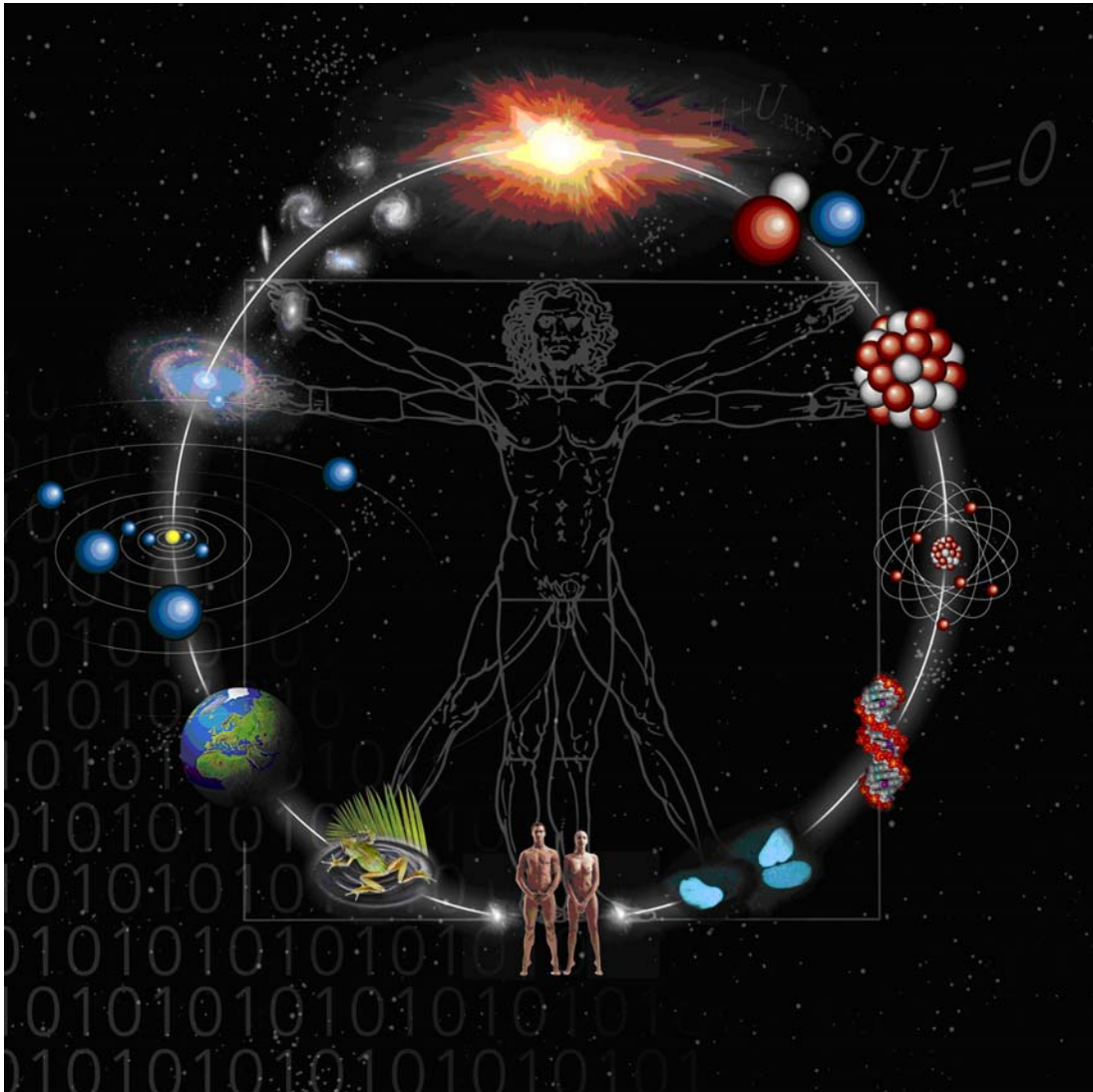


Fysica voor de toekomst



Toekomst voor de fysica

Actieplan voor de Natuurkunde in Nederland

6 juni 2007

Fysica voor de toekomst - Toekomst voor de fysica

Actieplan voor de Natuurkunde in Nederland

Opricht

De commissie ad hoc heeft het Actieplan Natuurkunde opgesteld in opdracht van de stuurgroep van de Colleges van Bestuur van de zes algemene universiteiten met een natuurkundeopleiding. Het plan bevat voorstellen voor een versterking van de kennisinfrastructuur van (technische) natuurkunde, ook die aan de drie technische universiteiten. Desgevraagd heeft de commissie ad hoc in dat kader tevens vijf focusgebieden geïdentificeerd. Het Actieplan Natuurkunde vormt samen met een soortgelijk plan van de Regiegroep Chemie de basis voor het Actieplan Natuur- en Scheikunde dat in de loop van juni 2007 aan de Minister van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap zal worden aangeboden.

Samenstelling Commissie ad hoc Actieplan Natuurkunde

Prof.dr.ir. W. (Wim) van Saarloos, hoogleraar theoretische fysica

Universiteit Leiden, voorzitter en lid

Dr. J.A.M.M. (Jos) van Haaren, Department Head Information Processing

Architectures, Senior Director Philips Research Laboratories, lid

Dr. R.A. (Rob) Hartman, Director Strategic Technology Program ASML, lid

Prof.dr. F.L. (Frank) Linde, directeur Samenwerkingsverband Nikhef en

hoogleraar hoge-energiefysica Universiteit van Amsterdam, lid

Prof.dr. Th.H.M. (Theo) Rasing, hoogleraar experimentele fysica

Radboud Universiteit Nijmegen, lid

Drs. H.G. (Hendrik) van Vuren, hoofd Onderzoekbeleid FOM, secretaris

De commissie ad hoc dankt de vele collega's die input en advies hebben gegeven bij het schrijven van dit rapport, en met name de circa 25 collega's die op zeer korte termijn feedback gegeven hebben op een eerste versie van dit rapport, en in sommige gevallen expliciete stukken tekst hebben aangedragen.

Colofon

Illustratie omslag:

Universiteit van Amsterdam

Redactie:

Huub Eggen

Annemarie Zegers

Vormgeving en druk:

Drukkerij Badoux, Nieuwegein

Juni 2007

Inhoudsopgave

Samenvatting	4
1. Inleiding	6
2. De uitdagingen en de toekomst van de Nederlandse fysica	6
3. Uitgangspunten	10
4. Het onderwijs als basis	12
5. Onderzoek: actiepunten, zwaartepunten en focusgebieden	18
5.1 Analyse en actiepunten	18
5.2 Focusgebieden	21
6. Valorisatie van de natuurkunde	26
6.1 Maatschappelijk nut	26
6.2 Industrieel nut	27
6.3 Benutting academische kennis	28
7. Implementatie en budget	29
Bijlage 1: Links naar webpagina's van genoemde instellingen	33
Bijlage 2: Recente instroomcijfers	35

Fysica voor de toekomst - Toekomst voor de fysica

Voorstel van de commissie ad hoc Actieplan Natuurkunde ter versterking van de kennisinfrastructuur voor (technische) natuurkunde

Samenvatting

De commissie ad hoc *Actieplan Natuurkunde* doet in het voorliggende document voorstellen om het fysicaonderwijs en -onderzoek in Nederland te versterken en om het bètapotentieel in Nederland te vergroten door zowel de instroom als de uitstroom van de natuurkundeopleidingen sterk te doen toenemen. Daarnaast geeft de commissie een krachtige impuls aan de valorisatie van de gecreëerde kennis.

Het rapport schetst eerst de uitdagingen waarvoor de fysica zich in de 21^{ste} eeuw ziet geplaatst en de doelstellingen die de commissie zich heeft gesteld ten aanzien van kwaliteit, kwantiteit en valorisatie van onderwijs en onderzoek.

Het plan omvat voorstellen om het bachelor-, master- en promotietraject beter op elkaar, op de VWO-instroom en op de door de maatschappij gewenste uitstroomprofielen af te stemmen. Dit moet gebeuren door gerichte keuzes in focusgebieden en zwaartepunten, afstemming en samenwerkingen tussen opleidingen en goede afspraken tussen universiteiten en onderzoeksinstituten. Door deze integrale aanpak kunnen we de internationaal zeer hoog aangeschreven kwaliteit van de Nederlandse fysica versterken en tegelijkertijd de belangrijke rol van goed opgeleide fysici voor de Nederlandse samenleving en economie vergroten onder meer door te komen tot een aanzienlijke verhoging van de uitstroom.

De concrete aanbevelingen die de commissie doet – vetgedrukt in hoofdstuk 2 – kunnen puntsgewijs als volgt worden samengevat:

Doelen onderwijs:

- Meer interesse voor de fysica in het basis- en voortgezet onderwijs;
- Meer aandacht voor Communicatie, Management en Educatie in het universitaire onderwijscurriculum;
- Meer vrouwen en allochtonen onder de fysicastudenten;
- Verdubbeling van de instroom ten opzichte van het jaar 2000;
- Hoger rendement van de fysicaopleiding;
- Meer afgestudeerde fysici.

Maatregelen onderwijs:

- Structurele (financiële) ondersteuning van in recente jaren geïnitieerde *outreach* projecten gericht op het basis- en voortgezet onderwijs;
- Versterken van de samenwerking tussen docenten uit het voortgezet onderwijs en universitaire docenten via stagemogelijkheden;
- Bevorderen van (regionale) samenwerking tussen de universiteiten op onderwijsgebied;
- Intensieve begeleiding en monitoring van met name de eerstejaars bachelorstudenten;

- Komende tien jaar vijftig extra vrouwelijke en/of allochtone universitaire stafmedewerk(st)ers aanstellen.

Doelen onderzoek:

- Excellentie van het Nederlandse fysicaonderzoek;
- Meer aandacht voor inter- en multidisciplinair onderzoek;
- Meer aandacht voor maatschappelijke onderzoeksthema's zoals energie en gezondheid.

Maatregelen onderzoek:

- Definiëren van focusgebieden voor het onderzoek: 1) quantumuniversum, 2) nanofysica en nanotechnologie, 3) complexe systemen, vloeistoffen en materie, 4) fysica van leven en gezondheid, en 5) energie;
- Versterking benutting kennis en ervaring op het gebied van instrumentatie via nationale coördinatie;
- Bevordering van samenwerking tussen de universiteiten op onderzoekgebied bijvoorbeeld door middel van instituutsvorming;
- Verruiming van de FOM-programmaruimte om daarmee, waar nodig, de focus en massa van het onderzoek te versterken;
- Komende vijf jaar 16-17 nieuwe onderzoeksgroepen binnen de focusgebieden instellen.

Doel valorisatie:

- Meer spin-off naar de industrie vanuit het fysicaonderzoek.

Maatregelen valorisatie

- Nationale coördinatie en versterking op het gebied van instrumentatie;
- Meer aandacht voor valorisatie in academische opleidingen;
- Uitbreiding privaat-publieke samenwerking.

Om de gestelde ambities te verwezenlijken stellen we een structurele verhoging van het budget voor van 28 M€ per jaar. De commissie doet een beroep op FOM dan wel het Gebiedsbestuur Natuurkunde van NWO om, op basis van afspraken met de universiteiten en nationale competitie, te komen tot een optimale inzet van deze middelen.

1. Inleiding

De Nederlandse fysica staat voor grote uitdagingen: hoe vinden wij fysici een passend antwoord op de vele en soms conflicterende eisen die de samenleving en wijzelf aan ons en ons vakgebied stellen. De maatschappij rekent terecht op onze inzet bij het oplossen van de vele grote problemen op het gebied van energie, milieu, klimaat en gezondheid. Het bedrijfsleven en de overheid verwachten van ons een grotere bijdrage aan het innovatieve vermogen van ons land en Europa. Wij moeten daarom aantrekkelijker worden voor een grotere en bredere *pool* van jonge mensen, en degenen die wij opleiden moeten breder en meer interdisciplinair inzetbaar zijn. Deze vereisten te combineren met de ambitie om internationaal een toonaangevende rol te blijven spelen in het onderzoek dat zich uitstrekt over tenminste 45 ordes van grootte in lengteschalen – van de kosmos tot de wereld van de subatomaire deeltjes, met daar ruwweg tussenin de fysica van de menselijke maat – en dat zich steeds meer afspeelt in internationale verbanden en competitie, is de opdracht waarvoor de Nederlandse fysica zich gesteld ziet. In dit document formuleert de commissie ad hoc *Actieplan Natuurkunde* een visie voor de toekomst van de natuurkunde, waarop het zijn collega's uit de academische wereld, het onderwijs, het bedrijfsleven en de overheid hoopt te verenigen. Deze visie mondt uit in een nieuw Actieplan voor natuurkunde, met een groot aantal duidelijke aanbevelingen. Alvorens tot concrete voorstellen te komen formuleert de commissie eerst de bovengenoemde problemen en werkt de uitdagingen voor de toekomst verder uit.



JetNet, een voorbeeld voor Europa!

JetNet is een netwerk dat kinderen in contact brengt met hoogwaardige technologie en met de mensen die daar aan werken. Op dit moment zijn 27 Nederlandse bedrijven actief, vaak vanuit meerdere vestigingen, en 125 scholen. JetNet is door José Manuel Barroso, voorzitter van de Europese Unie, uitgeroepen tot een *best practice* die navolging verdient in andere lidstaten. Illustratie: JetNet

2. De uitdagingen en de toekomst van de Nederlandse fysica

De fysica beschikt als vakgebied aan het begin van de 21^{ste} eeuw nog altijd over alle intrinsieke drijfveren voor uitdagend en grensverleggend onderzoek – in feite lijken de vakinhoudelijke uitdagingen zelfs groter dan ooit: ongekend precieze data aan de achtergrondstraling van het heelal scheppen totaal nieuwe inzichten op het snijvlak met de kosmologie en astronomie, de nieuwe versneller LHC op CERN zal ongetwijfeld de toekomstige richting van de subatomaire fysica bepalen, nieuwe materialen (grafeen) en principes (*quantum computing*) binnen de gecondenseerde materie bieden nieuwe uitdagingen met aan de horizon unieke toepassingen. De vragen waarvoor zachte materialen en levende materie de fysica stellen dwingen fysici systemen in hun totale complexiteit te benaderen, (magnetische) nanostructuren die de laatste vijftien jaar ontdekt en ontwikkeld zijn, vinden al hun industriële toepassingen, nieuwe fysische instrumentatie en meettechnieken (*scanning probes*, optische lithografie) komen ten dienste van de industrie en andere vakgebieden zoals de levenswetenschappen. In al deze ontwikkelingen levert de Nederlandse fysica bijdragen op internationaal topniveau. De interne drijfveren om het vak op het hoogste niveau te blijven beoefenen zijn groot. Uit diverse onderzoeken blijkt dat

ons vakgebied een excellente discipline is die, ondanks dat ze naar omvang gemeten klein is, relatief een grote internationale impact heeft. Dit blijkt ook uit het feit dat tot nu toe meer dan tien fysici de Spinozapremie ontvingen als onderscheiding voor hun toponderzoek.

Versterking en behoud van excellentie is doelstelling nummer 1 voor de toekomst.

"Zowel de chemie als de fysica (en het verwante materiaalkundeonderzoek) blijken ondanks hun betrekkelijk geringe omvang zeer goed te scoren. In beide gevallen zijn Nederlandse publicaties in deze vakgebieden zelfs oververtegenwoordigd in de top-1% meest geciteerde publicaties wereldwijd – een blijk van de zeer hoge wetenschappelijke impact."

Het Nederlands Observatorium van Wetenschap en Technologie, Wetenschaps- en Technologie-Indicatoren 2000

Maatschappelijke ontwikkelingen plaatsen de Nederlandse fysici ook voor grote uitdagingen. De natuurkunde kan zich niet meer alleen richten op louter fundamenteel toponderzoek en op de opleiding van jonge mensen die monodisciplinair geschoold worden. Binnen de industrie is een groeiende behoefte aan jonge fysici die in staat zijn in grotere interdisciplinaire teams te werken – bij Philips werken fysici in projectteams met moleculair biologen, informatici, designers en psychologen. Ook om een bijdrage te kunnen leveren aan de oplossing van de grote uitdagingen op gebied van energie, klimaat, veiligheid, en gezondheid vraagt de maatschappij van ons een groter aantal afgestudeerden. Om aan die vraag te voldoen moeten wij fysici met trots de *'completere wetenschapper'* leren opleiden die creatief met collega's met een andere achtergrond kan meedenken, die hen de randvoorwaarden kan uitleggen die fysische principes stellen aan een mogelijke oplossing, en die mogelijke oplossingen voor gecompliceerde problemen kan aandragen. Onze huidige opleidingen zijn nog te vaak vooral gericht op de klassieke onderzoeker, die in een team van andere fysici academisch onderzoek doet, en te weinig op de fysicus die in een hoog-technologische maatschappij binnen overheid, onderwijs, of bedrijfsleven een bijdrage levert in een door niet-fysici gedomineerde werkomgeving.

Samengevat: de reikwijdte van de fysica is groter dan ooit, en loopt van fundamentele basiswetenschap tot ondersteunende wetenschap voor andere disciplines en de maatschappij.

De tweede doelstelling voor onze Nederlandse fysische gemeenschap is dan ook om onze bachelor-, master- en PhD-opleidingen te versterken en te verbreden door ze op deze veranderingen in te laten spelen.

Parallel hieraan zullen we masteropleidingen vaker op nationaal niveau moeten coördineren.

"Talenten ontplooiën en ten volle benutten, dat is de sleutel om de Nederlandse economie tot een van de meest vooruitstrevende in de wereld te maken. Daarbij zijn bèta's en technici van cruciaal belang. Zij spelen namelijk bij de ontwikkeling en toepassing van technologische innovaties in vele sectoren een belangrijke rol. Daarom is het van groot belang dat wij blijven investeren in het interesseren en vasthouden van getalenteerde jongeren voor de bèta- en techniekopleidingen en in de aan de bèta en techniek gerelateerde banen op de arbeidsmarkt."

Brief aan de Tweede Kamer van ministers Plasterk en Van der Hoeven d.d. 6 april 2007

Ook de natuurkundeleraar dient de prominente rol terug te krijgen die hij/zij verdient – goed geschoolde en enthousiaste docenten in het voortgezet onderwijs zijn het levensbloed voor een innovatieve technologische samenleving.

Ten derde doet de commissie daarom een aantal concrete voorstellen om de diverse nieuwe initiatieven die ontwikkeld zijn op de scholen intensiever vanuit de universiteiten te ondersteunen.

De lage instroom bij de natuurkunde van de afgelopen decennia hangt waarschijnlijk ook samen met het klassieke beeld van de natuurkundige, die op het VWO al fluitend hoge cijfers voor de bètavakken haalde maar zich voor andere zaken minder interesseerde. Dit beeld mag dan weinig reëel zijn – diverse Nederlandse fysici spelen een prominente rol in maatschappelijke debatten over onderwijs, de bètacanon, de relatie tussen geloof en wetenschap, en in binnen- en buitenland komen we fysici tegen in het publieke leven (Merkel, Terlouw, Winsemius, Van Gennip) – het bepaalt helaas nog te veel de geringe instroom voor ons vakgebied. Bovendien trekken we hierdoor te weinig breder georiënteerde scholieren van het type waar juist in de praktijk zo'n behoefte aan is. Hier is nog een wereld te winnen.

De vierde doelstelling van de commissie is om in de komende tien jaar een verdubbeling van de instroom en een navenante vergroting van de uitstroom van het aantal natuurkundestudenten te bereiken.

Dit doel zullen we moeten halen door de studie aantrekkelijker te maken voor *alle* in bèta en techniek geïnteresseerde studenten. Daarom zullen we ook dié bronnen beter aan moeten boren waar de Nederlandse fysica nog te weinig op heeft leren inspelen: de studie zal snel ook een natuurlijke keus moeten worden voor vrouwen en allochtonen. Het mes van grotere diversiteit snijdt hier aan twee kanten: veel fysici van de toekomst zullen opereren in de interdisciplinaire soort werkomgeving waarin vrouwen vaak excelleren (teamwork!) en succesvolle allochtone wetenschappers zullen een voorbeeldfunctie vervullen. De recente toename in de instroom van de afgelopen jaren voor de natuurkunde (hoofdstuk 4) laat zien dat de vele initiatieven die genomen zijn om de banden met het voortgezet onderwijs te verbeteren, vruchten beginnen af te werpen. Versterking van deze lijn in combinatie met de nieuwe maatregelen is dus een absolute prioriteit.

Ten behoeve van Point-One, het nationale innovatieprogramma op het gebied van nano-elektronica en embedded systemen, is een inventarisatie gemaakt van de beschikbaarheid en toekomstige behoefte aan technisch geschoolde medewerkers. Uit de studie in opdracht van het Platform Bèta Techniek door Berenschot uitgevoerd, blijkt dat in de komende vijf jaar een tekort van 155.000 personen met een bèta-achtergrond wordt verwacht, waarvan ruim 9000 op academisch niveau, 13.000 HBO, 75.000 MBO en 57.000 VMBO. Ongeveer een derde van de academici en een kleiner deel van de HBO-opgeleiden zijn fysici. Shell intensificeert de werving van fysici door op een gezamenlijke workshop met FOM de hoogleraren theoretische fysica op te roepen hun beste gepromoveerden naar het bedrijf te sturen.

Universiteiten moeten niet alleen kennis genereren en jonge onderzoekers opleiden, maar ook bijdragen aan de kennisbenutting. Het is van belang ook de mogelijkheden voor valorisatie van onderzoek te vergroten.

De vijfde doelstelling van de commissie is derhalve om het valorisatiepotentieel van de Nederlandse fysica sterker te vertalen in concrete nieuwe economische bedrijvigheid.

De kernvraag van dit actieplan is hoe we meer Nederlandse studenten kunnen interesseren voor de studie natuurkunde, waarbij ook de natuurkunde met meer spontaniteit en enthousiasme ingebed raakt in een proces van kennisbenutting en valorisatie. Vanuit dit oogpunt is het goed zich te realiseren dat de traditionele opsplitsing in technische en algemene universiteiten op het

gebied van de natuurkunde steeds minder relevant is. Ook in het buitenland ziet men een te sterke scheiding als contraproductief (reden waarom Harvard enkele jaren geleden ook een *department of applied physics* heeft geopend, en *dual appointments* met andere *departments* bevordert). De commissie kiest er dan ook welbewust voor om de gehele natuurkunde integraal te benaderen, en om op *alle* universiteiten opleidingen te realiseren waarbinnen fundamenteel en toegepast onderzoek verweven is. Daarom adviseert de commissie om de natuurkunde aan de algemene en technische universiteiten sterker te verknopen, met name RU en TU/e enerzijds en UL en TUD anderzijds – op dit moment is de RuG de enige universiteit die in de opleiding expliciet beide stromen aanbiedt. Bijkomend voordeel is dat dit het werk op het gebied van de fysica van levensprocessen op de technische universiteiten dichterbij de universitaire medische centra van de algemene universiteiten brengt.

Europa is onmiskenbaar trots op de Nederlandse fysica. In vergelijking met andere Europese landen heeft Nederland een sterk en wendbaar universitair bestel met een zeer goede reputatie van de fysica. De Nederlandse natuurkunde wil kwalitatief vooraanstaand blijven, onze bedrijven willen in de globalisering op goed wetenschappelijke opgeleid personeel kunnen rekenen en de veelkleurige en dynamische relatie tussen economie en wetenschap moet in Nederland beter dan elders in Europa floreren. De bekende slogan *'kwaliteit trekt kwaliteit'* wordt vaak betrokken op studenten en promovendi die trekken naar getalenteerde wetenschappers. Het is van groot belang om deze slogan ook om te draaien en te wijzen op wetenschappers die trekken naar de goede studenten. Een belangrijke reden voor getalenteerde wetenschappers om aan de bekende topinstituten te werken is dat de kwaliteit van de studenten/promovendi daar zo hoog is. Om als Nederland in de toenemende internationale concurrentie voor getalenteerde wetenschappers sterk te staan, zijn we er mee gebaat als we de universiteiten in staat stellen uit het aanbod uit Europa, Rusland, India en China (en wellicht uit de VS) de beste kandidaat-promovendi te werven. Onze internationale uitgangspositie is sterk genoeg om de concurrentie aan te kunnen met andere universiteiten in Europa. Als we nu de initiatieven zoals geschetst in dit plan nemen, zal ook langs deze weg de aantrekkingskracht op sterk getalenteerde wetenschappers om in Nederland een loopbaan in onderwijs en onderzoek op te bouwen, sterk toenemen.

Door de teruggang van de studentenaantallen en de koopkracht van de universitaire budgetten in de jaren negentig van de vorige eeuw, is de huidige situatie aan de universiteiten precair. De omvang van de staf is teruggelopen terwijl deze kleinere staf meer colleges moet verzorgen, en bij een steeds groter aantal initiatieven voor verbetering van de contacten met het voortgezet onderwijs en de vergroting van de instroom betrokken wordt. Daarnaast voelen onderzoekers een steeds sterkere concurrentie voor onderzoekfondsen op nationale en Europese schaal. De zwaartepunten die aan veel universiteiten zijn ontstaan om de versnippering van het onderzoek zo goed mogelijk het hoofd te bieden, zijn in veel opzichten een goed uitgangspunt voor nationale *taakverdeling en concentratie*.

De commissie stelt zich als zesde doel om het onderzoek en de opleidingen te versterken via de lijn van focus en massa: enerzijds door structurele lange termijn diepte-investeringen in de universitaire opleidingen en onderzoeksgroepen te doen op een aantal belangrijke focusgebieden, anderzijds door gerelateerd onderzoek aan verschillende instellingen te verbinden via nationale programma's uit de tweede geldstroom. De extra investeringen die voor het voorgestelde totaalpakket nodig zijn, komen neer op een additionele investering van ongeveer tien procent van de jaarlijkse uitgaven aan natuurkunde via de eerste en tweede geldstroom. De enorme meerwaarde van de maatregelen is gelegen in het feit dat zij bouwen op de aanwezige infrastructuur en op initiatieven die hun waarde de afgelopen paar jaar bewezen hebben.

"Als theoretisch natuurkundige is het geweldig om te proberen de grote raadselen van de natuur op te lossen. Zo heb ik met veel plezier met Quantum Chromodynamica geprobeerd te begrijpen hoe allerlei elementaire deeltjes aan hun massa's komen. Maar dat soort raadsels zijn toch behoorlijk esoterisch. In mijn huidige werk voor Shell probeer ik ook moeilijke raadsels op te lossen, maar dan gaat het om praktische problemen. Bijvoorbeeld: hoe kom ik aan de weet of CO₂ voldoende lang op zijn plaats blijft als we proberen het op te slaan in een uitgeproduceerd gasreservoir? Het aardige is dat ik bij de aanpak van dit soort concrete vragen mijn natuurkundige kennis en vaardigheden volop kan gebruiken. En voor sommige problemen zoeken we natuurlijk weer samenwerking met de universiteiten en met de Stichting FOM om zo te proberen ook de expertise van mijn meer fundamenteel geaarde vakgenoten aan te boren." Jeroen Vink (Shell)

Fysica en astronomie zijn nauw verwante disciplines. Aan alle algemene universiteiten die een natuurkundeopleiding aanbieden, is het bacheloronderwijs dan ook nauw verweven met het onderwijs in de sterrenkunde. Ook binnen het onderzoek liggen enkele van de meest fascinerende thema's op het snijvlak van deze twee disciplines, en deze onderwerpen spelen in de praktijk ook een grote rol bij de *outreach* en bij het motiveren van jonge mensen voor ons vakgebied. Het sterrenkundig onderzoek wordt in Nederland op nationale schaal gecoördineerd door de toponderzoeksschool NOVA en valt buiten het bestek van dit actieplan. Bij de afweging van de voorstellen voor versterking van het onderwijs en de focussing in het onderzoek heeft de commissie het belang van deze nauwe band met de sterrenkunde echter sterk meegewogen. De onderzoeksthema's waarbinnen de natuurkunde sterk met de astronomie samengewerkt vallen alle binnen het voorgestelde focusgebied quantumuniversum.

3. Uitgangspunten

Het actieplan 'Fysica voor de toekomst – Toekomst voor de fysica' ter versterking van de kennisinfrastructuur voor (technische) natuurkunde in Nederland is gebaseerd op de volgende uitgangspunten.

1) *Versterking excellentie*. Het Nederlandse natuurkundeonderzoek is op diverse gebieden internationaal toonaangevend. Het is van belang hier krachtig op in te blijven zetten en waar mogelijk verder te versterken, enerzijds voor de uitstraling en de aantrekkingskracht van het vakgebied en anderzijds omdat baanbrekend onderzoek vaak aan de basis van nieuwe technologische ontwikkelingen ligt.

2) *Lever een substantiële bijdrage aan problemen die cruciaal zijn voor de samenleving*. Continueer, en zo mogelijk intensiveer, de steun voor uitstekend onderzoek in gebieden die zeer belangrijk zijn voor de Nederlandse samenleving zoals energie, gezondheid, industrie, water, klimaat en veiligheid.

3) *Basis- en ondersteunende discipline*. De natuurkunde is bij uitstek een basiswetenschap die de oorsprong en eigenschappen van de fundamentele bouwstenen van materie ontrafelt en deze kennis vervolgens gebruikt om deze eigenschappen te manipuleren en toe te passen. Hoewel focus en inbedding van het onderwijs en onderzoek op technische en algemene universiteiten verschillend kan zijn, is vakinhoudelijk een onderscheid tussen technische en niet-technische natuurkunde niet zinvol. Bij de afweging van de voorstellen heeft de commissie meegewogen dat natuurkunde voor andere disciplines – wiskunde, sterrenkunde, chemie, meteorologie, aardwetenschappen, elektrotechniek, lucht en ruimtevaart, biologie, medische

wetenschappen – een belangrijke ondersteunende of complementaire discipline is, en dat de opleidingen sterker op dit aspect van de natuurkunde moeten inspelen.

4) *Verhoging efficiëntie en rendement in onderwijs en onderzoek.* Ook bij de beoogde verdubbeling van de instroom zullen we, gezien de kleinschaligheid en arbeidsintensiviteit van de natuurkundeopleiding, ernaar moeten streven de beschikbare middelen efficiënt in te zetten. Dit zal moeten gebeuren door bacheloropleidingen in de natuurkunde van voldoende omvang te creëren en zwaartepunten in het onderzoeksveld te kiezen die gekoppeld worden aan gespecialiseerde masteropleidingen. Dit zal ook leiden tot locatiekeuzes voor grote en middelgrote apparatuur. Door versterking van de interacties met het voortgezet onderwijs, niet alleen door tutoren vanuit het VWO naar de universiteit te halen maar ook door het inzetten van universitaire docenten en specialisten uit het bedrijfsleven bij het VWO, moet het rendement van de studie worden verhoogd. De voorgestane aanpak hierbij is om voort te bouwen op *best practices* van de afgelopen jaren, zoals de inspanningen van de RU waardoor de instroom de afgelopen jaren met een factor 2.5 is toegenomen.

5) *Focus en massa in onderwijs en onderzoek.* Om tot een daadwerkelijke versterking van de kennisinfrastructuur voor de natuurkunde te komen stelt de commissie in dit plan voor excellent onderzoek en onderwijs te bundelen via gericht gekozen zwaartepunten, gecombineerd met een brede bacheloropleiding in de natuurkunde met een goede landelijke spreiding. Bij de verbreding van de bacheloropleiding zullen opleidingen in moeten spelen op lokaal aanwezige expertise (een managementopleiding, journalistiek, rechtenstudie, milieukunde, niet-westerse studies). Samenwerkingen tussen technische en algemene universiteiten en interacties met het bedrijfsleven zullen hiervoor worden versterkt en waar nodig zullen opleidingen worden samengevoegd. Zo bereiken we een bundeling van excellent onderzoek met onderwijs, hetgeen ook de aantrekkelijkheid van de opleiding zal vergroten. In combinatie met de voorgestelde vergroting van de efficiëntie en het rendement beoogt dit de uitstroom van goedopgeleide fysici substantieel te verhogen. Dit moet tevens gebeuren door niet alleen meer excellente onderzoekers op te leiden, die van groot belang zijn voor de verdere ontwikkelingen in onze door technologie gedreven kenniseconomie, maar ook en in toenemende mate door jonge mensen op te leiden die hun vermogen tot analyseren en *problem solving* weten te combineren met kennis en inzicht in andere disciplines en maatschappelijke vraagstukken. Hiertoe zullen de Communicatie-, Management- en Educatievarianten een betere inbedding moeten krijgen en versterkt moeten worden. Deze opleidingen zouden nationaal moeten worden gecoördineerd en worden aangeboden door een beperkt aantal instellingen, inspeland op lokale expertise.

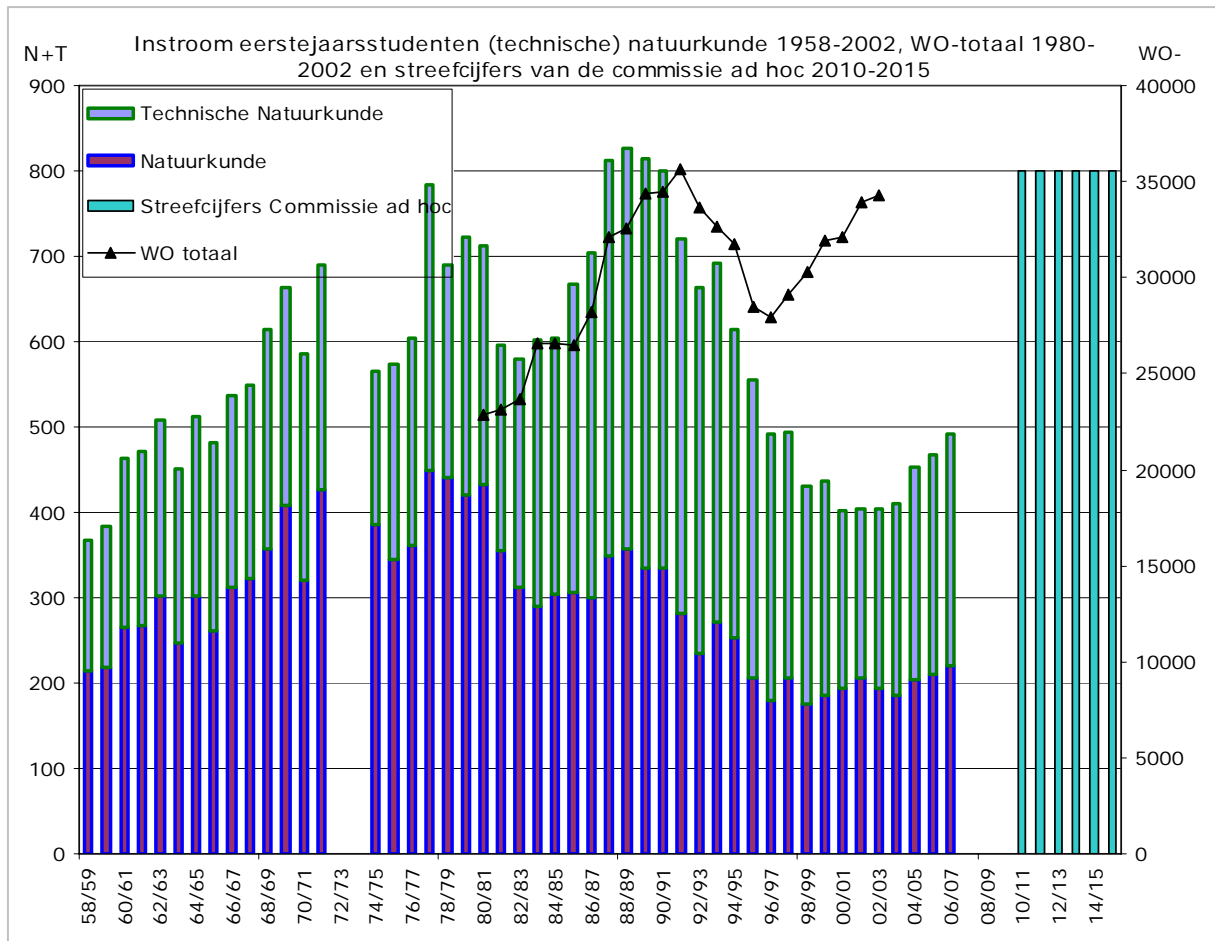
De doorstroom van de drie HBO-instellingen met een natuurkundeopleiding naar de universiteiten wordt in dit rapport niet verder besproken, omdat het om zeer kleine aantallen gaat, waarvoor in voorkomende gevallen altijd maatwerk kan worden geleverd.

6) *Eerste versus tweede geldstroom.* De versterking van de Nederlandse natuurkundekennisinfrastructuur zal gepaard moeten gaan met een structurele verhoging van de financiële middelen. Hieraan gekoppeld zal er ook een gezondere balans gecreëerd moeten worden tussen de basisfinanciering (eerste en tweede geldstroom) en de privaat-publieke gelden (derde geldstroom). Het Actieplan Natuurkunde kiest hier voor een duidelijke lijn: de versterking van het onderwijs zal ten goede moeten komen aan de eerste geldstroom waarbij duidelijke en lange termijnafspraken worden gemaakt met de kennisinstellingen. Bij het tot stand brengen en uitvoeren van de keuzes voor de zwaartepunten voorziet het plan een duidelijke coördinerende taak voor FOM.

4. Het onderwijs als basis

De afgelopen decennia is het belang van de fysica als ondersteunende discipline voor de biologie, astronomie, chemie, wiskunde en informatica, toegenomen. De maatschappij verwacht innovatieve ideeën van fysici voor het veilig stellen van de toekomstige energievoorziening en de verbetering van de gezondheidszorg. Nanotechnologie heeft de potentie een technologische revolutie te veroorzaken. De Nederlandse high-tech industrie kampt met een sterke toename van het aantal open vacatures voor fysici. Afgestudeerde fysici zelf opteren tegenwoordig niet alleen meer voor een carrière in de fysica, maar ook voor carrières in sectoren uiteenlopend van de journalistiek en consultancy tot de haute-finance.

In het licht van al deze positieve ontwikkelingen, is het teleurstellend te moeten constateren dat de instroom van eerstejaars bachelorstudenten in de fysica zich al jaren structureel op een (veel) te laag niveau bevindt (zie figuur). Tot het midden van de jaren negentig van de vorige eeuw hield de instroom bij de natuurkunde nog gelijke tred met de totale instroom van eerstejaars in het WO. Sindsdien is helaas sprake van een sterk groeiende kloof in het nadeel van de fysica. Om deze trend te keren is een verandering nodig van zowel het universitaire fysicacurriculum als van het imago van de huidige fysicastudie. Uitgangspunt hierbij is verhoging van het rendement met behoud van kwaliteit. Bovendien is het nodig de recent geëntameerde contacten tussen universiteiten en basisscholen en voortgezet onderwijs te continueren en waar mogelijk verder uit te breiden.



Figuur: Totale instroom bij de natuurkundeopleidingen sedert 1958. De instroom bij de technische universiteiten en de algemene universiteiten is met een aparte kleur aangegeven. Op de x-as is het collegejaar weergegeven (bijvoorbeeld '58/'59). De doelstelling van de commissie is een instroom van 800 eerstejaars binnen tien jaar. NB. Voor 1973 zijn geen cijfers beschikbaar ten gevolge van de toenmalige collegegeldboycot. Langs de rechteras is de totale jaarlijkse instroom in het wetenschappelijk onderwijs uitgezet; vergelijking van de totale instroom met de instroom van de natuurkundeopleiding laat zien dat terwijl het percentage van de scholieren dat natuurkunde gaat studeren tussen 1979 en 1994 vrijwel constant rond de 2,2 procent lag, dit percentage in 2003 bijna gehalveerd was.

Basis- en voortgezet onderwijs. De afgelopen jaren zijn vanuit de overheid, de industrie en de universiteiten projecten opgezet om de jeugd meer te interesseren voor technisch en bèta-georiënteerde carrières. *HiSPARC* laat scholieren op hun eigen school meten aan kosmische straling: hoog-energetische deeltjes die met miljoenen per seconde op onze atmosfeer knallen en waarvan de bronnen zelfs vandaag de dag nog onbekend zijn. *Technific* wekt het enthousiasme voor de techniek bij kinderen en jongeren via een waaier aan activiteiten, waaronder bijvoorbeeld *'ingenieur voor de klas'*. De natuurkundige gemeenschap organiseert jaarlijks het *Techniek Toernooi* en de *Eureka Cup* voor leerlingen uit het basis- en voortgezet onderwijs, Rijnhuizen trekt het land in met de *Fusion Road Show*. De *Stichting Techniek-promotie* is zeer actief, en studenten en promovendi van *RINO* hebben internationale faam met hun demonstraties op scholen. De website www.natuurkunde.nl heeft zich ontwikkeld tot een actuele, aantrekkelijke bron van informatie en contacten rondom natuurkundeonderwijs in Nederland. De *Commissie Vernieuwing Natuurkundeonderwijs havo/vwo* ('NiNa') werkt met een groep enthousiaste leraren aan vernieuwing en versterking van de natuurkundecurricula voor HAVO en VWO. Deze, en andere activiteiten, moeten we continueren. De commissie pleit

in het bijzonder voor versterking van de band tussen enerzijds de universiteiten en anderzijds de Technasia, Bètapartner en Universum scholen. Het Technasium is een nieuwe onderwijsstroom voor VWO en HAVO waarin het nieuwe examenvak 'Onderzoek en Ontwerpen' centraal staat. De Bètapartner scholen rond Amsterdam propageren de keuze voor de natuurprofielen op het VWO. Het Universum programma betreft een netwerk van 100 scholen, die willen uitblinken in het onderwijs van de bètavakken. Ieder van deze scholen heeft een volgschool.

Vijftien procent doelstelling. Het Platform Bèta Techniek heeft in 2004 het doel gesteld om vijftien procent meer instroom in het hoger bèta- en technisch onderwijs in 2007 en vijftien procent meer uitstroom in 2010 te realiseren, beide ten opzichte van het jaar 2000. *Universum*, *Bètapartner* en *Technasia* scholen leveren een belangrijke bijdrage aan de realisatie van deze doelstelling.

Om de kwantitatieve doelstellingen te halen willen we dat de *best practices* van de *Technasia*, *Bètapartner* en de *Universum* scholen worden overgedragen aan honderden andere scholen. De commissie voorziet per natuurkundeopleiding één fte om de samenwerking met dergelijke scholen in de regio te bevorderen. Naast al deze op leerlingen zelf gerichte activiteiten, is de commissie ook van mening dat aansprekende onderzoeksresultaten en innovatieve fysische ideeën nog frequenter onder de aandacht van het publiek, en in het bijzonder de ouders, gebracht moeten worden in de landelijke pers en op televisie. Dit zal een breed gedragen appreciatie van de techniek en de bètavakken zeker bevorderen, en daarmee waarschijnlijk ook de instroom.

De Nederlandse Natuurkundige Vereniging (NNV) speelt een centrale rol bij het entameren en coördineren van de vele contacten tussen de universiteiten en het voortgezet onderwijs. De commissie beveelt aan dat de NNV deze rol houdt en dat een deel van het voorgestelde budget (hoofdstuk 7, maatregel 3) door de universiteiten en FOM voor dergelijke activiteiten gereserveerd wordt.

Het is voor de opleiding en motivatie van de leerlingen ook van belang dat zij les krijgen van universitair geschoolde bètadocenten, en dat deze docenten voeling *blijven* houden met de wetenschappelijke wereld. Daartoe pleit de commissie voor de aanstelling van docenten uit het voortgezet onderwijs in deeltijd bij de universiteiten, en voor meer mogelijkheden voor leraren om tijdens een *sabbatical* mee te draaien in een onderzoeksgroep. Anderzijds zullen ook universitair docenten gestimuleerd worden om in deeltijd in het voortgezet onderwijs les te geven.

Veel van de bovenstaande initiatieven richten zich op de huidige docenten. Het is voor de toekomst van de scholing in de natuurkunde en de overige bètavakken ook van belang dat er meer docenten met een universitaire graad voor de klas komen, met andere woorden dat een baan in het voortgezet onderwijs weer een aantrekkelijk carrièreperspectief wordt voor de studenten van nú. Er zijn veel studenten met didactische gaven en interesse in lesgeven die de stap naar een *fulltime* positie in het voortgezet onderwijs niet willen maken omdat ze dan de connectie met de wetenschap verliezen. Om dit dilemma te doorbreken, en tegelijkertijd de voeling van de docenten in het voortgezet onderwijs met de wetenschap te bevorderen, beveelt de commissie aan om de mogelijkheid van dubbelbanen te bevorderen: een aanstelling parttime als docent, parttime als universitair onderzoeker. Binnen het huidige onderwijsstelsel, en het huidige financierings- en beoordelingssysteem van de universiteiten, is een dergelijke

aanstelling vrijwel onmogelijk. Dit is de reden dat de commissie geen apart budget voor dergelijke posities gereserveerd heeft. Wij doen echter een indringend beroep op instanties als OCW en de VSNU om, in samenspraak met verenigingen als de NNV en NVON en zusterorganisaties van de scheikunde en wiskunde, een nationaal plan te ontwikkelen om dergelijke duo-aanstellingen mogelijk te maken en te bevorderen.

Bacheloropleiding. Ondanks het feit dat de Nederlandse fysicaopleiding internationaal hoog aangeschreven staat, is de instroom van eerstejaars bachelorstudenten in de fysica bij de technische en algemene universiteiten laag (zie de eerdere figuur en de uitsplitsing in bijlage 2). De commissie streeft naar een gemiddelde instroom van eerstejaars per bacheloropleiding van ongeveer 100. Dit zowel om een redelijke efficiëntie te bereiken als om voldoende interactie en stimulans binnen het cohort te garanderen. Ten opzichte van het jaar 2000 betekent dit bijna een verdubbeling. Deze doelstelling is ambitieuzer dan de doelstelling die het Platform Bèta Techniek in 2004 geformuleerd heeft: *vijftien procent meer instroom in 2007 dan in 2000*. De commissie denkt deze verdubbeling binnen 10 jaar te bereiken door een continuering en verdere uitbouw van de reeds, in het bijzonder door het Platform Bèta Techniek, ingevoerde maatregelen om daarmee het 'weglekken' van VWO'ers met NG- en NT-profielen naar niet-bètastudies te verminderen en door verbeteringen in de *bacheloropleiding* zelf.

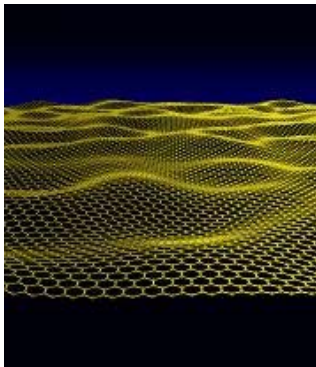
Gezien de al bestaande samenwerking tussen UvA en VU en vanwege de geringe geografische afstand, vraagt de commissie de twee Amsterdamse universiteiten gezamenlijk één bacheloropleiding te definiëren terwijl de andere universiteiten ieder een eigen bacheloropleiding blijven aanbieden. Zo behouden we ook de huidige complete geografische dekking van fysica opleidingen over Nederland. Immers, de praktijk wijst uit dat de instroom voor de natuurkunde in regio's waar de opleiding niet wordt aangeboden, lager is dan in regio's waar wel een universitaire studie natuurkunde is. Wel beveelt de commissie aan dat de UL en TUD enerzijds en de RU en TU/e anderzijds hun reeds geïnitieerde samenwerkingsverbanden verder uitbouwen, zodat de studenten op deze plaatsen een breder palet van fundamenteel tot toepassingsgericht onderwijs wordt aangeboden. In het kader van de gewenste verknoping van de algemene en de technische natuurkunde wordt de RUG gevraagd beide stromen (de algemene en de technische) te handhaven maar deze gestalte te geven in een brede bachelor Natuurkunde en Technische Natuurkunde. Dit betekent ook dat vanwege de gewenste geografische dekking er in Groningen apart naast de andere masteropleidingen in de Natuurkunde een master in de Technische Natuurkunde met bijbehorende ingenieurstitel gehandhaafd moet blijven. De volwaardigheid van de technische track in de brede Groningse bachelor wordt door de technische universiteiten erkend via een probleemloze toegang tot de bijbehorende masters aan deze universiteiten.

Om een maximale keuzevrijheid voor de aansluitende masteropleiding mogelijk te maken, pleit de commissie voor de invoering van een generieke brede bacheloropleiding, met wellicht een nuanceverschil tussen de bacheloropleidingen aan de technische universiteiten en de algemene universiteiten. Ook om de overgang van het voortgezet onderwijs naar de universiteit sterk te verbeteren wil de commissie de uitwisseling tussen voorgezet en hoger onderwijs verder versterken. Dit via een duale aanpak: door de voornoemde intensivering van de samenwerking tussen scholen en universiteiten en door per universiteit twee fte-posities vrij te maken te verdelen over tutoraanstellingen (in het bijzonder voor in het eerste studiejaar) en stage-mogelijkheden voor universitaire docenten op scholen, en omgekeerd van docenten uit het voortgezet onderwijs op de universiteiten. Hiermee verwacht de commissie zowel docenten extra te motiveren als studenten met studieproblemen vroegtijdig te identificeren, wat het studierendement zal verhogen. De doelstelling dient te zijn dat er aan het eind van het eerste

jaar van de bacheloropleiding een duidelijk toetsmoment is, en dat 95 procent van de studenten die een positief studieadvies krijgen ook daadwerkelijk hun bachelordiploma halen in niet veel meer dan drie jaar. De commissie streeft naar een totaalrendement van de bacheloropleiding van 75 procent, opdat, bij een instroom van 800 studenten, de natuurkundeopleidingen ongeveer 600 afgestudeerde fysici per jaar zullen afleveren. Dit rendement ligt zo'n vijf tot tien procent hoger dan op dit moment, maar de commissie acht dit haalbaar in samenhang met de initiatieven voor verbetering van de aansluiting met het VWO en van de begeleiding van de studenten; de verhoging van het rendement mag niet worden bereikt door verlaging van het niveau.

Om recht te doen aan de diverse carrièremogelijkheden van toekomstige fysici moeten alle universiteiten, behalve aan de *Onderzoek (O)*-variant, een serieuze invulling geven aan de *Communicatie*-, *Management*-, en *Educatie(CME)*-variant door al in het bachelorcurriculum CME-gerelateerde cursussen aan te bieden. Met het oog op het stimuleren van valorisatie en *start-ups* is het aan te bevelen ook al in het bachelorcurriculum een keuzevak ondernemerschap aan te bieden.

De commissie vindt dat de aantrekkelijkheid van een fysicastudie voor alle scholieren slechts verhoogd kan worden door meer vrouwen en allochtonen aan te stellen als UD, UHD of hoogleraar. De commissie wil hiervoor de komende 10 jaar een oplopend bedrag vrijmaken opdat na deze 10 jaar vrouwen en allochtone minderheden uit Nederland minimaal zo'n 50 extra stafposities bezetten. Voor vrouwen impliceert dat meer dan een verdubbeling ten opzichte van het huidige aantal door vrouwen beklede stafposities. Deze posities zullen via een procedure van open competitie onder regie van FOM dan wel het Gebiedsbestuur Natuurkunde van NWO toegekend worden.



Grafeen, een jongensdroom.

Ultradun koolstof biedt uitzicht op exotische verschijnselen en nieuwe elektronica. "Dit is in ons vak de ultieme jongensdroom," zegt de Leidse natuurkundige Carlo Beenakker, "deze nieuwe vorm van koolstof laat allerlei verschijnselen zien die tot nog toe alleen theorie leken." (Volkskrant 3 maart 2007)
Illustratie: Jannik Meyer/Lorentz Center

Masteropleiding. Met een brede bacheloropleiding kunnen we de masteropleidingen beter toesnijden op de onderzoekszwaartepunten van de individuele universiteiten zoals gepresenteerd in hoofdstuk 5 van dit rapport. De excellente kwaliteit van het Nederlandse fysicaonderzoek resulteert in een zeer aansprekend en boeiend palet van masteropleidingen. Verwacht mag worden dat, gezien de Europa-brede invoering van het bachelor-mastermodel, deze masteropleidingen ook een toenemend aantal buitenlandse studenten zullen trekken. In afwezigheid van een duidelijke *graduate school* speelt de masteropleiding ook een belangrijke rol bij de werving in het buitenland als opstap naar een PhD of een baan in het Nederland. De commissie acht een instroom van 25 masterstudenten per jaar een redelijk minimum voor een gezonde masteropleiding. Gezien de toenemende internationalisering van zowel onze samenleving als van het fysicaonderzoek, verwacht de commissie van alle masteropleidingen dat een buitenlandse stage een integraal onderdeel uitmaakt van het curriculum voor studenten die hun bachelors in Nederland hebben behaald. Vanwege de zeer diverse vervolgcarières van de

afgestudeerde fysici is het essentieel dat de *Onderzoek (O)*-variant en de *Communicatie-, Management-, en Educatie(CME)*-varianten alle volwaardig aangeboden worden binnen alle masteropleidingen. Essentieel hierin is het vereiste speciale curriculum voor de CME-varianten landelijk op te zetten waarbij het cursorisch deel voor elke disciplines (C, M of E) aangeboden wordt aan het gehele CME-cohort op één locatie. Dit doen we zowel om te vermijden dat cursussen voor een te kleine groep studenten gegeven moeten worden als ook om de kwaliteit van de cursus te verhogen, door bijvoorbeeld *professionals* in te huren. Zoals bij de uitgangspunten is aangegeven is het van belang om hierbij ook gebruik te maken van lokaal aanwezige expertise.

PhD-traject. Het onderzoek resulterend in een PhD-graad is ingebed in (landelijke) door de KNAW erkende onderzoekscholen. De fysica kent een aantal onderzoekscholen, waaronder enkele toponderzoekscholen. De opleidingen onderscheiden een cursorisch deel dat naadloos aansluit op de Nederlandse masteropleidingen en een onderzoekdeel. Verschillende instanties spelen met de gedachte de master- en PhD-opleidingen, naar Amerikaans model, te integreren in een *graduate school*. Het feit dat het percentage buitenlanders onder de PhD-studenten in Nederland met 45 procent aanzienlijk hoger is dan in de meeste andere Europese landen, illustreert niet alleen de goede reputatie van de Nederlandse fysica, maar ook de toegankelijkheid van het ons systeem (mastercolleges en seminaria in het Engels!) en de verwevenheid van de Nederlandse fysica met die in het buitenland. Dit zijn *assets* die ook in de toekomst gekoesterd zullen moeten blijven worden. Tegelijkertijd maskeert dit hoge percentage promovendi uit het buitenland de te geringe instroom vanuit ons eigen land. Ondanks dat ongeveer 25 procent van de buitenlandse promovendi zijn of haar eerste werkkring in het Nederlandse bedrijfsleven vindt, is er, zoals eerder uiteengezet is, grote behoefte vanuit ons bedrijfsleven aan een groter aantal Nederlandse gepromoveerden. De Nederlandse universiteiten zouden daarom voldoende kwalitatief hoogwaardige kandidaat-promovendi moeten leveren.

De goed lopende PhD-opleidingen vereisen geen financiële maatregelen in de ogen van de commissie. Wel is het zorgelijk dat op veel universiteiten het aantal beschikbare aio plaatsen sterk gereduceerd is; dit is een reden te meer voor de commissie om bij de impuls voor het oprichten van nieuwe groepen (hoofdstuk 7, punt 4) een budget per groep te reserveren waaruit ook aio-posities gecreëerd kunnen worden. Tenslotte acht de commissie het wenselijk de gemiddelde duur van een promotie tot vier jaar te beperken. In punt 6 van het volgende hoofdstuk doen we twee suggesties om dit te bevorderen. De commissie is ervan doordrongen dat het volgen van de voortgang van promoties – en het nemen van maatregelen om vlotte promoties en goede begeleiding van promovendi te bevorderen – op het facultaire niveau van de universiteiten zal moeten plaatsvinden. Het verdient aanbeveling bij de implementatie van de voorgestelde maatregelen afspraken hierover met de faculteiten te maken en die in duidelijke *terms of reference* vast te leggen.

5. Onderzoek: actiepunten, zwaartepunten en focusgebieden

5.1 Analyse en actiepunten

Aan de analyse van de huidige positie van de Nederlandse natuurkunde ligt een aantal observaties van de commissie ten grondslag, die zij in combinatie met de voorstellen voor de focussing van het onderzoek, met het veld wil delen. Sommige betreffen knelpunten die in de toekomst tot actiepunten voor de fysische gemeenschap moeten leiden, andere hebben meer het karakter van overwegingen die men bij de uitvoering en toekomstige planning in het achterhoofd moeten houden.



Spiegels voor extreem UV.
Het FOM-Instituut voor Plasmafysica Rijnhuizen ontwikkelt spiegels voor extreem ultraviolet licht voor Carl Zeiss, bijvoorbeeld voor de nieuwe generatie wafersteppers van ASML. Foto: FMAX/Nout Steenkamp

1) *Instrumentatie*. De commissie is er van overtuigd dat we de enorme potentie van de natuurkundige kennis en kunde op het gebied van *Instrumentatie* voor het innovatieve vermogen van ons land onvoldoende benutten, door een gebrek aan nationale coördinatie en samenwerking. Er zijn enkele zeer sterke groepen die zich specifiek op instrumentatie richten (TUD, TU/e), terwijl ook diverse universitaire en nationale laboratoria *state-of-the-art* instrumenten ontwikkelen, bouwen, en exploiteren, zowel voor eigen gebruik als ten behoeve voor grote internationale faciliteiten. Tot voor kort bestond er echter, uitzonderingen daargelaten, te weinig aandacht voor het gebruik van *in-house* ontwikkelde technologie door derden, met name door de industrie. De recente oprichting door consortium NIMIC waarin academische natuurkundegroepen hun expertise ten dienste stellen van samenwerking met de industrie (FEI, Shell) en academische ziekenhuizen, is een goed voorbeeld van het kapitaliseren op binnen de fysische gemeenschap aanwezige kennis. Er zijn tal van andere voorbeelden van bijzondere hoog-technologische kennis en expertise bij universitaire groepen en bij centra met unieke faciliteiten (Nikhef, AMOLF, het High Field Magnet Laboratory (RU), het Reactor Instituut Delft, KVI (RuG), Rijnhuizen, het MESA+ Institute for Nanotechnology aan de UT, het Kavli Instituut aan de TUD) die we sterker kunnen benutten dan tot nu toe het geval is. Translatie van technologie zal ook in de toekomst leiden tot nieuwe inzichten en grensverleggend onderzoek in de medisch/biologische disciplines, een onderwerp dat nauw aansluit bij de kernactiviteiten van Philips. Hierbij valt te denken aan hoge resolutie microscopie, *wavefront shaping* gecombineerd met niet lineaire microscopie, integratie van fluorescentie met *synthetic aperture microscopy* of digitale holografie in het optische of zachte X-ray regime, en de ontwikkeling van moleculaire fiberoptische probes voor in situ chemische analyse. Als voorbeeld kan dienen de *Optical Coherence Tomography*, een optische techniek analoog aan ultrageluid die hoge resolutie afbeeldingen kan maken van biologische weefsels. Ook hier valt op nationaal niveau te leren van *best practices*, zoals de integratie van optica en fysica van levensprocessen aan het Laser Center aan de VU. De commissie adviseert de fysische gemeenschap en de industrie in samenwerking met de Stichting FOM met klem het onderzoek en de valorisatie van de

Instrumentatie te versterken, vooral door sterkere nationale coördinatie en sturing en door verkorting van de lijnen naar andere disciplines en naar de industrie.

2) *De eeuw van het foton*. Dwars door alle ontwikkelingen en focussing heen loopt het feit dat waar men de 20^{ste} eeuw wel omschrijft als 'de eeuw van het elektron', met geweldige maatschappelijke en economische impact via vele aansprekende toepassingen zoals telefonie, radio/televisie, computers, magnetron, medische diagnose apparatuur (MRI, PET,...), we de 21^{ste} eeuw wel eens 'de eeuw van het foton' zouden kunnen gaan noemen. Het gebied van de Fotonica kent grote wetenschappelijke uitdagingen – tot en met quantumcomputing via optische technieken toe – en heeft een enorme innovatiepotentie. Het gebied omvat de wetenschap van het genereren, controleren en toepassen van licht (vooral coherent laserlicht). De toekenning van de Nobelprijs voor de Natuurkunde in 2005 aan de fysici Hänsch en Hall voor hun belangrijke bijdragen aan de ontwikkelingen op het terrein van de volledige controle over coherent licht, samen met de Nobelprijzen aan chemici (Zewail) en fysici (Schawlow, Townes) in de jaren negentig van de vorige eeuw, illustreren de internationale status van dit gebied in hoge mate. Reeds nu al zijn er veel toepassingen gerealiseerd met revolutionaire uitstraling (van optische communicatie via glasvezelkabels, optische dataopslag en –recording, visualisatietechnologie, non-invasieve medische diagnostiek, milieumonitoring tot aan *single-molecule* detectie als voorbeelden). Naar het zich laat aanzien is deze ontwikkeling nog maar pas begonnen, en het is van belang sterke groepen op dit gebied krachtig te blijven steunen. Zwaartepunten op dit gebied in Nederland, speciaal gericht op het uitbuiten van fotonica, zijn het Amsterdam Institute for Laser Science and Biophotonics aan de VU en het Center for Nano Photonics bij AMOLF.

3) *De theoretische natuurkunde*. De keuze voor focusgebieden is sterk thematisch ingegeven. De theoretische fysica in Nederland staat op uitzonderlijke hoog niveau (twee Nobelprijzen, vier Spinozapremies) met als zwaartepunt de drie theorie-instituten van UvA, UL en UU. Juist in de theoretische fysica vinden doorbraken vaak plaats door kruisbestuiving van methoden en concepten over de traditionele grenzen van onderzoekthema's heen – binnen de theoretische natuurkunde is sterke behoefte aan het koesteren van conceptuele banden die dwars door de indeling in focusgebieden heen lopen. De commissie steunt daarom het voorstel van de drie theorie-instituten om hun internationale concurrentiepositie te verstevigen en deze dwarsverbanden te intensiveren door onderzoek en onderwijs op nationaal niveau te bundelen in het op te richten samenwerkingsverband *Netherlands Institute of Theoretical Physics*. Dit zal de bijdragen van de theorie aan de geselecteerde thema's ten goede komen, door bevordering van de kruisbestuiving tussen de focusgebieden op conceptueel en theoretische niveau. De plannen voor de oprichting van het NITP zijn naar de mening van de commissie uitstekend te verwezenlijken binnen het kader van het in dit actieplan voorgestelde initiatief voor oprichting van een aantal nieuwe groepen (hoofdstuk 7, punt 4). Ondersteuning van individuele excellente theoriegroepen aan andere universiteiten, ook via de landelijke onderzoeksschool theoretische natuurkunde, dient uiteraard te worden gehandhaafd.

4) *Rolling grant subsidies*. De commissie nodigt FOM dan wel het Gebiedsbestuur Natuurkunde van NWO uit om voor een beperkt aantal excellente wetenschappers die een bewezen *track record* hebben in het onderzoek en bij de begeleiding van promovendi en postdocs (vlotte promoties, doorstroming naar posities aan toonaangevende universiteiten, oprichten van *start-up companies*), een beperkt *rolling grant* systeem in te stellen. Zo overbruggen we de kloof tussen de VICI subsidies en de Spinozapremies. In het huidige systeem moeten deze wetenschappers via een vrijwel continue stroom van projecten voor één oio of postdoc hun onderzoek financieren. De commissie is er van overtuigd dat een dergelijk systeem de creativiteit en durf in het onderzoek zal vergroten.

5) *Extra stimulans FOM-programma's*. Het 'programmaloket' van FOM is een aantal jaren gesloten geweest. Hierdoor is het – vooral voor pas aangestelde onderzoekers – de laatste

jaren uitzonderlijk moeilijk geweest om nieuw onderzoek te entameren. Bij de indienronde van voorjaar 2007 zijn 26 nieuwe programmavoorstellen ingediend. Nu al is duidelijk dat FOM een aantal zeer sterke programmavoorstellen, die in het hart van de fysica liggen en onze beste wetenschappers bij elkaar brengen, zal moeten afwijzen door de gebrekkige financiële middelen (men verwacht 4 à 5 voorstellen te kunnen honoreren). De commissie doet met klem een beroep op FOM om snel een inhaalslag te maken, en reserveert in het voorgestelde pakket maatregelen een bedrag van structureel M€5 voor extra FOM-programma's, plus in de eerste jaren een incidentele impuls van M€3.

6) *Stimuleringsmaatregelen promotieduur*. De commissie stelt twee maatregelen voor om te bevorderen dat de feitelijke promotieduur niet langer is dan de beoogde 4 jaar. Allereerst verzoeken we de universiteiten met klem om er voor te zorgen dat de tijd tussen het moment dat een promotiedatum wordt vastgelegd en de promotiedatum niet langer dan 3 maanden hoeft te zijn – tegenwoordig is deze periode immers vaak 6 maanden of langer. Ten tweede verzoeken we FOM en NWO een bonus/malusinstrument te ontwikkelen dat de promotoren van promovendi die binnen vier jaar promoveren beloont. Het huidige systeem, waarin een promotiepositie wordt toegekend in plaats van een bedrag, bevordert de facto namelijk onbedoeld een langere promotieduur: om een groep van een bepaalde grootte in stand te houden moet de groepsleider wiens promovendi in drie jaar promoveren nu twee maal zoveel aanvragen indienen als de groepsleider wiens promovendi zes jaar over hun promotie doen!

7) *Carrièreperspectief en loopbaanbeleid*. De commissie is zich er van bewust dat voor het motiveren van jonge mensen het academische carrièreperspectief en loopbaanbeleid van groot belang is. Dit geldt met name ook voor vrouwen. Veel van de huidige ontwikkelingen (bijvoorbeeld de invoering van een *tenure track* systeem aan diverse universiteiten) overstijgen de natuurkunde. De commissie juicht het toe dat de breed samengestelde Commissie Loopbaanbeleid van De Jonge Academie van de KNAW zich hierover buigt en wacht met spanning haar adviezen af.

8) *Interdisciplinaire onderzoeksprogramma's*. De door de commissie voorgestelde lijn van verbreding van de opleiding en het onderzoek, betekent ook dat de fysische gemeenschap en FOM met kracht zullen moeten streven naar meer samenwerkingsprogramma's met andere disciplines. In dit rapport staat een groot aantal aanknopingspunten voor dergelijke programma's. De commissie vermijdt in dit stadium bewust een uitspraak over de meest geschikte thema's, om het beeld te vermijden dat zij deze thema's wil dicteren – fysici zullen plannen voor interdisciplinaire programma's in nauwe samenwerking met de partners van andere disciplines moeten ontwikkelen.

9) *Focus en massa, en mobiliteit*. De hieronder voorgestelde focusgebieden hebben een voldoende grote breedte dat ook goed is in te spelen op nieuwe onvoorziene wetenschappelijke ontwikkelingen binnen de thema's en dat we hiermee wederzijdse versterking van de complementaire expertise van verschillende groepen bevorderen. Dit is ook van belang voor het behouden van een goede balans tussen focus en mobiliteit. Op wereldschaal gezien willen we de Nederlandse fysica positioneren als de Europese *research delta* die één samenballing van talent is. Bij te sterke thematische focusering binnen één instelling dreigt het gevaar van inteelt en afnemende mobiliteit en vernieuwing.

10) *Euregio*. De toenemende internationalisering tesamen met de vervagende grenzen in Europa brengen nieuwe mogelijkheden met zich mee voor interregionale samenwerkingen. Ook vanwege het feit dat Nederland, behalve het HFML te Nijmegen, geen grote Europese faciliteit van betekenis heeft, zouden we hier veel sterker op in moeten zetten. Goede mogelijkheden voor interregionale samenwerking liggen met name voor de UT (met Munster) en RU en TU/e (met Aken en Leuven). Nijmegen laat de laatste jaren al een toenemende instroom van Duitse studenten zien. Daarnaast bestaan er vergaande plannen voor samenwerkingen tussen RU, Duisburg en Philips op het gebied van gezondheid en diagnostiek. Hier liggen niet alleen goede

mogelijkheden voor samenwerkingen op het niveau van masters, maar tevens voor regionale onderzoekssubsidies via het European Regional Development Fund.

5.2 Focusgebieden

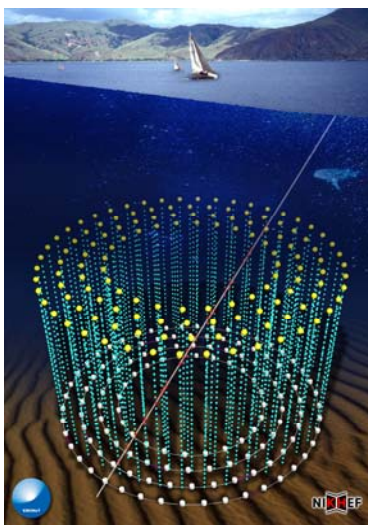
Het huidige onderzoeksveld heeft het afgelopen decennium een duidelijke focussing ondergaan, geïnspireerd door de keuzes van individuele toponderzoekers en door de beperking van de beschikbare middelen. Het belang van bepaalde ontwikkelingen, zoals de nanotechnologie, gekoppeld aan het aanwezige talent in Nederland heeft dit verder gestimuleerd door het creëren van nationale programma's zoals het NanoNed maar ook door nationale participatie in grote internationale projecten als CERN. Hierdoor zijn er, via een soort gestimuleerde zelforganisatie, duidelijke zwaartepunten ontstaan in het onderzoek aan de Nederlandse kennisinstellingen. Het voorstel van de commissie speelt direct in op deze ontwikkelingen en op de behoefte van de Nederlandse industrie /maatschappij door

- voort te bouwen op de aanwezige excellentie;
- in te spelen op de urgente maatschappelijke thema's en behoeften van de industrie;
- focus en massa te creëren op basis van deze expertises en behoeften.

Het definiëren van focusgebieden gebaseerd op bovenstaande criteria betekent noodzakelijkerwijs het maken van keuzes: het versterken en concentreren op excellent en belangrijk onderzoek impliceert tegelijkertijd het afbouwen of ombuigen van zwakker en minder belangrijk onderzoek. De op grond van bovenstaande overwegingen gekozen focusgebieden voor de Nederlandse natuurkunde zijn:

- 1) Quantumuniversum;
- 2) Nanofysica en –technologie;
- 3) Complexe systemen, vloeistoffen en materie;
- 4) Fysica van leven en gezondheid;
- 5) Energie.

Voor een krachtige versterking van deze focusgebieden stelt de commissie voor 16 tot 17 nieuwe onderzoeksgroepen in te stellen om de basis van het universitaire onderwijs en onderzoek te versterken. Zie hoofdstuk 7 punt 4 voor de verdere uitwerking hiervan.



Twoe mijlen onder zee.

Een artistieke impressie van de toekomstige neutrino telescoop (KM3NeT) die op de bodem van de Middellandse Zee gebouwd zal gaan worden. De KM3NeT-telescoop zal meer dan 20 keer zo groot zijn als het pilot-project ANTARES waarmee sinds 2006 metingen worden verricht. Het hier getoonde ontwerp is gemaakt door Nikhef voor het Europese KM3NeT-consortium waarin acht landen samenwerken. Het KM3NeT-project maakt deel uit van de 35 grootschalige Europese infrastructuurprojecten op de zogenaamde ESFRI-lijst.

Focusgebied 1 – Quantumuniversum

Het focusgebied *quantumuniversum* zoals hier gedefinieerd bestrijkt de gehele wereld van fundamentele quantummaterie: van elementaire deeltjes en kosmologie tot en met de fundamentele quantumfasen uit de gecondenseerde materie die een gevolg zijn van collectieve verschijnselen. Dit focusgebied heeft een grote culturele waarde en is ook nauw verweven met de astronomie. Mede daarom speelt het ook een grote rol bij *outreach* activiteiten.

In de 20^e eeuw is een enorme vooruitgang geboekt in het uiteenrafelen en begrijpen van de structuur van de elementaire bouwstenen en velden culminerend in het uiterst succesvolle 'Standaard Model'. De ontdekking van het laatste puzzelstukje, de ontdekking van het Higgs-deeltje, lijkt met het binnenkort in bedrijf gaan van 's werelds grootste botsingsmachine op CERN binnen handbereik te liggen. Op het raakvlak met de astronomie vindt er een revolutie plaats: recente observaties hebben laten zien dat ons universum voornamelijk bestaat uit onbekende substanties zoals donkere materie en donkere energie. Om deze uitdagingen aan te gaan is er complementair aan het onderzoek bij botsingsmachines, een nieuw interdisciplinair onderzoeksgebied in opkomst: de *astrodeeltjesfysica* waarin fysici en astronomen de krachten bundelen om met innovatieve instrumenten te speuren naar onder andere de donkere materie.

Het onderzoek binnen de quantum-gecondenseerde materie wordt sterk gedreven door de ontdekkingen in het afgelopen decennium van nieuwe quantumfasen en quantumeffecten in de vaste stof (bijvoorbeeld de hoge- T_c supergeleiders, grafen, orbitale ordening) en in koude gassen (Bose-Einsteincondensatie). Op theoretisch niveau is er kruisbestuiving met de elementaire deeltjesfysica en veldentheorie. Daarnaast is het perspectief van de mogelijkheden en toepassingen van *quantum computing* een belangrijke drijfveer voor experimenteel en theoretisch werk op dit gebied. Op al deze gebieden is het werk in Nederland van wereldklasse en heeft een duidelijke focusering en concentratie reeds plaatsgevonden, mede dankzij de instelling van een FOM-concentratiegroep aan de TUD/UL en een sterke band met de *nanoscience*.

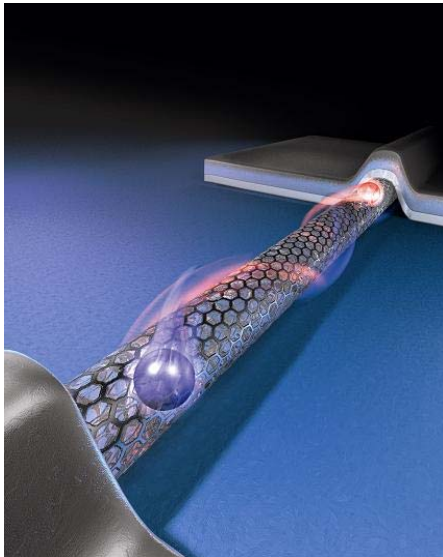
In het focusgebied *quantumuniversum* werken de theoretici al lang nauw samen met mathematici. Binnen de subatomaire fysica werkt men op experimenteel terrein veel samen met astronomen (astrodeeltjesfysica) en informatici (onder andere grid computing) terwijl de aan CERN gelieerde activiteiten op nationaal niveau gecoördineerd worden door het Nikhef-samenwerkingsverband (FOM, RU, UU, UvA en VU). Het KVI (RuG) test uiterst nauwkeurig de grenzen van het Standaard Model bij lage energie. Voor de astrodeeltjesfysica is in 2004 een samenwerkingsverband (CAN – Commissie voor de Astrodeeltjesfysica in Nederland) ontstaan tussen universiteiten (UL, RU, RuG, UU en UvA) en onderzoeksinstituten (ASTRON, KVI, Nikhef en SRON). Bij de quantum-gecondenseerde materie is het onderzoek geconcentreerd aan de TUD, UL, RU, RuG, UvA, en UU.

Focusgebied 2 – Nanofysica en -technologie

Dit gebied omvat onderzoek aan fysische verschijnselen op een schaal van ruwweg 1-100 nanometer en de toepassingen hiervan in functionele structuren. Wetenschappelijk is dit een zeer uitdagend terrein omdat materie zich fundamenteel anders gedraagt wanneer het kleiner wordt dan relevante lengteschalen, zoals de vrije weglengte van een elektron of de golflengte van licht. Dit fascinerende gebied is mede toegankelijk geworden door de technische ontwikkelingen die het fabriceren, bestuderen en manipuleren op de nanoschaal hebben mogelijk gemaakt. Het onderzoeksveld strekt zich uit naar de grensgebieden tussen fysica, chemie, biologie en medische wetenschappen en kenmerkt zich door de combinatie van zeer uitdagende wetenschappelijke vragen met een enorm toepassingspotentieel. Het heeft hierdoor een grote aantrekkingskracht op excellente onderzoekers en staat internationaal zeer hoog op de agenda. Uitdagende thema's zijn bijvoorbeeld *nanomedicine* (diagnostiek en behandeling op biomoleculair niveau) en '*more Moore*', '*more than Moore*' en '*beyond Moore*': hoe lang kunnen

we de grenzen bij de miniaturisering in de elektronica nog verleggen en wat zullen de alternatieven worden? In de Kabinetsvisie Nanotechnologieën (november 2006) worden naast bovengenoemde thema's ook uitdrukkelijk de potentie van nanotechnologie voor Waterzuivering, Energievoorziening, Voedsel en Gezondheid genoemd, terwijl eveneens de mogelijke risico's van nanotechnologie aandacht en studie behoeven. Op het gebied van de nanofysica en nanotechnologie speelt Nederland internationaal zowel op wetenschappelijk gebied (*quantum computation*, nanofotonica, spintronica, grafeen) alsook bij de technologieontwikkeling (ASML, FEI, NXP, Shell, FluXXion, Philips, Rijnhuizen) een leidende rol.

Inhoudelijk zijn er sterke nauwe banden met de nanochemie, die de komende jaren alleen ongetwijfeld alleen maar zullen versterken. In Nederland is het nano-onderzoek gestructureerd in een nationaal programma (NanoNed) wat de samenwerkingen tussen wetenschappers in dit bij uitstek interdisciplinaire wetenschapsgebied sterk heeft bevorderd en geleid heeft tot een aantal belangrijke faciliteiten voor nanofabricage en -structurering (TUD, UT, RuG). In Nederland leveren TUD, UT, RuG, UL, RU, TU/e en AMOLF substantiële bijdragen op dit gebied.



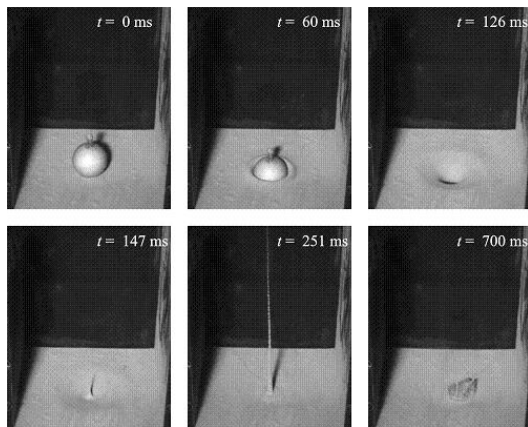
Een supergeleidende nanotransistor.
Een artistieke impressie van een supergeleidende nanotransistor die Delftse onderzoekers hebben gerealiseerd met behulp van een koolstof nanobuisje. Illustratie: TUD/Tremani

Focusgebied 3 – Complexe systemen, vloeistoffen en materie

De commissie beschouwt dit als een breed focusgebied dat zich uitstrekt tot en met dynamische instabiliteiten en multiscale phenomena die kunnen optreden in de vloeistofdynamica. Vloeistofdynamica speelt niet alleen een belangrijke rol in de samenleving, zoals bij energie, water, en klimaat, maar ook op vrijwel alle plaatsen in de industrie. Op dit gebied neemt Nederland een internationale topositie in met het Burgers Center, een zwaartepunt van de drie TU's, waarin ook een aantal groepen van de andere universiteiten participeert en dat ook binnen de 3TU federatie krachtig versterkt is.

Veel van de materialen die we in de natuur tegenkomen als bouwstof van levende wezens of als voedsel zijn makkelijk vervormbaar, dus 'zacht'. Zachte materie is vaak ook complexe materie, die zelf weer is opgebouwd door verschillende bouwstenen op een slimme manier te combineren. De fysische principes waarop het gedrag van dergelijke materialen berust, bieden daarom geheel nieuwe uitdagingen: deze hangen vaak af van de interactie en competitie tussen meerdere elementen, lengte en tijdschalen. Conceptueel nieuwe fysische kaders zijn daarom nodig om deze materialen te beschrijven en te analyseren; dit verklaart

waarom de aandacht binnen de fysica voor deze materie pas van relatief recente datum is en nog steeds groeiend. Het subgebied kenmerkt zich door sterke (potentiële) links met andere disciplines en toepassingen. Bijdragen van fysici binnen de levenswetenschappen zijn vaak nauw verweven met inzicht in het fysisch gedrag van zachte en complexe levenloze materie. Via colloïden, polymeren, zelf-organiserende macromoleculen en organische halfgeleiders zijn er nauwe banden met de chemie en chemische industrie, samenwerking met het nieuwe *TI Food and Nutrition* en met de *food industrie* ligt voor de hand. Het FOM-programma granulaire materie stimuleert interacties met technische disciplines en geowetenschappen. De sterke conceptuele banden met complexiteitsonderzoek ('complexe systemen') en de noodzaak van *multiscale modeling* stimuleert samenwerking met numerici, wiskundigen en klimatologen. De commissie stelt voor de focussing in dit gebied uit te bouwen langs de lijnen die zich dankzij deze diversiteit de laatste jaren al hebben afgetekend. Onderzoek op het gebied is geconcentreerd aan de UU, WUR, VU en RuG. TTI DPI in Eindhoven bundelt het polymerenonderzoek. Het TI F&W (van het WCFS) bundelt het onderzoek aan *food and nutrition*. Gestimuleerd dient te worden dat de jonge opkomende experimentele groepen op het gebied van *complex fluids* aan de UvA, UL en UT via een nationaal onderzoeksprogramma hun krachten bundelen.



Van zandstralen naar biotechnologie.

Snelle opnames van een balletje dat op een laag los zand wat valt. Vlak nadat het balletje in het zand wegzinkt spuit een zandstraaltje (een "jet") omhoog. In de laatste foto bereiken met het balletje meegesleepte luchtbelletjes het oppervlak. Vergelijkbare jets die uit microscopisch kleine belletjes schieten vlakbij de wand van een biologische cel worden onderzocht op de mogelijkheid op gecontroleerde manier stoffen in cellen te injecteren. Foto: Vakgroep Physics of Fluids, Universiteit Twente

Focusgebied 4 – Fysica van levensprocessen en gezondheid

Fysici zijn het laatste decennium steeds meer gefascineerd geraakt door vragen die voortkomen uit de studie van de levende natuur. De complexiteit van de levende materie geeft de fysica een totaal nieuwe dimensie die fysici vraagt om een andere aanpak, in nauwe samenwerking met biologen en de biomedische discipline. Vaak realiseren fysici zich te weinig dat biologie een informatiewetenschap is: informatie wordt verworven, geordend, gebruikt en weer doorgegeven. Belangrijke fysische doorbraken worden verwacht op het snijvlak van de fysica en de systeembioïologie, met betrekking tot de fysische modellering van de koppelingen tussen onderliggende fysische wetmatigheden en systeembioïologische processen. Langs deze lijn moet de natuurkunde de komende jaren doorbraken forceren. Wij verwachten hier nieuwe wetmatigheden te vinden die de basis zullen leggen voor de daadwerkelijke nieuwe fysica van leven. Dit zal een grote en moeilijke uitdaging zijn, maar wel opwindende en belangrijke resultaten opleveren. Mede dankzij krachtige stimulering van het vakgebied door FOM is er een nationale focussing op cellulaire en subcellulaire processen, en is er een herkenbare wetenschappelijke gemeenschap met nauwe banden met de moleculaire biologen. Belangrijke thema's in dit verband zijn bijvoorbeeld de dynamica van biomoleculen (van picoseconde interacties bij

fotosynthese en moleculaire motoren tot de tweede tijdschaal van de (mis)vouwing van eiwitten), diffusie, interacties en krachten tussen eiwitten en nucleïnezuren, diffusie van moleculen op cellulair niveau, de organisatie en hiërarchie in het genetisch materiaal en het begrijpen van neurale netwerken. Kerngroepen op dit gebied bevinden zich bij de TUD, VU, UL, UT, TU/e, RU en AMOLF. Naar het oordeel van de commissie dient AMOLF een sterkere rol op het nationale vlak te spelen; een goede aanzet hiertoe zou zijn de fysische gemeenschap meer bij de systeembioïogie te betrekken via het Netherlands Institute for Systems Biology waar AMOLF samenwerkt met de UvA, VU en CWI. In de recente verkenning van FOM over gezondheid werd naast 'subcellulair', 'brein' als tweede belangrijke thema voor de toekomst aangewezen. Zowel het cognitieonderzoek (RU) als het perceptieonderzoek (UU) bieden hier bijzondere kansen voor fysici. Tevens biedt dit focusgebied ons op termijn de mogelijkheid ziekten te begrijpen en te verhelpen. Om deze kennis in de kliniek toe te passen is extrapolatie van cellulair naar orgaan- en organismeniveau toe noodzakelijk. Dit is niet triviaal en vereist fysisch-mathematische expertise (bijvoorbeeld multiscale modeling – hier liggen raakvlakken met het vorige focusgebied). Ook zal de verdere ontwikkeling van geavanceerde in-vivo meettechnieken (bijvoorbeeld PET-CT, functional MRI, laserimaging) noodzakelijk blijven. Minimaal invasieve en niet-invasieve technieken nemen een grote vlucht, geavanceerde, intelligente implantaten zullen nog worden ontwikkeld en telegeneeskunde is sterk in opkomst. Voor deze ontwikkelingen en hun toepassing zijn fysici nodig die de brug vormen tussen de fundamentele onderzoekers en de klinische praktijk. Wettelijke maatregelen schrijven voor dat in bepaalde disciplines in de gezondheidszorg fysische inbreng noodzakelijk is (staatscourant besluit 25 april 2005).

Econcern maakte woensdag de cijfers over 2006 bekend. De omzet verviëfvoudigde naar M€ 240. De winst groeide met een factor 6,5 naar M€ 43,5. Het bedrijf heeft 600 mensen in dienst in 15 landen. Het hoofdkantoor staat in Utrecht. Directeur Van Wijk heeft ambitieuze plannen. Hij wil dit jaar de omzet verdubbelen tot M€ 500. In 2010 moet een omzet van 'een paar miljard haalbaar zijn'. Van Wijk streeft ernaar om met Econcern 'de nummer 1 in de wereld te worden op het gebied van duurzame energie'.
Financieel Dagblad, 18 mei 2007

Focusgebied 5 – Energie

De stijgende energiebehoeften en de daaraan gerelateerde druk op het milieu en klimaatveranderingen vragen om een brede aanpak om zowel de huidige energiebronnen efficiënter te gebruiken alsook om alternatieve vormen van energieopwekking en opslag te vinden. Op lange termijn kan alleen duurzame energie hier een oplossing vormen. Kernfusie speelt hier een belangrijke rol. Met de komst van ITER heeft kernfusie een krachtige impuls gekregen waar met name FOM-Rijnhuizen, maar ook TU/e, krachtig in kan participeren. Met de zon hebben we al een goed werkende en onderhoudsvrije fusiereactor die ruim hondertachtigduizend terawatt aan energie levert. Het probleem is hoe dit efficiënt te gebruiken. Dit vereist niet alleen efficiëntere fofovoltaïsche cellen (huidige wereldrecord staat op naam van de RU maar is gebaseerd op het dure GaAs, goedkopere alternatieven zijn absoluut noodzakelijk zoals plastic fofovoltaïsche cellen waarvan de RuG momenteel wereldrecordhouder is), maar ook betere methoden voor opslag en transport van elektriciteit. Voor zowel generatie als opslag kunnen we inspiratie opdoen in de natuur die daarvoor al creatieve oplossingen heeft gevonden, maar dit vereist fundamenteel onderzoek naar de precieze moleculaire mechanismen. Biomoleculen kunnen niet alleen ingezet worden als alternatief voor anorganische zonnecellen, maar kunnen ook ingezet worden om zonlicht direct om te zetten in brandstof, bijvoorbeeld waterstof. Het is een grote wetenschappelijke uitdaging om zelfrepro-

ducerende biologische energie-omzettingssystemen te ontwikkelen. Een nauwe samenwerking met de chemie (katalyse, zelfassemblage) en moleculaire biologie ligt hier voor de hand. Met name op het gebied van de biofotonica heeft Nederland sterke spelers aan de VU, maar er liggen hier grote uitdagingen en mogelijkheden voor groepen aan met name de technische universiteiten.

6. Valorisatie van de Natuurkunde

6.1 Maatschappelijk nut

De Nederlandse samenleving staat voor grote uitdagingen, onder andere op het gebied van energievoorziening, leefomgeving, gezondheid, voedsel, veiligheid en klimaat terwijl dit alles plaats vindt in een globaal concurrerende economie. In deze complexe en sterk dynamische omgeving biedt de kenniseconomie belangrijke nieuwe kansen.

Een hoog opgeleide bevolking is van cruciaal belang bij het realiseren van onze ambities en Nederland heeft een goede internationale reputatie. Nederlanders kunnen goed samenwerken, zowel binnen Nederland als in Europa en concurreren in Europa en wereldwijd. Professionals dienen enerzijds weerbaar en zelfstandig te zijn. Anderzijds dienen ze in staat te zijn om een eigen bijdrage te leveren in pluriforme, multidisciplinaire teams.

Natuurkundigen vervullen hierin een herkenbare, waardevolle en vaak onmisbare rol. Ze zijn analytisch, integrerend, oplossingsgericht. En ze hebben het vermogen om complexe situaties te modelleren. Tegelijkertijd zijn ze zich bewust van de beperkingen van deze modellen. Deze vaardigheden zijn niet alleen zeer essentieel in het natuurkundig laboratorium, maar blijken ook zeer relevant bij het werken aan grote maatschappelijke thema's. Een FOM-verkenningscommissie heeft in 2006 gewezen op mogelijkheden voor maatschappelijk relevant fundamenteel fysisch onderzoek aan gezondheid en energie. Bij gezondheid beval de studiegroep de thema's cel en brein aan. Op het gebied van energie beheersen en beheren fysici fundamentele kennis rondom energie en maken ze die inzichten kwantitatief. Ze leveren een bijdrage aan beleidskeuzes, ze ontwikkelen scenario's en werken aan nieuwe technologie voor oplossingen, zowel voor de korte termijn (*'buying time'*) als structureel (*'endgame'*).

Fysici zijn bij uitstek in staat om maatschappelijk relevante vragen rondom energie te beantwoorden. Voorbeelden van dit soort vragen zijn:

- Wat is energie en wat bedoelen we wanneer we zeggen dat we energie besparen?
- Hoeveel van onze energiebehoefte kunnen we dekken uit windenergie?
- Wanneer is een energiebron schoon? Wat is duurzame energie?
- Wat is het effect van zuinigere auto's of van een overgang op spaarlampen?

Meer fundamenteel gericht energieonderzoek richt zich op structurele oplossingen voor de lange termijn, zoals zonne-energie en fusie

De fysica in deze en andere maatschappelijke thema's, zoals voeding en watervoorziening, is essentieel. Tevens raken deze onderwerpen aan meerdere disciplines: chemie, medische wetenschappen, biologie, economie en informatietechnologie. Het is van groot maatschappelijk belang dat er voldoende fysici actief en effectief zijn in hun communicatie met deze relevante disciplines en met de maatschappij.

De maatschappij wordt complexer en biedt daarmee volop uitdagingen en kansen voor zowel de individuele fysicus als voor de maatschappij als geheel. De meeste fysici kijken terug op hun studie als het startpunt van een rijke loopbaan, vol afwisseling, met boeiende onderwerpen en inspirerende, vaak wereldwijde contacten. Veel fysici kiezen voor een carrière in de wetenschap. Een nog groter aantal gaat naar de industrie. Een nog te klein aantal kiest voor het zelf opzetten van een bedrijf. Zoals eerder uiteengezet willen we dit zowel via het onderwijs (*outreach*, colleges in het bachelor- en masterprogramma, versterking CME-varianten) als via aanvullende stimulansen en versterking van de octrooi-gerichtheid versterken.

Hierboven richten wij ons vooral op maatschappelijk nut in de vorm van direct toegepast onderzoek of onderzoek in samenwerking met andere disciplines. Niet vergeten mag worden dat lange-termijn fundamenteel fysisch onderzoek in de praktijk evengoed maatschappelijk nut heeft, in de vorm van onverwachte technologische of fysische principes. Goede voorbeelden zijn niet alleen de transistor, laser, en nuclear magnetic resonance (NMR) maar ook de ontwikkeling van de PET-scan (positron-emissie-tomografie) en het *world wide web* op CERN.

6.2 Industrieel nut

Natuurkunde is belangrijk voor de Nederlandse economie, in het bijzonder de industrie. Zowel grote internationale bedrijven als het MKB zijn in belangrijke mate afhankelijk van fysici.

OML is het grootste project in Point-One, de ontwikkeling van een maskerloos lithografiesysteem is het doel. Het project wordt geleid door ASML. In dit project is een groot tekort aan kenniswerkers, waardoor de realisatie van een eerste prototype met een klein jaar vertraagd is. Het is moeilijk om de potentiële schade voor ASML en dus aan de Nederlandse economie in te schatten, maar kan door late markintroductie aanzienlijk zijn, mogelijk enige honderden miljoenen euro's. Om beschikbaarheid van nieuw talent in de toekomst te bevorderen heeft ASML met de TU/e het "Henk Bodt ASML-TU/e scholarship fund" gesticht, dat per jaar 40 volledige beurzen voor de masteropleiding verstrekt, gekoppeld aan een contract van 3 jaar als werknemer van ASML.

Voor het instandhouden van de Nederlandse welvaart is export essentieel. Vooral export van goederen van Nederlandse herkomst zijn belangrijk (CBS): "De uitvoer van goederen van Nederlandse herkomst is van groter belang voor de economie dan de wederuitvoer. Bij wederuitvoer ondergaan de goederen hooguit een geringe bewerking. De invloed op de productie en daarmee op het BBP is hierdoor gering. Volgens berekeningen van het CPB (Centraal Economisch Plan, 2002) bedraagt de toegevoegde waarde van de wederuitvoer ongeveer 10 cent per euro, tegen 65 cent per euro voor de uitvoer uit Nederlands product." De waarde van de Nederlandse export in het sleutelgebied *hightech* systemen en materialen is ongeveer €25 miljard en groeit aanzienlijk sneller dan de Nederlandse economie.

Fysici zijn breed inzetbaar en niet alleen actief in dit sleutelgebied. In de procesindustrie in Nederland, van hoogovens tot de petrochemie, vindt men fysici, maar ook in vliegtuigbouw, bij het opsporen van gas- en oliereservoirs in moeilijk winbare plaatsen, en in ruime mate in de zich snel ontwikkelende nanotechnologie, in hoofdzaak in het midden- en kleinbedrijf.



Nieuw licht!

Light Emitting Diodes (LEDs) zijn kleiner, energiezuiniger en duurzamer dan conventionele gloeilampen. Dit maakt volledig nieuwe manieren mogelijk om licht uit voorwerpen of oppervlakken te laten komen. Hierbij kan de intensiteit, de kleur en de richting van het licht makkelijk worden aangepast. Fysisch onderzoek heeft in de afgelopen jaren een grote rol gespeeld bij de ontwikkeling van deze technologie. Nieuw onderzoek bij Philips richt zich op intuïtieve manieren voor het instellen van de kleur, onder andere door plaatsing van gekleurde knikkers in een schaal.

6.3 Benutting academische kennis

Succesvolle benutting van de resultaten van academisch onderzoek door de industrie ziet men in Europa in het algemeen, en mogelijk in Nederland in het bijzonder, als een probleem. Ten opzichte van bijvoorbeeld de Verenigde Staten blijft zowel het starten van bedrijven als de licensering en kennisoverdracht aan industrie ver achter. Dit moet op korte termijn verbeterd worden.

- De commissie stelt voor een Key Performance Indicator (KPI) voor industriële valorisatie te ontwikkelen, die de hoeveelheid start-up bedrijven, licensering en transfers kwantificeert en daarmee een instrument geeft voor sturing van middelen naar succesvolle groepen.
- Zoals in hoofdstuk 4 vermeld stelt de commissie in het onderwijs meer aandacht te geven aan *ondernemerschap*. Te denken valt aan een cursus waarbij een ondernemersspel wordt gespeeld, waarbij de studenten via de sturing van het spel kennis maken met een kennis bank, een *Venture Capital* faciliteit en bijvoorbeeld een aandeelhoudersvergadering. In een paar cycli zouden zelfs enige jaren bedrijfsleven gesimuleerd kunnen worden. Op diverse universiteiten zijn er al cursussen van dit type, maar via landelijke coördinatie is er nog een wereld te winnen. Te denken valt aan het spelen van een landelijke ronde gespeeld worden, gesponsord door een *Venture Capital* fund.
- Een betere toegang tot durfkapitaal is essentieel voor beginnende ondernemingen, in samenwerking met *Venture Capital Funds* en innovatieprogramma's, zoals Point-One. In samenwerking met daarin gespecialiseerde organisaties zullen universiteiten jaarlijkse startersdagen moeten gaan organiseren.
- Facilitaire ondersteuning van jonge ondernemingen vanuit de academische wereld zou versterkt kunnen worden: beschikbaarheid van laboratoria, vrijgemaakte arbeidstijd, fabricage mogelijkheden van multi-project chips en andere drempelverlagende ondersteuning.
- De commissie beveelt aan te streven naar een uniforme en voor het bedrijfsleven aantrekkelijke IP transferregeling.
- We adviseren maatregelen te nemen opdat de doorstroming van kenniswerkers van de academische naar de industriële wereld verbetert, om te bevorderen dat ideeën van de universiteiten sneller naar de industrie worden gebracht (mogelijk zou dit geïmplementeerd kunnen worden door een verbetering/versoepeling van de Casimir-regeling).

- Privaat-publiekrechtelijke samenwerking in programma's van (precompetitief) onderzoek behoeft krachtige uitbreiding.
- Bedrijven dienen hun lange-termijn onderzoeksbehoefte helder te articuleren, en de (para)-universitaire fysica-instituten dienen zich bij hun onderzoeksprogrammering daarvan nadrukkelijk rekenschap te geven.
- De commissie beveelt aan te streven naar uitwisseling van *best practices*, door op korte termijn samen met de universiteiten een werkgroep op te zetten om uit te wisselen wat succesvol is en plannen tot verbetering van het transferproces af te stemmen. Dit zou vastgelegd moeten worden in een convenant van de instellingen.

Voor valorisatieverbetering is geen groot budget vereist, maar het is belangrijk dit structureel te borgen. De commissie stelt voor op nationaal niveau M€2 te reserveren, te beheren in een centrale faciliteit, bijvoorbeeld bij SenterNovem.

7. Implementatie en budget

Dit actieplan betreft zowel het onderwijs als het onderzoek en zowel de eerste als de tweede geldstroom. De commissie beveelt aan bij de verwezenlijking van de plannen de sterke punten van universiteiten via hun decentrale organisatievormen (faculteiten, afdelingen, instituten en dergelijke) en de Stichting FOM dan wel het Gebiedsbestuur Natuurkunde van NWO optimaal te benutten. Het rekruteren van wetenschappelijk en technisch personeel (inclusief de ontwikkeling van het leerstoelenbeleid), het geven van onderwijs en het doen van onderzoek zijn typisch zaken die op de werkvloer bij de instellingen thuis horen. FOM is juist bij uitstek geëquipeerd voor de beoordeling van onderzoekplannen, de organisatie van landelijke competities op basis van wetenschappelijke kwaliteit en andere merites, de bevordering van samenwerking tussen instellingen, het maken van nationale afwegingen en het initiëren van nieuwe ontwikkelingen (regiefunctie). Voorts beschikt FOM over drie instituten die in het fysica-systeem speciale rollen spelen, zoals thuisbasis voor werk bij grote instituten in het buitenland (CERN, ITER), exploitatie van nationale faciliteiten (FELIX/FELICE, massaspectrometrie) en de nationale coördinatie van omvangrijke researchinspanningen. Het is van groot belang deze instituten eveneens voor de realisatie van dit actieplan in te zetten. Wij zijn ervan overtuigd dat op basis van deze rolverdeling de implementatie van de voorstellen snel en effectief zal kunnen plaatsvinden.

In essentie bepleit de commissie in dit rapport zeven maatregelen te treffen en daarvoor - in aanvulling op de bestaande middelen voor eerste en tweede geldstroom - structureel een bedrag van M€28 per jaar beschikbaar te stellen. De specificatie van dit bedrag staat in onderstaande tabel.

Kostenraming van de zeven aanbevolen maatregelen. Bedragen in miljoenen euro's.

Maatregel	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1. 50 Extra vrouwen en allochtonen	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	5,0	5,5	6,0	6,0	6,0	7,0	7,0	7,0
2. Verbetering bachelor-opleidingen	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
3. Verbetering outreach en contacten met basisscholen en voortgezet onderwijs	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	1,0	1,0
4. Versterking 1 ^e geldstroom	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
5. Versterking focus & massa via FOM-programma's	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
6. Vernieuwingsimpuls apparatuur	8,0	6,0	4,0	2,0	0	1,0	0,5	0	0	0	0	0	0
7. Valorisatie 'toolkit'	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Totaal	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0

NB. Een fulltime hoogleraar kost op jaarbasis k€175; dit zijn de integrale kosten, zonder aanstelling van ander personeel, maar met overhead. De vergelijkbare tarieven voor een UHD en UD zijn k€140 respectievelijk k€100.

De commissie adviseert de uitvoering van de zeven maatregelen als volgt vorm te geven.

1. Voor de stimulering van de extra instroom van vijftig vrouwen en/of allochtonen in de (para)-universitaire fysica staat de commissie een periode van tien jaar voor. Dat geeft huidige studentengeneraties in Nederland een reëel perspectief op een academische carrière tegen de tijd dat zij na hun promotie beschikbaar komen voor de arbeidsmarkt. Een beperkt jaarlijks aantal van vijf – in competitie te verdelen – posities biedt ook effectieve waarborgen voor de noodzakelijke kwaliteit. De toe te kennen posities kunnen zowel op UD-, UHD- als hoogleraar-niveau zijn. Vergoeding van kosten vindt plaats op basis van het (gemiddelde) tarief van een UHD. Aldus wordt jaarlijks k€700 structureel gecommitteerd. Na tien jaar vergt dit een budget van M€7. Mensen die als UD of UHD starten moeten verdere carrière kunnen maken via de bestaande mechanismen; de eventuele extra kosten daarvan komen voor rekening van de instelling. Voorgesteld wordt FOM dan wel het Gebiedsbestuur Natuurkunde van NWO te vragen een procedure op te zetten voor de jaarlijkse beoordeling en selectie van aanvragen (à la de Vernieuwingsimpuls). Tot tien jaar na aanstelling (doch uiterlijk tot en met 2017) is de plaats en het bijbehorende budget binnen het Nederlandse (para)-universitaire bestel persoonsgebonden. Verlaat betrokkene in die periode het academisch systeem, dan vervallen de middelen aan het centrale budget. In 2018 worden de middelen structureel aan de instellingen toegewezen op basis van de feitelijke verdeling van de posities per ultimo 2017. Omdat het creëren van rolmodellen een zaak van lange adem is, achten wij ook op korte termijn een extra impuls nodig. Daarom stellen wij tevens voor eenmalig M€5 uit te trekken om het universitaire hoogleraren mogelijk te maken regelmatig enkele van hun buitenlandse excellente vrouwelijke collega's op een prestigieuze beurs van 3 maanden uit te nodigen voor gemeenschappelijk onderzoek en gastonderwijs.

2. en 3. Voor de verbetering van de bacheloropleiding en de versterking van *outreach* en de banden met voortgezet onderwijs en het HBO zou samen M€4 per jaar beschikbaar moeten komen (tot en met 2017 zelfs M€5). Wij stellen voor dit bedrag gelijkelijk te verdelen over de negen universiteiten en FOM: ieder structureel k€ 400 (respectievelijk k€500) per jaar. De besteding vindt decentraal plaats, met dien verstande dat op elke universiteit van dit bedrag minimaal structureel 2 fte wordt uitgetrokken voor de verbetering van de bacheloropleiding en 1 fte voor outreach en contacten met andere onderwijssectoren. FOM stelt haar budget ter beschikking aan haar instituten. De faculteiten en FOM dienen zich voor de besteding van het structureel beschikbare bedrag de eerste vijf jaar in hun jaarverslag te verantwoorden. Dit tot genoegen van de Kamer Natuurkunde van de VSNU die over haar bevindingen aan de minister van OCW rapporteert en gerechtigd is een wijziging van de verdeling te adviseren als de aanwending van het budget daartoe aanleiding geeft.

4. Voor de structurele versterking van de eerste geldstroom dient M€ 10 per jaar te worden uitgetrokken. Dit bedrag is in concreto bestemd voor de oprichting van 16 à 17 nieuwe onderzoekgroepen. Voor een onderzoekgroep is dan gemiddeld zo'n k€ 600 beschikbaar, hetgeen – om de gedachten te bepalen - toereikend is voor het aantrekken van een hoogleraar, een UHD, een UD, enkele aio's, postdocs en/of technici en de aanschaf van wat apparatuur. Instellingen kunnen bij een door FOM in te stellen nationale commissie voor de bekostiging van een nieuwe onderzoekgroep een kort beleidsplan c.q. aanvraag indienen. Voorwaarde is dat de beoogde onderzoekgroep werkzaam zal zijn op een van de vijf focusgebieden die wij in dit rapport onderscheiden en dat de nieuwe hoogleraar van buiten de eigen instelling komt of via een open werving wordt aangetrokken. Benoemingscommissies voor deze posities dienen breed samengesteld te zijn met tenminste drie leden van andere instellingen. Aanbevolen wordt de allocatie van het totale budget – met tussenpozen van twee jaar - in 2 à 3 rondes te laten plaatsvinden.

Iedere instelling wordt in staat geacht minimaal een nieuwe onderzoekgroep via dit mechanisme gefinancierd te krijgen. Ook de beoogde versterking van de theoretische natuurkunde moet via dit kanaal gerealiseerd kunnen worden.

5. Consortia van onderzoekgroepen die hun krachten en expertises bundelen om intrigerende onderzoeksvragen te beantwoorden kunnen – na jaren van stilstand door geldgebrek bij FOM – sinds kort weer een beroep doen op programmafinanciering. De belangstelling voor de zogenaamde Vrije FOM-programma's is echter zo groot dat FOM met de huidige M€16 slechts hooguit twintig procent van de aanvragen kan honoreren. Aangezien de meeste aanvragen van hoge kwaliteit zijn en deze programma's op een effectieve manier focus en massa genereren, is het van groot belang dat het budget van deze financieringsvorm sterk wordt uitgebreid, de eerste jaren met een extra impuls van M€8 tot M€24, vanaf 2013 met M€5 tot M€21. Een snelle start is mogelijk omdat men hierbij kan aansluiten bij een bestaand en goed functionerend allocatiemechanisme. Met het voorgestelde accres kunnen twintig à dertig PhD-studenten extra worden opgeleid.

6. De commissie adviseert in totaal M€21,5 uit te trekken voor een 'vernieuwingsimpuls' voor apparatuur en de distributie van dit bedrag toe te vertrouwen aan FOM. Deze middelen dienen in de eerste plaats te worden aangewend voor de versterking van de instrumentele basisinfrastructuur van de (para-)universitaire fysicalaboratoria. Vervanging en vernieuwing daarvan is door de belabberde financiële toestand waarin menige instelling verkeert, uitgesloten. Ook is dit via de mechanismen van NWO-Middelgroot of NWO-Groot veelal niet mogelijk. Apparaten als röntgenbronnen, magnetometers, ellipsometers, spectrometers, freesbanken voor werkplaatzen, heliumliquefactoren, microscopen en dergelijke zijn te weinig 'sexy' en te veel van algemeen

belang, waardoor zij er zich niet voor lenen om via reguliere onderzoekaanvragen de benodigde financiering te verwerven. Wij stellen voor dit budget in twee rondes via een eenvoudige onder auspiciën van FOM uitgevoerde procedure te verdelen (in 2008 en 2010) op basis van een ingediend bestedingsplan, en ook eventuele middelen van de andere maatregelen die niet tijdig tot besteding kunnen komen, aan dit budget toe te voegen.

7. Ter bevordering van de valorisatie hebben wij in hoofdstuk 5 een groot aantal – deels ook nieuwe – instrumenten en aanpakken gesuggereerd. Het verdient aanbeveling spoedig op landelijk niveau te overleggen welke daarvan op korte of langere termijn tot een succesvolle toepassing gebracht zouden kunnen worden. Sommige suggesties kunnen heel goed lokaal verwezenlijkt worden, andere vereisen een nationale organisatie. Partijen die aan het beoogde overleg zouden moeten deelnemen zijn de universiteiten, de para-universitaire instituten, FOM, STW, SenterNovem, VNO/NCW en MKB-Nederland. Voorshands wordt voorgesteld voor de valorisatie '*toolkit*' structureel een budget van M€2 per jaar te reserveren.

Het voorgestelde structurele accres van M€28 betekent ten opzichte van de huidige budgetten een toename van circa tien procent. Omdat dit goeddeels via de bestaande infrastructuur zal worden besteed, is het effect op de output van het totale (para-)universitaire systeem vele malen groter!

Bij realisatie van de voorstellen uit dit actieplan distribueren in de eindsituatie de individuele universiteiten decentraal circa M€21 van het bepleite accres van M€28, en organisaties als FOM/GBN centraal ongeveer M€7. Uiteindelijk komt dan naar schatting M€25 tot besteding bij de negen universiteiten en circa M€3 bij de drie FOM-instituten.

Bijlage 1: Links naar webpagina's van genoemde universitaire instellingen, instituten, stichtingen, bedrijven, en initiatieven

In deze bijlagen vindt u een aantal directe links naar webpagina's van de in dit rapport genoemde universitaire instellingen, instituten, stichtingen, bedrijven, en initiatieven. Vanuit de digitale versie van dit rapport kunt u de webpagina's direct openen door op de links te klikken.

Faculteiten van Nederlandse universiteiten met een natuurkundeopleiding

Radboud Universiteit Nijmegen: <http://www.ru.nl/fnwi/>
Rijksuniversiteit Groningen: <http://www.rug.nl/fwn/index>
Technische Universiteit Delft: <http://www.tnw.TUD.nl>
Technische Universiteit Eindhoven: <http://web.phys.tue.nl>
Universiteit Leiden: <http://www.science.leidenuniv.nl/>
Universiteit Twente: <http://www.tnw.utwente.nl>
Universiteit Utrecht: <http://www1.phys.uu.nl>
Universiteit van Amsterdam: <http://www.science.uva.nl/object.cfm>
Vrije Universiteit Amsterdam: <http://www.nat.vu.nl>
Wageningen Universiteit en Research Centre: <http://www.wur.nl/NL/>

Onderzoeksinstituten

AMOLF: <http://www.amolf.nl>
CERN: <http://www.cern.ch>
DPI: http://www.polymers.nl/opencms/en_NL/
ECN: <http://www.ecn.nl>
ITER: <http://www.iter.org/>
Felix: http://www.rijnh.nl/research/guthz/felix_felice/
HFML: <http://www.hfml.ru.nl/dutchinfo.shtml>
Holst Centrum: <http://www.holstcentre.com>
Kavli Institute of Nanoscience Delft: <http://www.ns.tudelft.nl/>
KNMI: <http://www.knmi.nl>
KVI: <http://www.kvi.nl>
Mesa+ Institute for nanotechnology: <http://www.mesaplus.utwente.nl/>
Nikhef: <http://www.Nikhef.nl>
NIMIC: <http://www.tudelft.nl/nimic>
RID: <http://www.iri.TUD.nl>
Rijnhuizen: <http://www.rijnhuizen.nl>

Bedrijven

AKZO: <http://www.akzo.com/com/>
ASML: <http://www.asml.nl>
Corus: <http://www.corus.nl/>
DSM: <http://www.dsm.com>
FEI: <http://www.fei.com/Home/tabid/36/Default.aspx>
FluXXion: <http://www.fluXXion.com>
NXP: <http://www.nxp.com/index.html>
Oce: <http://www.oce.com>
Philips: <http://www.research.philips.com>
Shell: <http://www.shell.com/>

Initiatieven en onderwijskundige sites

Bètapartners: <http://www.betapartners.nl/>
Eureka cup: <http://www.eurekacup.nl/>
Fusion Roadshow: <http://www.fusie-energie.nl/roadshow.htm>

HiSPARC: <http://www.hisparc.nl/>
Jet-Net: <http://www.jet-net.nl/start.html>
Kennislink: <http://www.kennislink.nl>
Natuurkunde.nl: <http://www.natuurkunde.nl/home.jsp>
Platform Beta Techniek: <http://www.platformbetatechniek.nl/>
RINO: <http://www.physics.leidenuniv.nl/rino/index.php?n=Main.Home>
Stichting Techniekpromotie: <http://www.techniekpromotie.nl>
Technasium: <http://www.technasium.nl/>
Techniek Toernooi: <http://www.techniektoernooi.nl/>
Technific: <http://www.technific.nl/>
Universum programma: <http://www.universumprogramma.nl/>

Onderzoeksfinanciers:

FOM: <http://www.fom.nl>
NWO: <http://www.nwo.nl>
STW: <http://www.stw.nl>

Overig

De Jonge Akademie: <http://www.knaw.nl/dja/>
European Regional Development Fund:
http://ec.europa.eu/regional_policy/funds/prord/prord_en.htm
Nederlandse Natuurkundige Vereniging (NNV): <http://www.nnv.nl>
Nederlandse Vereniging voor Onderwijs in de Natuurwetenschappen: <http://www.nvon.nl>
SenterNovem: <http://www.senternovem.nl/senternovem/>
VNO/NCW: <http://www.vno-ncw.nl/>
VSNU: <http://www.vsnu.nl>

Bijlage 2: Recente instroomcijfers (inclusief sterrenkunde)

Universiteit	Eerstejaars instroom		
	2000	2006	
	Totaal	Totaal	vrouwen
Universiteit Leiden (UL)	54	53	7
Radboud Universiteit Nijmegen (RU)	15	48	8
Rijksuniversiteit Groningen (RuG)	61	65	11
Universiteit Utrecht (UU)	84	112	23
Universiteit van Amsterdam (UvA)	41	60	12
Vrije Universiteit (VU)	17	18	3
Totaal algemene universiteiten	272	356	64
Technische Universiteit Delft (TUD)	69	121	15
Universiteit Twente (UT)	56	59	5
Technische Universiteit Eindhoven (TU/e)	67	90	6
Totaal technische universiteiten	192	270	26
Totaal alle universiteiten	464	626	90