

Technische natuurkunde aan hogescholen

Ontwikkelingen in onderwijs en onderzoek

Er is veel gaande op de hogescholen. Bij de opleiding technische natuurkunde wordt onderzoek doen belangrijker en het onderwijs wordt daarop aangepast. Wat is de achtergrond van de hbo-bachelorcurricula en wat zijn de recente ontwikkelingen? Lodewijk Arntzen

Technische natuurkunde aan het hbo kan in Nederland aan drie hogescholen worden gevolgd: Fontys in Eindhoven, Saxion in Enschede en de Haagse Hogeschool in Delft. Jaarlijks starten aan deze hogescholen in totaal zo'n driehonderd eerstejaarsstudenten hun studieloopbaan. De curricula zijn zo ontworpen dat ze aansluiten op het havo-eindexamen (profielen Natuur & Gezondheid en Natuur & Techniek). Een actieve studiehouding is gewenst: de propedeuse laat zo'n vijftig procent van de startende studenten door naar het tweede jaar. Gedurende de vier studiejaar wordt van de studenten gevraagd fors te investeren in hun kennis en vaardigheden. Dit is nodig om bij uitstroom aan te sluiten bij de wensen van het beroepenveld. Ondanks het feit dat een fors deel van de inhoud van het curriculum landelijk is vastgelegd, is specialisering en profilering van zowel onderwijs als onderzoek een trend.

Inrichten van een curriculum

Bij het ontwerpen van een modern curriculum voor de hbo-bachelorfase is het nodig te analyseren in welk werkveld de opleiding opereert. Het is nuttig te bedenken dat deze studies een lange voorgeschiedenis kennen en de hts, net zoals het huidige mbo, sinds mensenheugenis een onmisbare schakel is geweest bij het functioneren van de natuurkunde als geheel.

Ik denk niet dat dit wordt onderschat door verstandige mensen [1], maar de eisen die worden gesteld aan mbo- en hbo-studenten zijn, mede onder invloed van recente technologische revoluties, wel aan verandering onderhevig. Welke strategische keuzes maken we bij het inrichten van het hbo-bachelorcurriculum?

Motor van innovatie

Volgens het rapport *Naar een lerende economie*, investeren in het verdienvermogen van Nederland van de Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid (WRR) [3] heeft Nederland een sterke kenniseconomie. Maar om toekomstbestendig te blijven is het noodzakelijk in te zien dat het aantal banen dat beschikbaar is bij niet-innoverende bedrijven verder afneemt en de behoefte aan technisch geschoolde creatieve probleemoplossers juist toeneemt. Een transitie van een kenniseconomie naar een lerende economie of innovatie-economie is wenselijk, omdat opkomende economieën de rol van kenniseconomie kunnen overnemen. Bij de ontwikkeling van dit creatieve vermogen moet de gehele onderwijsketen in de breedst denkbare zin worden betrokken: lagere scholen, middelbare scholen, mbo- en hbo-instellingen en universiteiten. Er moet fors worden geïnvesteerd, willen we kunnen blijven meedraaien in de top. Creatief wil niet per se zeggen dat we ons volledig moeten richten

op het ontwikkelen van nieuwe kennis. Het gaat ook om het circuleren en verzilveren van bestaande kennis. Wat citaten uit het WRR-rapport:

“...nieuwe kennis ontwikkelen blijft weliswaar belangrijk, maar er gaat daarnaast veel meer aandacht uit naar het mobiliseren en toepassen van ideeën en technieken die te vinden zijn in andere bedrijven, sectoren of landen...”

“Om te beginnen behoeft het landschap van onderzoeksinstituten meer differentiatie...”

“Ten tweede vergt de vormgeving van een lerende economie het (verder) ontwikkelen van onderzoeks- en onderwijsinstellingen tot regionale kenniscentra die structureel verbonden zijn met hun omgeving. Op dit moment overheerst eenrichtingsverkeer: kennis wordt via artikelen, patenten of afgestudeerden doorgegeven aan de samenleving. Het ontbreekt aan de nodige afstemming en aan antennes voor wat die samenleving nodig heeft. Het mbo zou als motor van de innovatie in het mkb moeten gaan fungeren, en universiteiten en hogescholen zouden er goed aan doen om samen met arbeidsorganisaties een goed stelsel van deeltijdonderwijs tot ontwikkeling te brengen.”

Het rapport van de WRR bevestigt dus

het beeld dat er schakels ontbreken om de innovatiemotor werkelijk te laten presteren. Op veel gebieden kan het mbo een schakel zijn bij het verzilveren van bestaande kennis. Voor innovatie vanuit de natuurkunde is er voor de gehele keten veel werk aan de winkel. De drie hogescholen die een opleiding technische natuurkunde aanbieden, hebben allang deze handschoen opgepakt en breiden stormachtig hun onderzoeksactiviteiten uit. De WRR-constateringen sluiten goed aan bij andere studies (Marzano [4] en Trilling [5]). Creatief denken, samenwerken, kritisch denken en reflecteren zouden gestimuleerd moeten worden, willen we studenten voorbereiden op het werkveld van morgen. Studenten technische natuurkunde werden altijd al gestimuleerd om kritisch en creatief te denken en een verdere focus hierop verloopt voor natuurkundecurricula vrij natuurlijk.

Sleuteltechnologieën

Tijd en ruimte in een curriculum zijn beperkt en hierdoor zullen er strategische keuzes moeten worden gemaakt. Welke technologieën willen we de studenten leren? Bij het nemen van strategische keuzes voor onderwijs en onderzoek is het nuttig om te kijken naar welke technologieën voor de toekomst van groot belang worden geacht. De Europese Unie onderscheidt zes zogenoemde sleuteltechnologieën (Key Enabling Technologies, kortweg KETs) die voor verdere innovatie in Europa essentieel worden geacht:

1. Fotonica;
2. Nanotechnologie;
3. Micro- and nanoelektronica;
4. Biotechnologie;
5. Geavanceerde materialen;
6. Geavanceerde fabricagesystemen en processen.

Het idee is studenten op te leiden die in staat zijn relevante problemen in de toekomst aan te pakken. In dit licht doen we er verstandig aan studenten vaardig te maken met betrekking tot deze zes KETs. Naast deze door de Europese Unie geformuleerde KETs heeft Nederland een topsectorenbeleid ontwikkeld (HTMS, Levenswetenschappen en gezondheid, Tuinbouw en Energie) dat van invloed zou kunnen zijn op de inrichting van een curriculum of bij het kiezen van een onderzoeksthema.

KNOWLEDGE

Natuurkunde	■ Klassieke mechanica ■ Elektromagnetisme ■ Kwantummechanica ■ Thermodynamica ■ Golven en trillingen ■ Optica ■ Eigenschappen van de materie: elementaire bestanddelen en hun wisselwerkingen ■ Atoomfysica ■ Kern- en deeltjesfysica ■ Akoestiek ■ Materialen ■ Stromingsleer
Wiskunde	■ Calculus: elementaire analyse en (lineaire) algebra ■ Laplace en Fourier-transformaties ■ Statistiek en kansrekening
Engineering	■ Meet- en regeltechniek ■ Vacuümtechniek ■ Energietechniek ■ Elektronica en signaalbewerking ■ Micro- en nanotechnologie ■ Lasertechniek ■ Programmeren en data-acquisitie

SKILLS

- **Algemene vaardigheden:** communiceren en samenwerken, projectmatig werken, systematische probleemaanpak
- **Vaardigheden behorende bij de experimentele benadering:** bouwen en beheren van meet-opstellingen en meetsystemen, data-acquisitie bij een meetsysteem realiseren, programmeren, software als Labview, Excel, Matlab, programmeertalen
- **Vaardigheden behorende bij de modelmatige benadering:** gebruikmaken van reken- en simulatiesoftware, ontwerpen van een reken- of simulatieprogramma, programmeren, software als Matlab/Simulink, Maple, Comsol Multiphysics, Ansys

Figuur 1 Body of Knowledge and Skills (BOKS) vastgelegd in het landelijk opleidingsprofiel van stichting DAS.

		Kwartaal			
		1	2	3	4
Jaar	1	major			
	2	major			
	3	stage		minor	
	4	specialisatie		afstudeerproject	

Tabel 1 Schematische weergave van het bachelorcurriculum technische natuurkunde zoals in Delft aangeboden, met specialisatiemogelijkheden in fotonica en nanotechnologie. Per kwartaal dient vijftien ECTS te worden behaald (in totaal 240 ECTS).

Landelijk opleidingsprofiel

Een flink deel van de inrichting van het curriculum van een natuurkundebachelor ligt vast. Om te beginnen zijn er internationale richtlijnen met betrekking tot de inrichting van een bachelor technische natuurkunde vanuit de European Physical Society [6]. Voor alle drie de opleidingen in Nederland is een overkoepelende basis van kennis en vaardigheden geformuleerd (de zogenoemde Body of Knowledge and Skills, zie figuur 1) dat onderdeel is van

een landelijk opleidingsprofiel. Dit opleidingsprofiel is ondergebracht bij de stichting Domein Applied Science (DAS), een samenwerkingsverband van hbo-opleidingen in de toegepaste natuurwetenschappen dat zorg draagt voor de kwaliteit en afstemming van onderwijs en onderzoek op het werkveld. Het profiel bevat richtlijnen over kennis, vaardigheden en een competentiematrix waarin staat vastgelegd wanneer welke competentie op welk niveau door de student dient te worden beheerst.



Figuur 2 Grafeen levert vele mogelijkheden voor toepassingen, waaronder oprolbare monitoren en flexibele zonnecellen. Foto: Eduard Bonnin Turina | Dreamstime.com.

Kennis

Gedurende vier jaar wordt van de student gevraagd een hoeveelheid theoretische kennis te verwerken in grofweg drie gebieden: natuurkunde, wiskunde en engineering. De onderwerpen in het kennisgedeelte vormen een theoretische basis. De student ontwikkelt een overzicht over de natuurkunde in brede zin. De bekende methode van Giancoli *Physics for Scientists and Engineers* [7], in combinatie met het digitale huiswerksysteem *Mastering Physics* van uitgeverij Pearson, wordt hiervoor veel gebruikt. Daarna wordt een selectie van onderwerpen met methoden voor gevorderden [8,9,10,11] verder uitgediept. Hierbij is het mogelijk dat de drie opleidingen technische natuurkunde elkaar wat ontlopen. Het streven is de theorie altijd tot leven te wekken in combinatie met vaardigheden door het maken van een ontwerp of door te proberen een onderzoeksvraag te beantwoorden. Dit laatste wordt steeds vaker gecombineerd met het toegepaste onderzoek dat door een lectoraat wordt aangeboden.

Algemene vaardigheden

De juiste mix van kennis en vaardigheden zorgt ervoor dat de student een heel complete ontwikkeling doormaakt. Met communiceren, samenwerken en projectmatig werken wordt uitgebreid geoefend gedurende het gehele curriculum. Onder communi-

ceren wordt ook mondeling en schriftelijk presenteren verstaan. Mondeling presenteren wordt geoefend in de vorm van een wetenschappelijke presentatie en dit wordt ook in het Engels geoefend. Het schriftelijk communiceren kent zijn eigen leerlijn, waarin de student stapsgewijs leert op een verantwoorde manier te rapporteren over een onderzoek of bedrijfsproject.

Onderzoeksvaardigheden

Onderzoeksvaardigheden staan centraal bij het leren experimenteren. In onderzoeksprojecten wordt de onderzoekscyclus doorlopen aan de hand van een onderzoeksvraag. Onderzoeksvragen en experimenten van uiteenlopende complexiteit zijn hiervoor beschikbaar en studenten kunnen dus zelf hun ambitieniveau kiezen. De student heeft de optie om zelf een onderzoeksvraag te formuleren, maar kiest meestal een onderzoeksvraag van een werkblad, waarop ook literatuurverwijzingen vermeld staan. De onderzoeksprojecten zijn zo gekozen dat steeds weer andere onderzoeksvaardigheden aan bod komen. Het werken aan de hand van zelf gekozen onderzoeksvragen werkt motiverend en bevordert de creativiteit en het probleemoplossend vermogen. De student voelt zich eigenaar van het probleem.

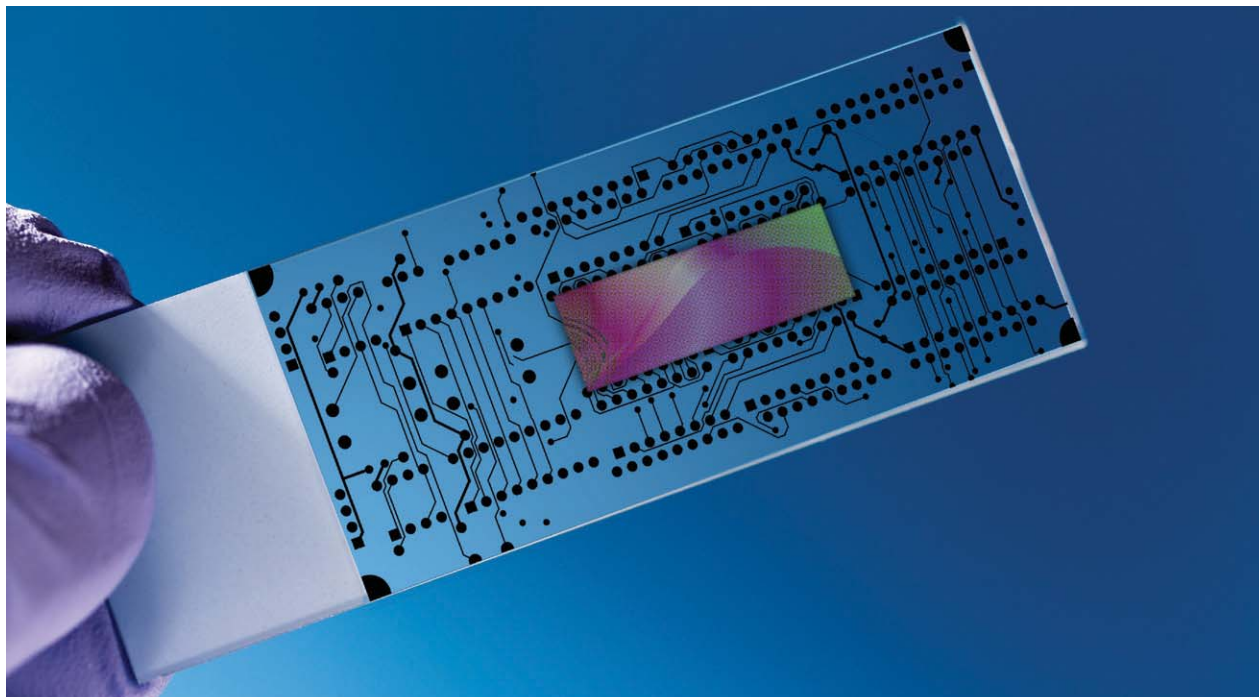
Computervaardigheden

De student die in deze tijd een ba-

chelcurriculum doorloopt krijgt fors meer te maken met computervaardigheden [12]: een direct gevolg van de digitale revolutie. De student wordt in stappen en met toenemende complexiteit opgeleid tot een vaardige gebruiker van software. De student leert omgaan met Excel, MATLAB, MATLAB-simulink, Python, Orcad Pspice, OSLO, COMSOL en LabVIEW. Dit resulteert in een enorme uitbreiding van het probleemoplossend vermogen; de student kan deze vaardigheid inzetten bij een keur aan problemen en om te rekenen, te simuleren en data-acquisitiesystemen op te zetten, te fitten, te plotten enzovoorts.

Complete voorbereiding op werkveld

Na het behalen van het bachelordiploma technische natuurkunde beschikt de afgestudeerde over een uitgekiende mix van kennis en vaardigheden. In vier jaar tijd wordt een programma met een studiebelasting van in totaal 240 ECTS aangeboden. Een ECTS (European Credit Transfer and Accumulation System) staat voor een studiebelasting van 28 uur. De student is tijdens zijn studie al gewend geraakt aan het toepassen van al het geleerde in de praktijk. Standaard wordt al dertig ECTS aan praktijkervaring opgedaan tijdens een reguliere stage en nog eens dertig ECTS tijdens de afstudeerstage. De rol van de lectoraten wordt bij het



Figuur 3 Meetfuncties geïntegreerd op een nanochip (lab-on-chip). Foto: Luchschen | Dreamstime.com.

opdoen van praktijkervaring steeds sterker door middel van volledig in het onderwijs geïntegreerde onderzoeksprojecten, maar daarnaast kunnen ook stageplekken en afstudeerplaatsen door een lectoraat worden aangeboden. Na het behalen van de eindstreep is de student zeer compleet voorbereid op de arbeidsmarkt en kan gerust gaan solliciteren in het werkveld. Ongeveer tweederde van de afgestudeerden kiest hiervoor, en met succes. Voor studenten geeft dit rust; ze hebben gedurende hun hbo-periode rustig de tijd om zich te oriënteren. Werkgevers zien deze jonge professionals graag komen: 1,5 jaar na het afstuderen is slechts 4% nog werkloos en 86% van hen werkt op niveau. Afgestudeerden vinden hun eerste baan gemakkelijk en ontwikkelen zich verder als meetspecialist, stralingsdeskundige, audioloog, bouw fysicus, nanotechnoloog of fonicus. Met andere woorden, ondanks een profileringstrend blijven de studies opleiden voor een breed werkveld. Daarnaast zijn er na het afronden van de studie legio mogelijkheden om door te studeren. Een derde van de uitstroom kiest ervoor om door te studeren. Na het behalen van de propedeuse aan het hbo is het mogelijk door te stromen naar de universitaire opleiding en na het behalen van de bachelor aan het hbo is het mogelijk in te stromen in een universitaire master. Hiervoor moet eerst een schakeljaar met een

programma van rond de veertig ECTS met goed gevolg worden afgelegd.

Profielkeuzes

Een gezamenlijk opleidingsprofiel hebben is mooi, maar betekent niet dat er geen verschillen zouden mogen bestaan tussen de opleidingen. Sterker nog, verschillen zijn wenselijk, alleen al door het feit dat de drie regio's verschillen en de verbinding met de omgeving verschillende kansen biedt.

Saxion

De opleiding technische natuurkunde van Saxion bevindt zich in de buurt van de Universiteit Twente en in de buurt van MESA+, een nanotechnologie-instituut waar zo'n vijfhonderd onderzoekers werken op het hoogste niveau. Een initiatief tot samenwerking heeft geleid tot de oprichting van een lectoraat Nanotechnologie. Het lectoraat laat de schakels van de innovatieketen in elkaar klikken met behulp van een ontmoetingsplatform. Studenten, onderzoekers en vertegenwoordigers uit de industrie komen hier samen om onderzoeksprojecten op te zetten. De vertegenwoordigers uit de industrie zorgen voor de benodigde afstemming en fungeren als antenne voor wat de samenleving nodig heeft. Het liefst wordt een complete projectcyclus doorlopen, leidend tot de ontwikkeling van een product. Er wordt on-

derzoek in dit lectoraat uitgevoerd op de gebieden NanoPhysicsInterface en NanoBioInterface. In samenhang met deze onderzoekslijn is de tweejarige Engelstalige master Applied Nanotechnology ontwikkeld: de eerste in zijn soort. Naast Nanotechnologie zijn de lectoraten Smart Functional Materials, Advanced Forensic Technology en Health & Care actief.

Fontys

Op Fontys in Eindhoven is het overkoepelende lectoraat Applied Natural Sciences actief. Binnen dit lectoraat zijn drie lectoren werkzaam. Een daarvan is de lector voor Thin Films & Functional Materials, met uitstekende faciliteiten op het gebied van dunnelaagtechnologie, analyse en biologische technieken. De andere twee lectoren zijn actief in de velden Life Sciences en Solar Fuels. Voor Solar Fuels is een L.INT-lector aangesteld. Dit type lector werkt deels bij een onderzoeksinstituut (in dit geval DIFFER) en kan de rol van aanjager van innovatie vervullen. In Eindhoven zijn de onderzoeksthema's ondergebracht in zes zogenaamde special interest groups (SIG's):

1. Thin Films & Functional Materials;
2. Diagnostics & Test Development;
3. Solar fuels;
4. Polymers;
5. Sustainable process technology;
6. Acoustics.



Figuur 4 Fotonica: een van de door de Europese Unie benoemde sleuteltechnologieën.
Foto: Lightpoet | Dreamstime.com.

Docenten zorgen met betrekking tot elke SIG voor een link met het onderwijs.

Haagse Hogeschool

De opleiding technische natuurkunde van de Haagse Hogeschool kent een stevige verankering in de regio. De opleiding was tot 2003 onderdeel van de zelfstandige Technische Hogeschool Rijswijk. Sinds 2009 is de opleiding gevestigd op de campus van de TU Delft onder de naam De Haagse Hogeschool vestiging Delft. De opleiding is uniek met de afstudeervariant fotonica en er is veel expertise ontwikkeld op dit gebied. De opleiding heeft gekozen voor sleuteltechnologieën fotonica en nanotechnologie, die al een stevige verankering in de regio hebben. Fotonica en nanotechnologie

fungeren letterlijk als sleuteltechnologieën voor de lectoraten Technology for Health en Smart Sensor Systems. Het lectoraat Technology for Health verricht onder andere onderzoek in robotica, medische instrumenten en biomaterialen. Het lectoraat Smart Sensor Systems kent de onderzoekslijnen Smart Safety en Smart Data Acquisition and Control en Smart Health. Micro- en nanotechnologie worden als KET gebruikt bij het ontwerpen en maken van een nieuwe generatie medische sensoren, een ontwikkeling die wordt uitgevoerd in samenwerking met het Else Kooijlaboratorium, TNO en in de medische sector actieve MKB-bedrijven. De regio en de campus van de TU Delft bieden uitstekende mogelijkheden om het natuurkundig onderzoek ge-

relateerd aan de gekozen KETs in de toekomst verder uit te bouwen.

Tot slot

Mocht u docent natuurkunde zijn in het middelbaar onderwijs en heeft u een creatieve leerling met belangstelling voor natuurkunde en haar toepassingen, dan is het misschien een goed idee deze leerling aan te raden een open dag te bezoeken. De drie opleidingen technische natuurkunde bevinden zich zowel op gebied van onderwijs als onderzoek in een zeer dynamische fase en hebben een spannende toekomst voor zich.

Referenties en noten

- 1 Kamerling Onnes gaf aan dat het vloeibaar maken van helium nooit gelukt zou zijn zonder de instrumentmakers waarmee hij samenwerkte. In Nederland waren die niet te vinden en dus haalde hij medewerkers uit het buitenland. Dit waren professionals die zich realiseerden dat ze een schakel vormden in een veel langere keten en in staat waren zelf hun probleem (daar waar nodig creatief) op te lossen, omdat ze weten dat niemand anders dat kan. Ze streefden ook nog extreme kwaliteit na [2]. De door Kamerling Onnes opgerichte Leidse Instrumentmakersschool vierde vorig jaar haar 115-jarig bestaan.
- 2 Dirk van Delft, *De blauwe jongens: De opleiding tot instrumentmaker in het natuurkundig laboratorium van Heike Kamerlingh Onnes*, GEWINA / TGGNWT **25-3** (2012) 137 - 153.
- 3 *Naar een lerende economie – investeren in het verdienvermogen van Nederland*, Wetenschappelijke Raad voor Regeringsbeleid (2013).
- 4 Robert J. Marzano en Dr. Heflebower, *Klaar voor de 21^e eeuw – Vaardigheden voor een veranderende wereld*, ISBN 9789461181749 (2013) Bazalt Educatieve Uitgaven.
- 5 Bernie Trilling en Charles Fadel, *21st Century Skills: Learning for Life in Our Times*, ISBN 978-0-470-55391-6 (2009) John Wiley and Sons.
- 6 *A European Specification for Physics Bachelor Studies*, European Physical Society. www.eps.org.
- 7 Douglas C. Giancoli, *Physics for Scientists and Engineers*.
- 8 Eugene Hecht, *Optics*, 5th Edition, ISBN 13 978-0133977226 (2016) Pearson.
- 9 Frank L. Pedrotti, *Introduction to Optics*, Pearson, ISBN 13 9781292022567
- 10 Safa O. Kasap, *Optoelectronics & Photonics*, Pearson, ISBN-13 9780273774174.
- 11 K.S. Krane, *Modern physics*, John Wiley & Sons, Druk: 3 (2012) ISBN 9781118061145.
- 12 *AAPT Recommendations for Computational Physics in the Undergraduate Physics* (2016).
- 13 H.W. Lintsen, *Geschiedenis van de techniek in Nederland, De wording van een moderne samenleving 1800-1890, Deel V, Techniek, beroep en praktijk*, Walburg, Pers, Zutphen (1994).