificaties.

Doelstellingen voor wiskundeopleidingen staan beschreven in het Domeinspecifieke Referentiekader (DSRK). Voor de bacheloropleidingen Wiskunde en Technische Wiskunde is deze beschrijving gebaseerd op de doelstellingen die door de instellingen in de Kamer Wiskunde van de VSNU zijn overeengekomen ten tijde van de invoering van de bachelor-masterstructuur. Men zou verwachten dat de instellingen deze beschrijving overnemen, eventueel aangevuld met één of meer voor de instelling specifieke doelstellingen. Eigenlijk doet alleen de Radboud Universiteit dat.

De doelstellingen die de commissie aantrof waren alle redelijk tot goed in lijn met die van het DSRK. Om verschillende redenen hebben instellingen toch voor andere formuleringen gekozen. In alle gevallen wordt de precieze formulering van de doelstellingen vastgesteld door de organisatie waarin de opleiding is ingebed. Soms gebeurt dat door gemeenschappelijke doelstellingen van een faculteit of (under)graduate school aan te vullen en te vertalen naar de wiskunde. Het is dan wel zaak te bewaken dat de doelstellingen recht doen aan het eigen karakter van de wiskunde. De eindtermen van de wiskundeopleidingen aan de Universiteit Utrecht laten zien hoe dat op een goede wijze kan. Bij sommige instellingen is duidelijk zorg besteed aan het formuleren van concrete, realistische doelstellingen. Dat geldt met name voor de Technische Universiteit Eindhoven: weloverwogen, helder, goed gedoseerd en adequaat.

Het ambitieniveau dat spreekt uit de doelstellingen loopt uiteen. Zo heeft de bacheloropleiding van de Universiteit van Amsterdam ambitieuze doelstellingen, terwijl die van sommige andere bacheloropleidingen enige aanscherping behoeven. Bij een hoog ambitieniveau hoort een hoog gerealiseerd niveau, zoals dat het geval is bij de masteropleiding Mathematical Physics van de Universiteit van Amsterdam.

Verschillende opleidingen aan eenzelfde instelling dienen doelstellingen te hebben die voldoende onderscheidend zijn. Op dat punt valt in een enkel geval nog wat te verbeteren. Anderzijds is het teleurstellend dat de doelstellingen van de al jaren nagenoeg samenvallende masteropleidingen Mathematics en Stochastics and Financial Mathematics van de Vrije Universiteit en de Universiteit van Amsterdam nog steeds verschillen. In het kader van de voorziene nauwere organisatorische samenwerking tussen de verantwoordelijke faculteiten van de beide instellingen kan deze discrepantie geëlimineerd worden.

Standaard 2: Onderwijsleeromgeving

Realisatie eindtermen in het programma

Bij alle opleidingen komen de eindtermen in het programma aan de orde en kunnen de studenten de eindkwalificaties realiseren. Een enkele maal zou een eindterm meer expliciet in het onderwijs aan de orde kunnen komen. Zo valt bij sommige opleidingen nog winst te behalen door de leerdoelen duidelijker terug te laten komen in de vakbeschrijvingen. Verder zouden verschillende opleidingen het onderwijs in de algebra en/of numerieke wiskunde verder kunnen versterken. Ten slotte wijst de commissie erop dat als een bacheloropleiding meer keuzevrijheid biedt, het belangrijk is om na te blijven gaan of studenten met hun vakkenpakket alle beoogde eindtermen daadwerkelijk aanleren.

Vormgeving

De opleidingen hebben de opdracht de studenten te stimuleren hun talent, in het bijzonder voor wiskunde, te ontwikkelen. Dat heeft geleid tot de inrichting van het onderwijs in het eerste jaar zoals beschreven in Hoofdstuk 2 bij Thema 4. Het onderwijs in latere jaren houdt rekening met de ontwikkeling van de leervaardigheden enerzijds en de opbouw van de wiskunde anderzijds. Wiskunde heeft een sterke gelaagdheid die een volgorde in het leerproces afdwingt. In dat leerproces moeten studenten zich in korte tijd de ideeën eigen maken van generaties wiskundigen met daarbij genieën als Newton, Gauss en Hilbert. Dit stelt hoge eisen aan de timing en het tempo waarin studenten door de wiskunde worden geleid. Immers: zelf die ideeën ontwikkelen binnen een leven is onmogelijk. In de opleidingen is dit terug te vinden in de samenhangende leerlijnen, die bij de meeste bacheloropleidingen ook expliciet zijn gemaakt.

De commissie trof bij een aantal instellingen een grote bemoeienis aan van het college van bestuur bij de inrichting van het onderwijs, met name bij de bacheloropleidingen. Colleges streven daarbij verschillende doelen na: verbetering van rendementen, het uitbouwen van verbredende keuzemogelijkheden voor studenten door een uniforme jaarindeling en/of de introductie van een meer uniform didactisch model. Die bemoeienis staat nogal eens op gespannen voet met de aard van de wiskunde. Vaak komt het erop neer dat ervan wordt uitgegaan dat alle onderdelen van een wiskundeopleiding geschikt zijn om met meer studielasturen per week in kortere tijd te worden voltooid. Voor onderdelen met een groot aandeel aan oefening van praktische vaardigheden is zo'n verkorting soms passend, maar voor onderdelen van theoretische aard bepaald ongewenst. Studenten hebben bezinkingstijd nodig om zich abstracte begrippen en redeneringen eigen te maken. Wordt zo'n opzet doorgevoerd zonder met die bezinkingstijd rekening te houden, dan gaat die onherroepelijk gepaard met een verlaging van kwaliteit.

Dergelijke structuurwijzigingen van bovenaf zijn ingevoerd bij de Technische Universiteit Delft, bij de Universiteit Twente, de Technische Universiteit Eindhoven en bij de Universiteit Utrecht. Door de samenwerking van de TUD met de Universiteit Leiden is de aanpassing bij de TUD nog beperkt, maar die samenwerking wordt er wel door bemoeilijkt. Bij de UT is met ingang van 2013-2014 het 'Twents Onderwijsmodel' (TOM) operationeel geworden. De commissie heeft waardering voor de inzet van staf en studenten bij het opnieuw inrichten van de bacheloropleiding volgens dit model. Volgens de commissie is hierbij een belangrijk aandachtspunt dat naast de thematische opbouw die de TOM-modules kenmerkt, er ook voldoende ruimte wordt gecreëerd voor de cumulatieve kennisopbouw die voor de wiskunde noodzakelijk is. Bij de TU/e heeft de opleiding zich met succes ingespannen om een overzichtelijk gestructureerd programma te creëren binnen de gegeven kaders van het

Bachelor College. De UU heeft bacheloropleidingen een sjabloon voor de jaarindeling opgelegd met als doel een grotere flexibiliteit bij de keuze van onderdelen voor de studie. Ook hier is er een grote inzet van staf en studenten om het programma aan te passen. Het ligt voor de hand dat deze veranderingen een herverkaveling van onderwerpen over vakken inhoudt die wiskundig gezien minder logisch is.

Studenten wiskunde hebben niet zelden een groot talent dat zich ook over nabijgelegen wetenschapsgebieden uitstrekt. Die zeer getalenteerde studenten uitdagen en de ruimte geven voor de ontwikkeling van hun mogelijkheden vergt aandacht. Alle instellingen bieden daarom de mogelijkheid aan om een bacheloropleiding op het gebied van de wiskunde te combineren met bijvoorbeeld een bacheloropleiding natuurkunde of informatica. Die dubbele programma's buiten de overlap tussen de opleidingen uit en hebben in de regel een omvang van 210 tot 240 EC. De commissie constateerde in een enkel geval dat de dubbele opleiding niet een eindwerkstuk op het gebied van de wiskunde eiste. De commissie adviseert om te garanderen dat iedere student terecht zijn/haar diploma krijgt door te eisen dat de opleiding (Technische) Wiskunde een afstudeerproject in de wiskunde bevat. De student met een dubbele bacheloropleiding kan aan die eis voldoen met een apart wiskundewerkstuk maar ook met een (eventueel omvangrijker) werkstuk rond het grensgebied van zijn beide opleidingen.

Instroom bacheloropleidingen

De commissie heeft geconstateerd dat een nog te groot deel van de beginnende bachelorstudenten niet voldoende talent heeft voor wiskunde of de inzet niet wil of kan leveren om dat talent te ontwikkelen. Daarom acht de commissie het verstandig dat alle opleidingen aan een vorm van 'matching' (zijn) gaan doen. Matching houdt in dat de opleiding voorafgaand aan de bachelorstudie samen met de student nagaat of de student voldoende talent heeft en de bereidheid heeft dat talent te ontwikkelen. De vorm van de 'matching' of kennismaking verschilt per instelling, maar kenmerkend is dat die plaatsvindt op het moment dat toekomstige studenten hun studiekeuze aan het maken zijn. De commissie verwacht geen wonderen van de 'matching'. Enerzijds kan de student het advies niet aan de opleiding te beginnen naast zich neer leggen. Anderzijds zal het onvermijdbaar blijken dat een deel van de studenten toch dan wel het benodigde talent niet heeft, dan wel er niet in slaagt voldoende inspanning te leveren voor de ontwikkeling van dat talent. De winst zal moeten zijn dat dit deel kleiner wordt. De commissie constateert verder dat alle opleidingen proberen ook door bijvoorbeeld voorlichting en dagen voor proefstuderen een realistisch beeld van de studie te schetsen maar daar kennelijk nog niet in voldoende mate in slagen. Niet steeds wordt ook duidelijk gemaakt dat wiskunde studeren talent én inzet vergt.

Voor de begeleiding van de studenten is het van groot belang dat de opleiding inzicht heeft in de vorderingen van de individuele student. Dat vergt een systeem waaruit die informatie kan worden gehaald en een persoon, meestal de studieadviseur, die dat op regelmatige en systematische wijze doet. Daarbij kan met name in het eerste jaar het mentoraat/tutoraat als eerste lijn voor de observatie fungeren. Bij signalen van studievertraging kan dan met de student contact worden gezocht en aan beperking van de schade worden gewerkt. De commissie heeft geconstateerd dat er bij alle instellingen studieadviseurs zijn met een goede taakopvatting, maar dat de registratiesystemen van studieresultaten de studieadviseurs niet overall optimaal ondersteunen en soms ronduit ongeschikt zijn voor dit voor opleidingen essentiële gebruik. In het algemeen dringt de commissie er op aan dat de studenten gedurende de hele studie nauwkeurig gevolgd worden door frequente voortgangscontroles. Die controles moeten, als daar aanleiding toe is, leiden tot een contact met de student. Een ander aspect is studieuitval. Het vergt inspanning van de opleiding om zicht te houden op de redenen van

uitval van studenten. Daarvoor is nodig uitval te zien aankomen dan wel snel te kunnen constateren nadat het gebeurt.

Studeerbaarheid

De studeerbaarheid van de programma's is over het algemeen goed. De commissie werd wel geconfronteerd met enkele problemen, maar die hadden een lokaal karakter en de oplossing ervan bood weinig toepasbaarheid bij andere opleidingen. Over de rendementen valt te zeggen dat er in het algemeen een voor een beta-opleiding normale uitval in het eerste jaar is. Alle opleidingen spannen zich in de uitval te reduceren en nemen daarvoor passende maatregelen. Die lossen het probleem niet volledig op, maar dat is ook niet te verwachten. De uitval na het eerste jaar is soms ook nog te hoog, maar door het inmiddels alom ingevoerde Bindend Studieadvies (BSA) aan het einde van het eerste jaar lijkt dat probleem wel te verdwijnen. Hier moet wel bij opgemerkt worden dat de opleidingen veelal aanvullende maatregelen nemen en trachten de studenten in het algemeen goed te volgen en te begeleiden.

Personeel

Bij alle instellingen ziet de commissie een voor universitair onderwijs uitstekend gekwalificeerde, enthousiaste en betrokken wetenschappelijke staf. Ook was overal de werkdruk groot en wordt verwacht dat die nog zal oplopen wanneer met de stijgende studentenaantallen de globaal gesproken uitstekende kwaliteit van de opleidingen gehandhaafd wordt. Dat laatste is wel de ambitie van de staf. Bij een enkele instelling, waaronder de Radboud Universiteit Nijmegen, was de omvang van de wetenschappelijke staf ten tijde van de bezoeken zorgwekkend klein. De commissie kreeg in die gevallen te horen dat de faculteit zich daarvan bewust was en er op korte termijn maatregelen worden genomen om de knelpunten op te lossen. Samenwerking tussen universiteiten kan de werkdruk enigszins verlichten. Mastermath is een mooi voorbeeld van zo'n samenwerking. De mogelijkheden tot samenwerking zijn echter sterk afhankelijk van de geografische ligging van de instelling. Verder is bij technische universiteiten de omvang van de wiskundestaf minder afhankelijk van de instroom dan bij een algemene universiteit door een uitgebreider takenpakket in het onderwijs. Een geringe omvang van de staf telt dus extra zwaar bij de algemene universiteiten buiten de Randstad.

Bij alle instellingen is er een programma dat er toe moet leiden dat de volledige staf voor de opleidingen een BKO-kwalificatie zal verwerven. De mate waarin dat ten tijde van het bezoek al gerealiseerd was, verschilde.

Kwaliteitszorg

De opleidingscommissies functioneren in het algemeen naar behoren. Ze krijgen de resultaten van de enquêtes, de verslagen van de evaluatiegesprekken met studenten en docenten die per kwartaal of semester plaatsvinden en de reacties van de docenten en de opleidingsdirecteur. Alle opleidingen zijn alert op struikelvakken, die dan ook vrijwel niet meer voorkwamen. Wel werden sommige vakken aangeduid als de lastigste vakken. Die lagen relatief vaak op het deel van de wiskunde waar de abstractie het sterkst is. De opleidingscommissies reageren in de regel proactief en hebben een onmisbare inbreng voor het handhaven van de kwaliteit. De commissie hecht aan een van het management onafhankelijke positie van de opleidingscommissie. Curriculumevaluaties zijn minder algemeen. De commissie adviseert die met regelmaat uit te voeren, bijvoorbeeld eens in de drie jaar.

Standaard 3: Toetsing en gerealiseerde eindkwalificaties

De gerealiseerde eindkwalificaties zijn zichtbaar in de afstudeerprojecten. De stand van zaken bij en aanbevelingen over de afstudeerprojecten zijn in het vorige hoofdstuk beschreven.

Bij schriftelijke tentamens is het overal gebruikelijk dat een collega het tentamen vooraf inziet, ook daar waar dat niet formeel vastgelegd is. Bij sommige instellingen worden toetsmatrijzen gevraagd. Het opstellen van toetsmatrijzen kan beginnende docenten op weg helpen. Voor ervaren docenten is het een eenvoudige oefening die doorgaans als niet zo zinvol wordt ervaren. Opmerkelijk is dat er nauwelijks over wordt geklaagd. Bij mondelinge tentamens is het normaal dat er nog een collega bij aanwezig is. De commissie heeft ook op dit punt geen ongewenste situaties aangetroffen.

Er zijn vormen van toetsing waarbij het huiswerk meetelt. In het eerste jaar gebeurt dat om studenten te activeren. Doorgaans bepaalt het huiswerk slechts een klein deel van het eindcijfer. De commissie acht dat een goede manier van toetsing. Er moet echter voor gewaakt worden dat vakken die naast elkaar gevolgd worden elkaar niet in de weg zitten. Ook moet men ervoor oppassen dat getalenteerde studenten in een voor hen te schools systeem moeten functioneren. Een andere manier om studenten te activeren is via tussentijdse toetsing los van het huiswerk. Bij sommige mastervakken wordt alleen getoetst met huiswerk. De commissie vindt dat ongewenst: beoordelen tijdens het leerproces kan beter beperkt blijven en er is te weinig controle op de individuele prestatie.

Bijlagen

Bijlage 1. Samenstelling en werkwijze van de commissie

De commissie Wiskunde is samengesteld uit totaal veertien commissieleden. Hieronder een kort overzicht van de commissieleden, inclusief de functie die zij tijdens de visitatie hadden en/of studie die ze destijds volgden:

- Prof. Dr. Frans Keune, emeritus hoogleraar Algebra aan de Radboud Universiteit Nijmegen (voorzitter);
- Dr. Freek van Schagen, gepensioneerd hoofddocent (docent 1) Wiskunde aan de Vrije Universiteit Amsterdam;
- Prof. Dr. Paul Igodt, gewoon hoogleraar Wiskunde aan KU Leuven Kulak (Kortrijk), België;
- Prof. Dr. Andreas Weiermann; hoogleraar Wiskundige Logica en Theoretische Informatica aan de Universiteit Gent, België;
- Prof. Dr. Arnold Reusken, hoogleraar Numerieke Wiskunde aan RWTH Aachen University, Duitsland;
- Dr. Hennie ter Morsche, gepensioneerd universitair hoofddocent aan de TU Eindhoven;
- Dr. Hans van der Weide, universitair hoofddocent Technische Wiskunde/Stochastiek aan de Technische Universiteit Delft;
- Dr. Mariëtte Knaap, Licensing Technology Manager Gas Treating for Refineries bij Shell Technology Centre Amsterdam;
- Dr. Marije Elkenbracht-Huizing, managing director bij NIBC;
- Dr. Tjark Tjin-A-Tsoi, directeur van het Nederlands Forensisch Instituut;
- Dr. Nicky Hekster, Technical Leader Healthcare & Lifesciences IBM Benelux;
- Gijs Boosten, bachelorstudent Wiskunde en Natuur- en Sterrenkunde, Universiteit Utrecht;
- Rutger Kerkkamp BSc, masterstudent Applied Mathematics aan de Technische Universiteit Delft;
- Tessa Matser BSc, masterstudent Mathematics aan de Radboud Universiteit Nijmegen.

Voor ieder bezoek is op basis van deskundigheid en beschikbaarheid een (sub)commissie samengesteld van vijf tot zeven personen. De voorzitter heeft – op Nijmegen na – aan alle bezoeken deelgenomen. De commissie werd namens QANU ondersteund door Kees-Jan van Klaveren MA, die als coördinator optrad. Verder werd de commissie ondersteund door verschillende projectleiders namens QANU: drs. Melissa Frederik, drs. Astrid van Vliet, drs. Titia Buising en drs. Renate Prenen.

De commissie belegde haar formele startvergadering op vrijdag 3 mei 2013 op het kantoor van QANU in Utrecht. Tijdens deze startvergadering werd de commissie geïnstrueerd, werden de taakstelling en werkwijze van de commissie besproken en kwam het domeinspecifieke referentiekader Wiskunde van de Kamer Wiskunde ter sprake. Dat referentiekader is opgenomen in Bijlage 2 bij dit rapport.

De opleidingen stelden een kritisch reflectierapport op over de opleidingen aan de hand van het beoordelingskader voor beperkte opleidingsbeoordeling van de NVAO. Deze kritische reflecties zijn toegezonden aan QANU. Nadat de kritische reflectie door de coördinator van QANU in orde was bevonden, is deze doorgestuurd naar de commissieleden. De commissieleden namen de kritische reflecties door en formuleerden vragen die aan de

projectleider werden toegezonden. De projectleider verzamelde en bundelde deze vragen en stuurde deze in de vorm van een samenvatting weer terug naar de commissieleden.

Bezoek

Voorafgaand aan de bezoeken maakte de coördinator in overleg met de commissievoorzitter en vertegenwoordigers van de opleidingen een programma voor de dagindeling. Het eerste deel van het bezoek gebruikte de commissie voor een interne vergadering ter voorbereiding op de sessies met delegaties van de opleidingen. Ook werden afspraken gemaakt over de taakverdeling binnen de commissie.

Voorafgaand aan de bezoeken heeft de commissie de opleidingen verzocht om gesprekspartners te selecteren. Uitgangspunt bij deze selectie was het criterium van representativiteit: de opleidingen selecteerden studenten en alumni uit verschillende studiejaar en afstudeerrichtingen en docenten met een variërende mate van senioriteit. Gedurende de bezoeken sprak de commissie met een vertegenwoordiging van het faculteitsbestuur, studenten, docenten, leden van de opleidings- en examencommissie en alumni.

De commissie bestudeerde tijdens de bezoeken bovendien het ter inzage gevraagde materiaal. Studenten en docenten werden in de gelegenheid gesteld om buiten de reguliere gesprekken om met de commissie van gedachten te wisselen. Het laatste deel van het bezoek gebruikte de commissie voor een interne vergadering ter bespreking van de bevindingen. De bezoeken werden afgesloten met een openbare mondelinge rapportage van de eerste indrukken en algemene waarnemingen door de commissievoorzitter.

Rapportage

Op basis van de bevindingen van de commissie stelde de projectleider per bezoek een conceptrapport op. De commissieleden die bij het bezoek aanwezig waren, werden uitgenodigd om dit rapport te commentariëren. Na vaststelling van het conceptrapport vroeg de coördinator de betrokken faculteit om het rapport te controleren op feitelijke onjuistheden. Het commentaar van de opleidingen werd vervolgens besproken met de voorzitter en, waar nodig, met de overige commissieleden. Daarna zijn de rapporten definitief vastgesteld.

Standaarden gehanteerd bij het opstellen van de zelfevaluatierapporten en bij de visitaties

Standaard 1: Beoogde eindkwalificaties

De beoogde eindkwalificaties van de opleiding zijn wat betreft inhoud, niveau en oriëntatie geconcretiseerd en voldoen aan internationale eisen.

Toelichting:

De beoogde eindkwalificaties passen wat betreft niveau en oriëntatie (bachelor of master; hbo of wo) binnen het Nederlandse kwalificatieraamwerk. Ze sluiten bovendien aan bij de actuele eisen die in internationaal perspectief vanuit het beroepenveld en het vakgebied worden gesteld aan de inhoud van de opleiding.

Standaard 2: Onderwijsleeromgeving

Het programma, het personeel en de opleidingsspecifieke voorzieningen maken het voor de instromende studenten mogelijk de beoogde eindkwalificaties te realiseren.

Toelichting:

De inhoud en vormgeving van het programma stelt de toegelaten studenten in staat de beoogde eindkwalificaties te bereiken. De kwaliteit van het personeel en van de opleidingsspecifieke voorzieningen is daarbij essentieel. Programma, personeel en voorzieningen vormen een voor studenten samenhangende onderwijsleeromgeving.

Standaard 3: Toetsing en gerealiseerde eindkwalificaties

De opleiding beschikt over een adequaat systeem van toetsing en toont aan dat de beoogde eindkwalificaties worden gerealiseerd.

Toelichting:

Het gerealiseerde niveau blijkt uit de tussentijdse en afsluitende toetsen, de afstudeerwerken en de wijze waarop afgestudeerden in de praktijk of in een vervolgopleiding functioneren. De toetsen en de beoordeling zijn valide, betrouwbaar en voor studenten inzichtelijk.

Beslisregels

In overeenstemming met het Beoordelingskader voor de beperkte opleidingsbeoordeling van de NVAO (d.d. 22 november 2011) heeft de commissie de volgende definities voor de beoordeling van de afzonderlijke standaarden en de opleiding als geheel gehanteerd:

Basiskwaliteit

De kwaliteit die in internationaal perspectief redelijkerwijs verwacht mag worden van een bachelor- of masteropleiding binnen het hoger onderwijs.

Onvoldoende

De opleiding voldoet niet aan de gangbare basiskwaliteit en vertoont op meerdere vlakken ernstige tekortkomingen.

Voldoende

De opleiding voldoet aan de gangbare basiskwaliteit en vertoont over de volle breedte een acceptabel niveau.

Goed

De opleiding steekt systematisch en over de volle breedte uit boven de gangbare basiskwaliteit.

Excellent

De opleiding steekt systematisch en over de volle breedte ver uit boven de gangbare basiskwaliteit en geldt als een (inter)nationaal voorbeeld.

Eindoordeel beperkte opleidingsbeoordeling

Het eindoordeel over een opleiding is in elk geval 'onvoldoende' indien standaard 1 of 3 als 'onvoldoende' beoordeeld wordt. Een onvoldoende bij standaard 1 kan niet leiden tot het toekennen van een herstelperiode door de NVAO.

Het eindoordeel over een opleiding kan alleen 'goed' zijn indien tenminste twee standaarden als 'goed' worden beoordeeld; waaronder in elk geval standaard 3.

Het eindoordeel over een opleiding kan alleen 'excellent' zijn indien tenminste twee standaarden als 'excellent' worden beoordeeld; waaronder in elk geval standaard 3.

Bijlage 2: Domeinspecifiek referentiekader

Uitgangspunten

Het domeinspecifieke referentiekader is een van de maatstaven waarlangs de te visiteren opleidingen gemeten worden, en is om die reden richtinggevend bij de werkwijze van de commissie. De Kamer Wiskunde VSNU heeft als representant van de wiskunde opleidingen kaders voorgesteld voor de twee typen bacheloropleidingen *Wiskunde*, waartoe ook de opleidingen Technische Wiskunde aan de Technische Universiteiten gerekend worden, en *Business Analytics*. Ook voor de masteropleidingen binnen het wiskundedomein is een kader opgesteld. Dit is gebeurd in overleg met de Nederlandse wiskundeopleidingen. Aan de Innovatiecommissie van het Platform Wiskunde Nederland, dat bestaat uit vertegenwoordigers van het afnemend veld, is commentaar op het referentiekader gevraagd. Dit commentaar is in een appendix samengevat. De bètadecanen zullen deze kaders uiteindelijk vaststellen. De meerderheid van de opleidingen betreft wiskunde.

Het kader is gebaseerd op het in de onderwijsvisitatie 2007 gebruikte referentiekader [1]. Daarnaast is gebruik gemaakt van het rapport *Reference points for the design and delivery of degree programmes in Mathematics*, opgesteld door de Mathematics Tuning Group [2]. Voor wat betreft het verschil in niveau tussen de bachelor- en mastergraad zijn de Dublin-descriptoren als richtsnoer gehanteerd. Ideeën uit [3] zijn in [1] en [2] verwerkt en komen ook in dit kader terug.

De kaders zijn omschreven in globale eindtermen en in meer concrete eisen waaraan het curriculum moet voldoen. De eindtermen zijn geformuleerd in termen van competenties van de afgestudeerde. Dit leidt tot daarop gebaseerde eisen aan het curriculum: aan welke kennis en vaardigheden in het curriculum moet aandacht worden besteed.

De bacheloropleiding *Business Analytics* bestaat alleen aan de Vrije Universiteit Amsterdam en heeft een duidelijk ander karakter dan de overige onderzochte bacheloropleidingen. In verband daarmee is voor deze opleiding een apart kader geformuleerd.

Het referentiekader voor de masteropleidingen Wiskunde biedt voldoende ruimte om dit ook te hanteren voor de masteropleiding Business Analytics van de Vrije Universiteit.

Het spreekt vanzelf dat opleidingen met dezelfde naam niet identiek zijn; dat zou ook niet gewenst zijn. Naast bijvoorbeeld verschillen die ontstaan door verschil in onderzoeksspecialisatie van de wetenschappelijke staf van de diverse opleidingen en keuzemogelijkheden die studenten geboden worden, is er een meer structureel verschil tussen opleidingen aan algemene en technische universiteiten (in de terminologie van de QAA: ‘theory based’ en ‘practice based’). Er zijn dan ook meerdere manieren om te voldoen aan de vereisten van het referentiekader. Dat geldt in sterke mate voor de masteropleiding. Essentieel is dat de eigen inkleuring past binnen de algemene, internationaal geaccepteerde maatstaven.

Het referentiekader voor de bacheloropleidingen Wiskunde en Technische Wiskunde

- Afgestudeerden van een bacheloropleiding Wiskunde bezitten een grondige theoretische en praktische kennis van die onderdelen van de wiskunde die internationaal als basisdisciplines worden beschouwd en beheersen de daarbij behorende vaardigheden.

- Zij zijn breed georiënteerd op wiskundig terrein en hebben inzicht in de maatschappelijke functie van het vak.
- Afgestudeerden zijn ingevoerd in de wiskundige denkwijze en zijn vertrouwd met de voor wiskunde karakteristieke mate van abstractie en strengheid in redeneertrant.
- Afgestudeerden hebben inzicht in de manier waarop wiskunde wordt toegepast buiten de wiskunde en hebben enige ervaring opgedaan met deze toepassingen.
- Afgestudeerden hebben kennis van onderzoeksmethoden op het gebied van de wiskunde en hebben enige ervaring opgedaan met het doen van wiskundig onderzoek.
- Afgestudeerden kunnen zowel met vakgenoten als met leken over het vakgebied communiceren.
- Afgestudeerden zijn in staat een masteropleiding in de wiskunde aan een Nederlandse of buitenlandse universiteit met goed resultaat te volgen.
- Afgestudeerden zijn bekend met de mogelijke vervolgstudies en beroepen.
- Afgestudeerden bezitten een voldoende wiskundige basis voor het volgen van een eerstegraadslerarenopleiding Wiskunde.

Deze globale eindtermen laten zich vertalen in de volgende meer concrete eisen aan het curriculum:

- Het curriculum behelst een grondige kennis van de reële analyse (van één en meerdere variabelen) en de lineaire algebra, zowel in theoretisch als praktisch opzicht, vgl. [2] 6.3.1.1.
- Daarnaast behelst het curriculum de beginselen van de meeste van de volgende domeinen van de wiskunde, vgl. [2] 6.3.1 :
 - Differentiaalvergelijkingen;
 - complexe functies;
 - waarschijnlijkheidsrekening en statistiek;
 - meetkunde en topologie;
 - numerieke wiskunde;
 - algebra en getaltheorie;
 - discrete wiskunde;
 - optimalisering, systeemtheorie en besliskunde.
- In het curriculum wordt aandacht besteed aan wiskundige redeneringen en bewijzen en wordt studenten geleerd om in daarvoor in aanmerking komende situaties zelf een redenering en/of bewijs te geven.
- In het curriculum wordt aandacht gegeven aan het verwerven van de noodzakelijke vaardigheden in de verschillende vakgebieden.
- In het curriculum wordt onderricht gegeven in het doen van literatuuronderzoek, het verzamelen van wiskundige informatie via internet, wordt inzicht gegeven in de samenhang binnen de wiskunde en leren studenten onder begeleiding eenvoudig zuiver of toegepast wiskundig onderzoek te doen.
- In het curriculum wordt aandacht besteed aan wiskundige modelvorming en wordt de student geleerd om wiskundige modellen op meerdere van bovengenoemde domeinen der wiskunde bij problemen en situaties buiten de wiskunde te interpreteren en te hanteren.
- In het curriculum wordt onderwijs gegeven in minstens één hogere programmeertaal en/of minstens één wiskundig softwarepakket en wordt studenten geleerd hoe zij deze

- kunnen gebruiken bij het oplossen van wiskundige en toegepast wiskundige problemen.
- In het curriculum wordt aandacht besteed aan het adequaat schriftelijk en mondeling communiceren over onderdelen van de wiskunde door middel van een schriftelijk rapport en een mondelinge voordracht. De student leert daarbij gebruik te maken van moderne hulpmiddelen, waaronder een TeX-variant.
- In het curriculum wordt aandacht besteed aan oriëntatie op mogelijke vervolgstudies en beroepsmogelijkheden en op de maatschappelijke functie van de wiskunde.

Het referentiekader voor de bacheloropleiding Business Analytics

Een van de te visiteren opleidingen is de bacheloropleiding Business Analytics van de Vrije Universiteit Amsterdam. Deze opleiding heeft een ander karakter en andere doelen dan de klassieke en technische wiskundeopleidingen. De opleiding is “gericht op het toepassen van een combinatie van wiskundige, kwantitatieve en informatietechnologische methoden, met als doel bedrijfsprocessen te verbeteren” (studiegids, 2005-2006). Dit betekent dat de eindtermen en doelstellingen voor wat betreft de wiskunde beperkter zijn dan bij de andere opleidingen. Dat uit zich in de omvang van de te onderwijzen wiskunde: alleen die vakken worden in het curriculum opgenomen die van belang zijn voor deze specifieke doelstelling. Dat uit zich ook in de wijze van behandeling: het abstractieniveau zal niet zo hoog zijn als bij de bacheloropleidingen wiskunde en er zal minder nadruk liggen op het zelf leren bewijzen. Daarnaast omvat de opleiding ook onderdelen uit de informatica en bedrijfseconomie. De opleiding is verder uitdrukkelijk toepassingsgericht. De eisen die aan de afgestudeerden gesteld worden, en die dus bepalend zijn voor de eindtermen van de bacheloropleiding Business Analytics zijn de volgende. Afgestudeerden van een bacheloropleiding Business Analytics bezitten grondige kennis en vaardigheden van die onderdelen van de wiskunde en informatica die bij het beheersen en verbeteren van bedrijfsprocessen relevant zijn.

- Afgestudeerden zijn op de hoogte van de beginselen van de (bedrijfs)economie.
- Afgestudeerden zijn in staat binnen een multidisciplinair teamverband samen te werken aan het beheersen en verbeteren van bedrijfsprocessen, waarbij gebruik gemaakt wordt van basiskennis uit de wiskunde en informatica.
- Afgestudeerden hebben kennis van onderzoeksmethoden op het gebied van de bedrijfs-wiskunde en informatica en hebben enige ervaring opgedaan met het doen van onderzoek op dit terrein.
- Afgestudeerden kunnen zowel met vakgenoten als met leken over het vakgebied communiceren.
- Afgestudeerden zijn in staat een masteropleiding Business Analytics aan een Nederlandse of buitenlandse universiteit met goed resultaat te volgen.
- Afgestudeerden hebben inzicht in de mogelijkheden van vervolgstudies en beroepen.

Deze globale eindtermen laten zich vertalen in de volgende meer concrete eisen waar het curriculum aan moet voldoen. Het behelst in ieder geval de beginselen van de volgende domeinen van de wiskunde, informatica en economie:

- Analyse;
- lineaire algebra;
- waarschijnlijkheidsrekening en statistiek;
- optimalisering, systeemtheorie en besliskunde;
- financiële wiskunde;
- programmeren;

- datastructuren en gegevensverwerking;
 - accounting en financiering;
 - stochastisch modelleren;
- In het curriculum wordt aandacht besteed aan wiskundige modelvorming en wordt de student geleerd om wiskundige modellen op problemen en situaties bij bedrijfsprocessen toe te passen en te interpreteren.
 - In het curriculum wordt kennis verworven van en ervaring opgedaan met diverse wiskundige softwarepakketten en programmeertalen die gebruikt worden in het bedrijfsleven bij het oplossen van kwantitatieve problemen.
 - In het curriculum wordt studenten door middel van internet, projecten en bedrijfscases geleerd gegevens te verzamelen en te interpreteren en in teamverband te werken aan multidisciplinaire oplossingen voor problemen bij bedrijfsprocessen.
 - In het curriculum wordt aandacht besteed aan onderzoeksvaardigheden.
 - In het curriculum wordt aandacht besteed aan het adequaat schriftelijk en mondeling communiceren over het vakgebied. Vaardigheid hierin wordt opgedaan bij groepsprojecten en er wordt geoefend in schriftelijk rapporteren en het houden van mondelinge voordrachten.
 - De opleiding biedt de student de mogelijkheid om zich te oriënteren op mogelijke vervolgstudies en beroepsmogelijkheden.

Het referentiekader voor de masteropleidingen Wiskunde⁴

De masteropleidingen gaan uit van het kennis en vaardigheden niveau dat in de genoemde bacheloropleidingen bereikt wordt. Deze kennis en vaardigheden vormen de grondslag voor verdergaande specialisatie en verdieping. De masteropleiding bereidt deels voor op beroepen in het bedrijfsleven en de overheid (inclusief het onderwijs), deels voor op een promotietraject. Na voltooiing van dat laatste traject zal soms een wetenschappelijke loopbaan als onderzoeker/docent volgen, soms zal daarna alsnog voor een carrière bij bedrijfsleven of overheid gekozen worden. Dat betekent dat de masteropleidingen meer variatie vertonen dan de bacheloropleidingen. Soms is deze variatie gerealiseerd door op de bacheloropleiding meerdere masteropleidingen te laten aansluiten, soms gebeurt dit door binnen één masteropleiding meerdere varianten te situeren. Daarnaast is de variatie zowel binnen één masteropleiding als tussen masteropleidingen onderling, door de verdergaande specialisatie en sterkere onderzoeksoriëntatie, duidelijk groter dan bij de bacheloropleidingen.

Uit een en ander volgt dat de eisen die aan een masterdiploma gesteld moeten worden, en dus ook de eindtermen en doelstellingen van de masteropleiding globaler en minder specifiek zullen zijn dan die van de bacheloropleiding. Afhankelijk van de gekozen masteropleiding, of variant daarbinnen, kunnen verschillende accenten worden gelegd bij het bereiken van de eindtermen en doelen.

De eisen die aan de afgestudeerde wiskundigen gesteld worden, en die dus bepalend zijn voor de eindtermen voor de masteropleidingen Wiskunde, zijn de volgende:

- Afgestudeerden beschikken over een brede kennis van de wiskunde en op een of meerdere deelgebieden over specialistische kennis van hoog internationaal niveau.

⁴ Hierbij inbegrepen de masteropleidingen Applied Mathematics, Stochastics and Financial Mathematics, Business Analytics, Mathematical Physics, Industrial and Applied Mathematics en Scientific Computing.

- Afgestudeerden hebben zich de eigenschappen en kwaliteiten van wetenschapsbeoefenaar eigen gemaakt en zijn in staat zijn zich ook op gebieden van de wiskunde buiten hun specialisatie in te werken en zich op de hoogte te stellen van recente ontwikkelingen op een dergelijk gebied.
- Indien een afgestudeerde een masteropleiding heeft gevolgd die gericht is op het toepassen van wiskunde in een bepaald vakgebied buiten de wiskunde of op een bepaald maatschappelijk terrein, beschikt de afgestudeerde over voldoende kennis van dat gebied of terrein.
- Afgestudeerden hebben ervaring opgedaan met het onder begeleiding verrichten van zuiver of toegepast wiskundig onderzoek op een internationaal erkend niveau.
- Afgestudeerden zijn in staat als wiskundige met in andere richtingen opgeleiden samen te werken. Zij zijn in staat op hoog niveau schriftelijk en mondeling verslag te geven en met wiskundigen en anders opgeleiden te communiceren.
- Afgestudeerden beschikken over wiskundige kennis van voldoende diepgang en breedheid om, bij gebleken geschiktheid en belangstelling, als wiskundige bij bedrijfsleven of overheid, of als eerstegraads docent in het onderwijs werkzaam te zijn, of een – eventueel internationaal – promotietraject met succes te kunnen afronden.

Dit vertaalt zich in de volgende eisen die aan het curriculum gesteld worden:

- Het curriculum behelst meerdere geavanceerde onderdelen van de wiskunde en elke student maakt ten minste op een gebied kennis met recente ontwikkelingen.
- In het curriculum wordt passende aandacht besteed aan het zich eigen maken van resultaten uit andere disciplines binnen de wiskunde dan de eigen specialisatie en het daar adequaat mee omgaan.
- In het geval van een masteropleiding die gericht is op het toepassen van wiskunde op een bepaald gebied buiten de wiskunde bevat het curriculum voldoende onderdelen uit dat gebied in geval de student deze kennis nog niet bezit.
- Het curriculum omvat een afstudeeropdracht en/of (bedrijfs)stage waarin de student zuiver of toegepast wiskundig onderzoek verricht en daarvan door middel van een afstudeerverslag en afstudeerpresentatie op adequate wijze verslag uitbrengt.
- Het curriculum biedt studenten de mogelijkheid om, indien gewenst, onderzoek binnen een team met anders opgeleiden te verrichten. In het geval van een masteropleiding die gericht is op het toepassen van wiskunde op een bepaald vakgebied buiten de wiskunde of op een bepaald maatschappelijk terrein is dit in ieder geval een onderdeel van het curriculum.
- In de opleiding vindt voorlichting plaats over de beroepsmogelijkheden en de mogelijkheden tot promotie.

Referenties

- [1.] Rapport Visitatiecommissie wiskunde 2007
<http://www.qanu.nl/comasy/uploadedfiles/wiskunde2007def.pdf>
- [2.] *Reference points for the design and delivery of degree programmes in Mathematics*, Mathematics Tuning Group
http://www.unideusto.org/tuningeu/images/stories/key_documents/tuningmathematicsfinal.pdf
- [3.] *The Benchmark document on Mathematics, Statistics and Operational Research*, from the UK Quality Assurance Agency for Higher Education,
<http://www.qaa.ac.uk/crntwork/benchmark/phase2/mathematics.pdf>.

Appendix

Samenvatting commentaar uit de commissie Innovatie PWN.

1. De commissie wijst erop dat het op ruime wijze besteden van aandacht aan- en het onderwijzen van toepassingen er toe kan leiden dat de harde wiskunde in het curriculum onder druk kan komen te staan en dat dit ook voor afgestudeerden in de toegepaste wiskunde zeer onwenselijk is.
2. De commissie ziet als gevaar van het met meerdere studenten aan wiskundeproject werken, dat wiskundig zwakkere studenten kunnen vluchten in presentatie en communicatie en de wiskundige content verwaarlozen.
3. De commissie onderschrijft het belang van het vermogen van met name de afgestudeerden in de toegepaste wiskunde om over hun vak te communiceren. Zij benadrukt dat dit altijd relatief zal zijn. “Ik kan nog steeds niet aan leken uitleggen wat mijn proefschrift voorstelde en ik zie mijzelf toch niet als de grootste nerd of theoreticus”
4. De commissie suggereert de referentiekaders voor de Bacheloropleidingen zo algemeen te formuleren dat één kader voor alle Bacheloropleidingen wiskunde volstaat.