

Wiskunde in het technisch beroepenveld

Verslag van een onderzoek naar de gewenste wiskundekennis en -vaardigheden van hbo-afgestudeerden in het technisch beroepenveld

*Het boek van de natuur is
geschreven in de taal van
de wiskunde.*

Galilei

Roel van Asselt

In opdracht van de Landelijke Werkgroep HBO-Wiskunde (LWHW)
van de Nederlandse vereniging van Wiskundeleraren (NVvW)

juni 2012

Inhoud:

	blz.
1. Aanleiding en doelstelling van het onderzoek	3
2. Uitvoering van het onderzoek	4
2.1 Uitvoering en verantwoording	
2.2 Afbakening	
3. De gewenste wiskundekennis en -vaardigheden	6
3.1 De onderwerpen uit de wiskunde en het gebruik ervan	
3.2 De Body of Knowledge	
3.3 ICT-gebruik	
3.4 Denkactiviteiten	
3.5 Algemene hbo-competenties	
4. De waardering voor de huidige wiskundekennis en -vaardigheden	17
5. De positie van Nederland in relatie tot de opkomende economieën	19
6. Trends	20
7. Conclusies en aanbevelingen	22
7.1 Conclusies	
7.2 Aanbevelingen	
Appendices	27
A. Onderzoeksopzet	
B. Overzicht van geïnterviewde vertegenwoordigers uit het beroepenveld	
C. Literatuur en naslagdocumenten	



Wiskunde in het technisch beroepenveld van Roel van Asselt / LWHW is in licentie gegeven volgens een [Creative Commons Naamsvermelding-GelijkDelen 3.0 Nederland licentie](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/nl/).

1. Aanleiding en doelstelling van het onderzoek

De Landelijke Werkgroep HBO-Wiskunde (LWHW), een werkgroep van de Nederlandse vereniging van Wiskundeleraren (NVvW), organiseert periodiek conferenties over de ontwikkelingen van de wiskundediscipline in en om het hoger beroepsonderwijs. Didactiek, computergebruik, aansluitingsvraagstukken hebben tot nu toe de aandacht gekregen. Gelet op het karakter van het beroepsonderwijs is op die conferenties steeds aandacht besteed aan de opvattingen in het beroepenveld met betrekking tot de vorm en inhoud van het wiskundeonderwijs op hogescholen. Het hbo dient immers beroepsgericht onderwijs te verzorgen, aansluitend op de beroepstaken die van afgestudeerde (beginnende) hbo'ers verwacht worden. Veelal verliep de inbreng via een gastspreker uit het bedrijfsleven. Deze gewaardeerde inbreng bleef evenwel beperkt tot ervaringen en opinies uit de werkomgeving van betrokken gastspreker.

Voor het onderwerp van de conferentie van 19 april 2012: 'Wiskunde 2.0. Wat willen we met wiskunde op het hbo?' bleek een breder beeld van het nut en gebruik van wiskunde door hbo-afgestudeerden noodzakelijk. Om die reden heeft de LWHW besloten tot een diepgaander onderzoek naar wat van afgestudeerde hbo'ers aan kennis, vaardigheden en wiskundige denkactiviteiten in het beroepenveld wordt verwacht om de vraag te kunnen beantwoorden die titel van de conferentie opwerpt. Het eindverslag van het diepgaander onderzoek treft u in deze publicatie aan¹.

De meer inhoudelijke motiveringen om de conferentie 'Wiskunde 2.0' te organiseren en om gericht onderzoek te doen naar de verwachtingen van het beroepenveld komen voort uit de veranderende positie van wiskunde in de hbo-curricula vanwege:

- de bezuinigingen in de uitvoering van het hbo-onderwijs,
- de toenemende inzet van ICT in het (hbo-)onderwijs,
- de veranderingen in de hbo-vooropleidingen mbo en vo,
- de ontwikkeling van onderwijsvisies in het hbo,
- de veranderingen in het beroepenveld waar het hbo zich op richt, te weten
 - de globalisering van het bedrijfsleven,
 - de automatisering van industriële processen en van de bedrijfsvoering,
 - de internationale concurrentie met opkomende economieën.

Voor het onderzoek is een centrale onderzoeksvraag opgesteld. Gelet op de breedheid van 'het' beroepenveld richtte het onderzoek zich in eerste aanleg op het technisch beroepenveld. Conclusies betreffende het economisch beroepenveld kunnen op basis van dit onderzoek niet worden getrokken, maar liggen wel voor de hand. In ieder geval kunnen al wel hypothesen geformuleerd worden voor een aanvullend onderzoek in het economisch beroepenveld.

Voor het hier uitgevoerde onderzoek is door de LWHW de volgende centrale onderzoeksvraag opgesteld:

¹ Een uitgebreid verslag van de conferentie alsmede een eerste presentatie die op de conferentie over dit onderzoek is gegeven, is te vinden op <http://www.nvww.nl/page.php?id=8906>.

Welke wiskundige kennis, vaardigheden en attitudes moet een beginnend hbo-ingenieur beheersen in het betrokken technisch bedrijf(sleven) en beroepenveld.

De hypothese is dat de wiskundige geletterdheid van hbo-ingenieurs opnieuw geïjkt moet worden aan de gewenste competenties van hbo-afgestudeerden en aan de ontwikkelingen in het hbo-wiskundeonderwijs.

Door het beantwoorden van deze vraag wil het onderzoek een bijdrage leveren aan de wenselijke en onderwijsbare wiskundige kennis, vaardigheden en attitudes van hbo-ingenieurs.

2. Uitvoering van het onderzoek

2.1 Uitvoering en verantwoording

Het onderzoek is uitgevoerd onder 15 vertegenwoordigers uit het beroepenveld die ervaring hebben met het werk van beginnende hbo-ingenieurs. Er zijn door de onderzoeker met hen interviews afgenomen, van 30 tot 50 minuten op basis van een vaste lijst met richtvragen die voorafgaand aan de gesprekken aan de geïnterviewden is toegestuurd. De onderzoeksopzet en de interviewvragen treft u aan in appendix A. Van de interviews zijn verslagen gemaakt op basis waarvan het onderzoeksverslag is opgesteld. De geïnterviewden waren bekend met de aanleidingen voor het onderzoek, zoals hierboven is aangegeven.

De interviews vonden plaats in de periode februari-april 2012. Alle gesprekken verliepen in een zeer constructieve en open sfeer. Een concept eindverslag is aan de geïnterviewden aangeboden voor commentaar.

Voor het vinden van de juiste vertegenwoordigers uit het beroepenveld heeft de onderzoeker gebruik kunnen maken van de netwerken van het KIVI-NIRIA, van de werkgroep onderwijs van de KNCI, van Jet-Net en van LWHW-leden. In appendix B zijn de geïnterviewden en de contactpersonen op naam, bedrijf of instelling en functie aangegeven.

De diversiteit binnen de typen bedrijven en instellingen die zijn ondervraagd en de geografische spreiding van de betrokken bedrijven en instellingen boden voldoende garanties op een onafhankelijke informatieverzameling.

In het onderzoek zijn eerst de onderwerpen en gebruiksniveaus van de gewenste wiskundekennis en -vaardigheden in beeld gebracht. Daarna worden, evenals in de interviews, de eventuele lacunes in de huidige kennis en vaardigheden aangegeven. Vervolgens worden de gevraagde trends in de beroepsuitoefening benoemd en de aanvullende beroepseisen die daar uit voortvloeien. Op die manier hoopt de onderzoeker een zo zuiver mogelijk beeld van de status quo te beschrijven en pas daarna eventuele aanvullingen, dan wel beperkingen te benoemen. De verwachting is dat deze volgorde de transparantie van de aanbevelingen vergroot.

2.2 Afbakening van het onderzoek

Het onderzoek richt zich uitsluitend op opinies binnen het beroepenveld. Op de aansluitende conferentie *Wiskunde 2.0* van 19 april 2012 is voorzien in de reflecties op de onderzoeksresultaten vanuit het onderwijs, i.c. van hbo-wiskundedocenten.

Het onderzoek beperkt zich tot het huidige wiskundeprofiel van de hbo-afgestudeerden en de verwachting daaromtrent in het beroepenveld. Trends in het beroepenveld en de beroepsuitoefening zijn in het onderzoek (beperkt) aan de orde gesteld. Op de conferentie van 19 april is wel uitgebreid ingegaan op trends in de ontwikkelingen van het beroepenveld. In dit onderzoeksverslag wordt over de trends integraal verslag gedaan.

Vanwege de aard van het onderzoek zijn twee aspecten niet aangeroerd, te weten:

- de wiskundeonderwerpen die in hbo-opleidingen (kort) aan de orde komen teneinde andere vakken en disciplines tijdens de opleiding te ondersteunen,
- onderwerpen die in het hbo wel aan de orde komen en die leiden tot een juist werk- en denkniveau, maar die niet meer expliciet worden gebruikt in de beroepspraktijk van de hbo-afgestudeerde; bijvoorbeeld de formele logica in ICT-opleidingen, die wel bijdraagt aan de juiste denk-activiteiten, maar niet frequent wordt gebruikt in de beroepspraktijk.

Beide aspecten verdienen – voor het hbo-onderwijs – wel alle aandacht, maar vragen een andere onderzoeksopzet.

Niet onvermeld blijft dat effecten in het wiskundeonderwijs die te maken hebben met

- de doorstroomeisen hbo-wo,
- de keuzes voor brede of smalle technische hbo-opleidingen en
- het inrichten van Ad-opleidingen,

niet in het onderzoek en dus ook niet in de conclusies worden vermeld, maar wel in de aanbevelingen waar het gaat om de verdere geïntegreerde ontwikkeling van het wiskundeonderwijs in het hbo.

Anders dan mogelijk wordt verwacht, is het onderzoek niet uitgesplitst naar de vier domeinen in het technisch beroepenveld². Wel is een spreiding in deze domeinen onder de geïnterviewden gerealiseerd. Er zijn tevens nuancerings per domein in de interviews en in dit verslag aangegeven. Met name waar concrete voorbeelden worden gegeven, zijn die vaak afhankelijk van de taken van de hbo-afgestudeerde in het betreffende domein. Toch zijn deze voorbeelden in het verslag opgenomen om aan te geven dat geïnterviewden niet alleen vinden dat het betreffende wiskundeonderwerp *nice to know* is, maar dat er ook een *need to know* voor dat onderwerp aanwezig is. Verder zullen naar de mening van de onderzoeker de meeste van de voorbeelden uit een bepaald techniekdomein, gemakkelijk zijn om te zetten naar een wiskundig vergelijkbaar voorbeeld in een ander domein.

Een van de eerst in het oog springende onderzoeksresultaten is overigens de grote mate van domein-onafhankelijke eenstemmigheid die is aangetroffen onder de geïnterviewden over een groot aantal aandachtspunten binnen de richtvragen. Vermoedelijk is dat mede terug te voeren op een toenemende mate van interdisciplinariteit die zich – ook blijkens dit onderzoek – in het beroepenveld aan het voltrekken is. Mede hierdoor kunnen dan ook generieke conclusies en aanbevelingen worden geformuleerd.

In ons bedrijf is wiskunde heilig verklaard als voorkennis en als gebruikerstool.

² Te weten: Engineering, Applied Science, Built Environment en ITC

Gelet op de diversiteit van het beroepenveld naar sectorale en intersectorale oriëntatie en naar omvang (van MKB tot multinational) is het onderzoek niet representatief. Gelet op bovenstaande beschreven bevindingen zijn niettemin voldoende generieke conclusies te trekken.

De in dit verslag opgenomen en ingekaderde citaten zijn afkomstig uit de rapportages van de interviews met de vertegenwoordigers uit het beroepenveld, tenzij anders vermeld.

3. De gewenste wiskundekennis en vaardigheden.

In dit hoofdstuk wordt een deel van de uitkomsten van de interviews beschreven, waarbij eerst de wiskundeonderwerpen die in het beroepenveld aan de orde komen worden aangegeven. Vervolgens geven we aan op welke niveaus de onderwerpen worden gebruikt, welke ‘body of knowledge’ wordt verwacht en hoe ICT-gebruik samenhangt met wiskundige kennis, vaardigheden en attitudes. Tenslotte gaan we kort in op een aantal meer algemene competenties van hbo-afgestudeerden.

3.1 Wiskundeonderwerpen en het gebruik ervan

In bijlage 1 van Appendix A is een lijst opgenomen van wiskundeonderwerpen die aan de orde kunnen komen in de beroepsuitoefening van hbo’ers. De onderwerpen die door de 15 geïnterviewden als relevant voor de beroepspraktijk zijn aangemerkt, zijn in afnemende frequentie:

- Matrixrekening en vectorrekening (Lineaire algebra) [13 keer genoemd]
- Calculus (differentiaal- en integraalrekening) [13]
- Statistiek en Kansrekening/stochastiek [13]
- Numerieke methoden (o.a in de EEM, Excel, eigen numerieke software en simulatieprogrammatuur) [10]
- Differentiaalvergelijkingen [10]
- Meetkunde (elementair) [7]
- Logica (in engere zin) [5]
- Operations Research [3]

Binnen het domein Engineering en Applied Sciences worden de volgende extra onderwerpen door alle geïnterviewden uit beide domeinen genoemd:

- Laplacetransformaties
- Fourieranalyse

Het zijn dus deze onderwerpen waarvan de verwachting leeft onder de geïnterviewden dat deze in het hbo aan de orde komen. Opmerkelijk zijn de scores van de top-3 uit deze lijst, gelet op de onderwerpen die momenteel in het hbo aan de orde zijn. De overige onderwerpen uit bijlage 1 van appendix A worden niet relevant (genoeg) geacht. Opmerkelijk is dat geen andere onderwerpen zijn genoemd dan die uit de onderwerpenlijst uit bijlage 1.

Over de wijze van gebruik van deze wiskundige onderwerpen is uitgebreid navraag gedaan en zijn verschillen tussen domeinen aangegeven. Uiteraard hangt gebruik af van de taken die

hbo-afgestudeerden vervullen; ontwerpers, technici en constructeurs zullen in hun werk meer met wiskunde in aanraking komen dan team- of projectleiders.

Algemeen geldt dat een fundamenteel gebruik van wiskunde, in formele en theoretische zin, niet wordt gevraagd of verwacht van hbo-ingenieurs. Dat ligt meer op de weg van de wo-ingenieurs en de (oudere) ontwerp- en ontwikkelspecialisten. De hbo'er functioneert ook niet in eerste aanleg als solist in een ontwikkelomgeving, maar meer in ontwikkelteams en bij de prototyping, het testen, implementeren, optimaliseren en beheren van producten en productieprocessen. De hbo-ingenieur dient de genoemde onderwerpen te (her)kennen als gereedschappen waarmee in het bedrijf wordt gewerkt en gaat er meer 're-actief' mee om dan de wo-ingenieur waarvan een actieve beheersing wordt gevraagd. Van zeer groot belang is echter dat de hbo-ingenieur in wiskundige termen en begrippen, gerelateerd aan de genoemde onderwerpen, kan communiceren met zowel de ontwerpers als de gebruikers van producten en processen. We komen daar nog uitgebreid op terug.

Het gebruiksniveau waarop de hbo-ingenieur moet kunnen omgaan met de genoemde wiskundige onderwerpen kan het beste worden verduidelijkt aan de hand van een aantal (door de geïnterviewden genoemde) voorbeelden per onderwerp.

Lineaire algebra

Bij Lineaire algebra gaat het erom dat een hbo-ingenieur begrijpt dat grote stelsels van lineaire vergelijkingen³ en andere gestructureerde databestanden via matrices en vectoren kunnen worden weggeschreven en opgelost door computers. Bij de analyse van de uitkomsten dient ook weer met de juiste bril naar de oplossingen gekeken te worden als deze in wiskundige formuleringen zijn beschreven. Kleinere stelsels vergelijkingen moeten ook met de hand kunnen worden opgelost.

*Wat moet je met
Mathcad als je niet
weet wat een
matrix is?*

Calculus

Bij afgeleiden en integralen is het minder belangrijk hoe gedifferentieerd moet worden of wat de primitieve van een functie of expressie is: dat kan snel met een tool als Mathcad worden bepaald. Het gaat om het begrip en inzicht in wat een differentiaalquotiënt en wat een bepaalde integraal is en wat het beschrijft in een technische context (in een ontwerp, model, norm of numerieke berekening): de afgeleide als een maat voor een relatieve verandering en de bepaalde integraal als een continue som van benaderde deelstappen. Sommige geïnterviewden geven aan dat hbo'ers wel stamintegralen moeten kunnen omzetten in varianten daarvan.

Gelet op de fors toenemende 3D-toepassingen in digitaal ontwerpen en in simulatie- en EEM-software is ook een eerste begrip van partiële afgeleide en dubbelintegraal voor grote aantallen hbo-ingenieurs belangrijk. De hbo'er zal er geen aparte, geïsoleerde 'sometjes' mee hoeven te maken, of met de hand numerieke methodes na

*Niet alleen statische
maar ook
tijdsafhankelijke
toepassing vinden in de
bouw plaats; denk aan
krimp, kruip,
temperatuur-
schommelingen,
trillingen in
constructies, die alle
leiden tot dynamisch
krachtenspel.*

³ Bij grote aantallen knooppuntvergelijkingen (van krachten of stroomkringen)

hoeven te rekenen. Maar hij/zij moet wel in de context kunnen begrijpen wat differentiaal- en integraalbetrekkingen beschrijven en doen. Een greep uit de vele voorbeelden van kennisgebieden waar Calculus een rol speelt: de sterkteleer, warmteleer, stromingsleer, elektriciteitsleer en magnetisme, spectrometrie, milieukunde enz. Nadere analyse per domein zal een groot aantal (deels bekende) concrete voorbeelden opleveren waarin Calculus wordt gebruikt in de beroepstaken van hbo-afgestudeerden.

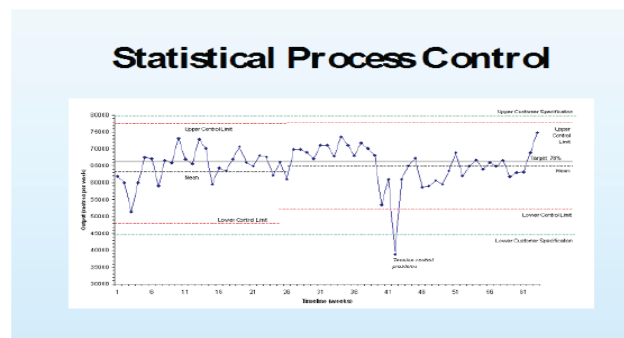
Numerieke methoden

De bekendheid met de wiskundige principes binnen de numerieke berekeningen en simulaties wordt van groot belang geacht om de nauwkeurigheid van uitkomsten te kunnen waarderen en de snelheid van de berekeningen te kunnen inschatten. Bij dit onderwerp (en ook bij Statistiek) wordt door bijna alle geïnterviewden aangegeven dat een ‘sense of error’ – en een gevoel van waar het heen moet met de antwoorden – zeer belangrijk is bij een verantwoord gebruik van numerieke methoden. Ook is het stellen van de juiste randvoorwaarden en de helderheid van de probleembeschrijving in dit verband cruciaal, juist voor hbo-ingenieurs.

Statistiek en kansrekening

In alle domeinen is Statistiek, met name het kunnen werken met grote databestanden en signaalanalyses, een dominant kenmerk van het wiskundeprofiel van de hbo-afgestudeerde. Bij onder meer het testen en het kwaliteits- en veiligheidsbeheer is statistiek een must.

Vaak worden ook genoemd: het begripsmatig kunnen werken met grootheden en termen zoals gemiddelde(n), spreidingsmaten, correlaties, trends en betrouwbaarheidsintervallen. Het gaat vaak over het kunnen ordenen, modelleren (bijvoorbeeld de kleinste-kwadratenmethode), analyseren (zoals het analyseren van ruis) en beoordelen van grote hoeveelheden data. En annex, het kunnen interpreteren van numerieke en grafische computeroutput. Zie bijgaand voorbeeld, waarmee trends en/of afwijkingen moeten worden geanalyseerd en op grond waarvan tot onderbouwde ingrepen in het proces kan worden besloten.⁴



De combinatie van statistiek en numerieke methoden speelt een rol: in de productieomgeving variëren de parameters doorgaans en het geplande ontwerp pakt in de productie net iets anders uit dan in het ontwerp was voorzien; tijdens het ontwerp dient daar rekening mee te worden gehouden (parametrisering van modellen vanuit meetdata).

Een ander aspect dat het belang van statistiek onderstreept is het begrijpen en gebruiken van de NEN-normen en nieuwe Europese voorschriften (codes) die veelal op statistische aannames en overschrijdingskansen berusten.

⁴ Uit 'De Toekomst Telt', door de onderzoeker zelf als voorbeeld toegevoegd [Lit. 1].

Meetkunde

Het toenemend gebruik van ondermeer

- 3D-simulatie,
- ruimtelijk (digitaal) ontwerpen,
- numerieke berekeningsmethoden bij ruimtelijke constructies en processen,
- ruimtelijke optimalisatie in de stedenbouw,

vragen om ruimtelijk inzicht van hoger opgeleiden. Als concreet voorbeeld van een eenvoudig 3D-ontwerp wordt genoemd dat een hbo-ingenieur bij het ontwerpen van (chemische) voedingsleidingen het debiet moet kunnen bepalen, afhankelijk van de stand (hoeken) van de kleppen in de leiding. Ook bij gebruik van vectorrekening in drie dimensies (spreiding van emissies, propagatie van (licht)golven, stromingsleer etc.) is inzicht in ruimtelijke (en goniometrische) betrekkingen van belang. In sommige domeinen gaat het ook om elementaire aspecten zoals: rekenen met verhoudingen, bepaling van zwaartepunten, basale goniometrische verhoudingen en begrippen, en oppervlakten van platte en (inhouden van) ruimtelijke figuren.

Zo zal bij het parametrisch ontwerpen, gericht op goede geometrische verdelingen, inzicht nodig zijn in wat de betekenis is van parameters in een formule ('is het nog lasbaar').

Differentiaalvergelijkingen

Zichtbaar en onzichtbaar komen differentiaalvergelijkingen en differentiaalbetrekkingen voor in vele domeinspecifieke standaardbetrekkingen, expressies en formules en in computer-ondersteunde numerieke methoden. In ieder geval moet een hbo-ingenieur in die gevallen de betrekking kunnen begrijpen en weten wat de differentiaalvergelijking beschrijft. Dat speelt tevens in literatuurstudies en actuele publicaties. De vergelijkingen zelfstandig oplossen komt maar zelden aan de orde. In een aantal van eerdergenoemde onderwerpen in deze paragraaf gaat het ook om het kunnen werken met differentiaalvergelijkingen. Bij het onderwerp modelleren spelen differentiaalvergelijkingen een rol en dient een opgestelde differentiaalvergelijking 'gelezen' te kunnen worden.

Hoe meer wiskunde studenten hebben gehad, hoe beter het abstracte denkniveau wordt; ze zijn dan beter in staat problemen te analyseren en een oplossing te bedenken.

Logica

Logica wordt genoemd ter ondersteuning van het 'logisch' redeneren, argumenteren en onderbouwen van keuzes, maar niet altijd als een afzonderlijke discipline of toepassing. Op een enkel voorbeeld na van het gebruik van waarheidstabellen bij het programmeren.

Er is slechts eenmaal naar fuzzy logic verwezen waar het gaat om 'engineers judgments' in onzekere of onvoldoende bekende situaties (onzekerheidsmanagement)..

Operations Research

Naar OR wordt slechts een enkele keer verwezen, bijvoorbeeld bij het – al dan niet digitaal – optimaliseren van probleemoplossingen en bijvoorbeeld in simulatiepakketten voor Verkeers-

kunde. Het gaat dan om een niet zichtbaar en voor een hbo-ingenieur passief gebruik van een berekenings- of analysemethode. Wel dient (ook) een hbo'er inzicht te hebben in de onderliggende wiskundige structuur in deze berekeningen en simulatieprogramma's.

Onderwerpen die alleen bij Applied Sciences en Engineering aan bod gekomen zijn:

Fourieranalyse

Het principe van het transformeren van een betrekking of functie van het tijdsdomein naar het frequentiedomein komt in genoemde domeinen vaak voor; doorgaans ook onzichtbaar zoals bij digitale signaalbewerking, maar ook wel expliciet bij golfvergelijkingen, elektronica, diffusieproblemen. Hbo'ers zullen er zelf niet aan rekenen, maar wel de taal en eigenschappen moeten kunnen begrijpen die in de ontwikkelteams worden gebruikt.

Er wordt voor gepleit dat hbo'ers de redenen kennen en begrijpen waarom deze transformatie wordt uitgevoerd. Dat besef is er nu veelal niet. Er wordt dan ook aanbevolen om in het onderwijs de contexten waarin Fourieranalyse wordt gebruikt onder de aandacht te brengen en toe te passen in de les.

Laplacetransformatie

In de bedrijven die aangaven dat kennis en begrip van Laplacetransformaties relevant wordt geacht, is het voorbeeld voorgelegd van de PID-regelaar in termen van de Laplacegetransformeerde van het uitgangssignaal.

De vraag luidde aldus:

Moeten hbo-ingenieurs engineering en applied science deze uitdrukking voor een PID regelaar kennen? Moeten ze er ook mee kunnen werken, dan wel – slechts – communiceren met anderen?

De drie gegeven reacties worden geciteerd aan de rechterkant van de beschrijving van de PID regelaar die was meegestuurd.

De PID-regelaar gebruikt het volgende regelalgoritme voor de uitgang $u(t)$:

$$u(t) = Kr \cdot \left(e(t) + \frac{\int e(t) dt}{Ti} + Td \cdot \frac{de(t)}{dt} \right)$$

waarin het foutsignaal $e(t)$ het verschil is van de proceswaarde $PV(t)$ en het setpunt $SP(t)$

$$e(t) = PV(t) - SP(t)$$

Dit is eenvoudig te schrijven met Laplacetransformatie:

$$H(s) = Kr \cdot \left(1 + \frac{1}{Ti \cdot s} + Td \cdot s \right)$$

- $H(s)$ = De transferfunctie van de regelaar
- Kr = de **proportionele** actie van de regelaar (P-actie)
- Ti = de **integratietijd** van de regelaar (I-actie): hoe kleiner Ti , hoe meer I-actie
- Td = de **differentiatietijd** van de regelaar (D-actie): hoe groter Td , hoe meer D-actie

Ze hoeven de formules niet uit het hoofd te kennen, maar wel kunnen opzoeken, interpreteren en er mee kunnen werken. Tevens dienen ze te begrijpen hoe de P-, I- en D-acties zich gedragen in de regelaar.

Goede vraag. Mijn antwoord is: ja, ze moeten er mee kunnen werken; dit is m.i. een essentiële (voorbeeld)functie.

Een ingenieur moet op zijn minst over de PID-regelaar kunnen communiceren. Ze kunnen er ook wel over communiceren, maar haken af als het om stabiliteitscriteria gaat.

Het gebruik van de wiskunde

Zoals gezegd: het zijn vooral de wo-ingenieurs die complexe wiskundige bewerkingen uitvoeren en formele wiskunde toepassen. De hbo'ers moeten wiskundige formuleringen en de uitkomsten van de berekeningen wel kunnen begrijpen en er over kunnen meedenken en communiceren. Er zijn ook trends zichtbaar waaruit blijkt dat R&D-teams en R&D-projecten niet meer het exclusieve werkterrein van wo-ingenieurs zijn, maar dat wo- en hbo-ingenieurs samenwerken en elkaars competenties aanvullen⁵. Zeker in die gevallen dienen hbo-ingenieurs bekend te zijn met de wiskundige begrippen die een rol spelen in het ontwerpen en ontwikkelen van innovaties. Voor beide ingenieurstypen zijn dat de gewenste en te verwachten inzichten en attitudes. Opmerkingen van een aantal geïnterviewden geven aan dat de werkelijkheid vaak een ander beeld laat zien. Zie het citaat hiernaast.

Experimenten, vuist-regeltjes en onderbuikgevoel alleen zijn onvoldoende om complexe berekeningen te maken of te vertrouwen. Deze 'attitudes' kunnen het inzicht in de berekeningen niet vervangen. Hbo'ers en wo'ers gaan daarmee in toenemende mate de boot in.

Een aantal malen wordt genoemd dat hbo-ingenieurs in literatuurstudies wiskundige onderwerpen en begrippen tegenkomen – van het type die in de vorige paragraaf zijn genoemd – en dat ze daar inzichtelijk mee moeten kunnen omgaan. Ze mogen in ieder geval niet wegllopen van (of vastlopen in) het kennisnemen van (nieuwe) ontwerpen, concepten, modellen of normen waar de genoemde onderwerpen in voorkomen. Datzelfde geldt voor de kennis omtrent de wiskundige begrippen en methodes die gebruikt worden in de software van digitale numerieke methodes, simulatieprogramma's, ontwerptools en statistische pakketten. Zonder die kennis is correcte invoer van gegevens en randvoorwaarden, interpretatie van uitkomsten, schattingen van betrouwbaarheden en rekensnelheden niet goed mogelijk. In bijna alle gevallen zullen ingenieurs een grove handmatige berekening moeten kunnen maken (of begrijpen) om de (computer)uitkomsten te kunnen voorspellen en/of te controleren.

Een andere, vaak voorkomende toepassing van wiskunde in domeinspecifieke toepassingen, is het omzetten van normen naar de eigen ontwerpsituatie. Als voorbeeld wordt genoemd de (Europese) belastingsnormen voor constructies, die moeten worden aangepast aan het gebruikte materiaal, de materiaaldikte, de variabiliteit van de krachten etc. Daartoe moeten wiskundig georiënteerde formules worden aangepast en herschreven, waarvoor wiskundige vaardigheden zijn vereist.

Het interpreteren en manipuleren van formules kan ook voorkomen bij het ombouwen van formules naar standaardinput van berekeningsprogramma's, het gebruik binnen gevoeligheidsanalyses en gebruik of juist verwaarlozing van parameters.

Wat kun je bij het parametriseren in constructiemodellen 'verdienen' door materiaalgebruik te minimaliseren (slim ontwerpen).

⁵ Wil Schilders, op het LWHW-congres van 19 april 2012

Een belangrijke gebruiksvorm van wiskunde is, naast de communicatie in en met R&D-teams, ook de communicatie met de werkvloer over innovaties of verbeteringen in de werkprocessen en producten. Als concreet voorbeeld werd genoemd het analyseren en bespreken van M- κ -diagrammen; zie het voorbeeld hiernaast.

Tevens wordt met name van hbo-ingenieurs verwacht dat zij helpen bij het interpreteren van vormen van Statistical Process Control (zie de vorige paragraaf), opdat de juiste trends worden ontdekt, geen verkeerde conclusies worden getrokken en niet te snel wordt ingegrepen.

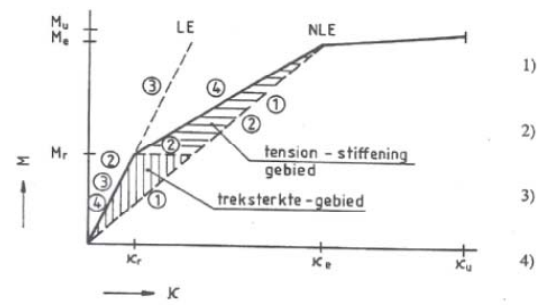


Fig. 9. Toelichting van de opbouw van een M- κ -diag

Een ander voorbeeld van (zichtbaar) wiskundegebruik speelt in het parametriseren van modellen. De wiskunde stelt de ontwerpers in staat om de optimale setting van parameters te bepalen uit de verschillende bouwblokken waaruit een systeem is opgebouwd.

Een minder zichtbaar deel van de wiskunde zit dan in de decompositie van systemen in subsystemen en blokken (de zogenoemde requirement decompositie modellen).

Een andere, minder direct zichtbare toepassing, is het gebruik bij het ontwerpen van componenten, waarbij de ontwerp- en/of analysemethode stoelt op het gebruik van wiskundige gereedschappen zoals Fourieranalyse, Lineaire algebra en optimaliseringmethoden uit de Operations Research.

Het onzichtbaar gebruik van wiskunde geeft vaak de meest zichtbare resultaten

3.2 Een body of knowledge van hbo-afgestudeerden

In deze fase van de bevraging van de vertegenwoordigers uit het beroepenveld, werd de vraag voorgelegd of er een 'body of knowledge' van de wiskunde voor beginnende hbo'ers in het betreffende werkveld kon worden geformuleerd. Dat bleek lastig; het begrip 'body of knowledge' kan op onderwerpniveau begrepen worden, maar ook op het niveau van een bepaalde wiskundige basisvaardigheid. Bovendien is het afhankelijk van het soort werk dat een hbo-opgeleide verricht. Sommigen geven aan dat de door hen genoemde wiskundeonderwerpen (zie ook §3.1) de 'body of knowledge' uitmaakt, omdat deze voortdurend in het werk worden toegepast. In die gevallen wordt ook

Er dient ook voldoende basiskennis aanwezig te zijn om niet voor iedere berekening met getallen of letters een computer in te hoeven zetten.

Een hbo'er moet begrijpen dat de helft van 80dB niet 40 dB is.

Het opgeven van een frequentie in 6 decimalen mag niet voorkomen.

Laplace-transformatie en Fourieranalyse genoemd. In ieder geval behoort bij alle geïnterviewden de Calculus en de Statistiek tot de basiskennis. Van deze basiskennis is dan voor de hbo-ingenieur het 'weten dat' en het 'weten waarom' van belang; het laatste ook wel benadrukt door de verwachting dat de afgestudeerden inzicht hebben in wat ze doen en inzicht

tonen bij het gebruik van wiskunde. Het ‘weten hoe’ kan vaak wel bij specialisten in een team worden opgevraagd.

Daarnaast wordt door een aantal geïnterviewden gerefereerd aan basiskennis en -vaardigheden rond de onderdelen algebra en meetkunde. Basale goniometrie en logaritmebegrip horen daar zeker bij. Het gaat dan om het kunnen lezen van formules, het kunnen overzien van de effecten van veranderingen in variabelen, het kunnen manipuleren met formules, substitueren, omzetten bij (bijvoorbeeld) het aanpassen van normen, ver- waarlozing van termen. Bij de meetkunde moet gedacht worden aan ruimtelijk inzicht en basale meetkundige betrekkingen zoals lijnstukverhoudingen, de sinusregel, oppervlakten en inhouden van (ruimte)figuren. Wiskundeformules hoeven niet uit het hoofd gekend te worden, maar wel worden begrepen, getransformeerd en waar nodig zelf afgeleid. Voor dit type basale kennis geldt dus: het ‘weten dat’, het ‘weten waarom’ en het ‘weten hoe’. In wezen is dat ‘weten’ en het geroutineerd gebruik ervan de ‘body’ van de kennis die wordt verwacht .

3.3 ICT-gebruik

Steeds complexer en sneller ontwerp- en rekenwerk wordt met ICT-applicaties uitgevoerd. Dat wordt als een positieve ontwikkeling ervaren. Het ontwerpen van eigen bedrijfssoftware ligt vooral in handen van wo-ingenieurs.

In een enkel geval ‘vervangt’ ICT-gebruik wiskundige routines geheel, zoals het interactief ‘crossen’ bij sterkte-berekeningen. Ook worden (bijna alle) wiskundige berekeningen steeds meer door computers uitgevoerd en vaak zit de toe te passen wiskunde al in de ontwerp- en modellerings-software verpakt.

Sommige nieuwe numerieke berekeningswijzen bevatten soorten wiskunde die buiten het bereik van hbo’ers liggen. Maar alle geïnterviewden zijn het er over eens dat de inzet van ICT wiskundige kennis voor hbo’ers niet overbodig maakt of vervangt, in tegendeel.

De toepassing van Mathcad juich ik alleen maar toe, MS/Excel is wat ‘gevaarlijker’ omdat het moeilijk te controleren is. Ook EEM-software voor platen en schijven kent valkuilen. Een degelijke kennis van differentiaalvergelijkingen e.d. is daarbij van belang. Zo is de constructeur beter in staat resultaten uit de computer te interpreteren.

Aansluitend op wat al is opgemerkt, dienen volgens de meeste geïnterviewden ook hbo’ers voor zover mogelijk bekend te zijn met de onderliggende wiskundige structuren uit de softwarepakketten. Zonder wiskundig en fysisch besef van hoe en waarom iets wordt berekend, zijn ICT-tools niet bruikbaar. De noodzaak van het begrip van en inzicht in wat computers analyseren en berekenen, wordt des te sterker indien complexe numerieke berekeningen op bestelling in het buitenland door derden wordt uitgevoerd, zoals sommige EEM-berekeningen in India.

Maar ook inzicht en kennis van de werking van de bedrijfssoftware voor het regelen en sturen van processen is belangrijk. Een van de geïnterviewden meldde dat besloten was om operators van geautomatiseerde processystemen meer bij te scholen over de werking van de programma’s; daarbij zullen ook de abstractere kanten, zoals de wiskundige structuren, voorzien moeten worden.

Eén geïnterviewde gaf aan dat kennis van de wiskundige processen in geautoriseerde softwaresystemen niet altijd noodzakelijk is. Het is dan belangrijk om op de hoogte te zijn van de modelfouten en gebruiksbependingen van deze programma's.⁶ Bij veel gebruikte half-producten van ICT (zoals Mathcad) is achterliggende wiskundige kennis juist wel essentieel. De eerder aangehaalde 'sense of error', die voortkomt uit een wiskundige en fysieke intuïtie, is onmisbaar bij ICT-gebruik. Alertheid op kinderziektes in de software of het juiste gebruik van nieuwe EU-codes is aan de orde.

Het zelf uitvoeren van berekeningen in Excel houdt risico's in van (onbekende) fouten in de formules en berekeningswijze. Een handberekening zal een indicatie van de juistheid moeten ondersteunen. In sommige landen is zo'n handmatige berekening bij Excel verplicht.

De wiskunde zit vaak al in de software. Maar is het de juiste wiskunde? Is het 't juiste model? Wat zijn de aannames die er aan ten grondslag liggen? Kan ik hiermee wat ik wil doen? Daarom is de kritische houding zo belangrijk: er komen vast getallen uit die computer, maar klopt het? Is het in lijn met wat ik verwacht, of dien ik achterdochtig te worden?

Een aantal geïnterviewden gaf aan dat bij het gebruik van digitale berekenings- en simulatietools het van belang is dat ook met handmatige berekeningen (ook wel 'handsommen' genoemd) de uitkomsten op hoofdlijnen moeten kunnen worden nagerekend en gecontroleerd. Daarbij komt dan ook vaak wiskundige en technische basiskennis en -inzicht aan te pas.

3.4 Denkactiviteiten

In bijlage 2 van appendix A staan een aantal denkactiviteiten genoemd die bij wiskunde aan de orde kunnen komen⁷. Een wiskundige denkactiviteit omvat het gebruik van wiskundig gereedschap om patronen te onderzoeken, om problemen aan te pakken en om redeneringen of oordeelsvormingen te rechtvaardigen. De gewenste denkactiviteiten kunnen aldus een indicatie zijn voor het niveau van het gebruik van de genoemde wiskundige onderwerpen uit dit onderzoek.

De lijst is voorgelegd aan de geïnterviewden met de vraag welke denkactiviteiten relevant zijn voor de beroepsuitoefening en verwacht worden van hbo'ers. Ook hier geldt dat een denkactiviteit als methodische competentie afhankelijk is van de taken die hbo'ers uitvoeren. Niettemin is er over de domeinen heen wel een duidelijke volgordelijkheid in de relevantie van de aangegeven vermogens. Aan kop gaan onbetwist (meer dan 60% van de geïnterviewden noemt deze):

Modelvorming via wiskunde is de makkelijkste en goedkoopste manier om uit te zoeken of iets kan of niet en hoe het geoptimaliseerd kan worden (...) en in die zin een bedrijfseconomisch instrument.

- analytisch denken, deelproblemen formuleren, schematiseren,
- communiceren van technische informatie via (wiskundige) symbolen,
- modelleren en algebraïseren,

⁶ Gedeeltelijk terug te voeren op wiskundige aspecten.

⁷ Grotendeels ontleend aan de visienota *Rijk aan betekenis* van de vernieuwingscommissie Wiskunde, maart 2007. www.ctwo.nl en aangevuld met conclusies uit het onderzoeksverslag *De Toekomst telt*, 2011. [Lit 2].

- formules interpreteren en manipuleren⁸.

Een tweede set van relevante denkactiviteiten voor hbo'ers wordt gevormd door (ongeveer door de helft genoemd):

- logisch redeneren, causale verbanden 'zien',
- ordenen en interpreteren van (computer)data. Sommigen geven aan dat alle denkactiviteiten in het kader van het modelleren moeten worden geplaatst; anderen geven aan dat het analytisch denken en probleemoplossen centraal staat met als ondersteunende competentie het kunnen modelleren. Hier speelt waarschijnlijk een rol dat in de werkomgeving van de geïnterviewden de taken verschillen die door hbo'ers worden uitgevoerd.

Naar mijn gevoel is communiceren het belangrijkste; in de eigen rapportage moet voor de ander duidelijk zijn hoe de gegevens geïnterpreteerd moeten worden. Voorbeeld zijn een consequente toepassing van eenheden, gestandaardiseerde symbolen voor b.v. fysische grootheden, goede labeling van grafieken. Ik vermoed dat slordigheid hierin in een rapport aangeeft dat de schrijver het probleem of de vraag zelf niet goed begrepen heeft.

3.5 Algemene hbo-competenties

Er is ook navraag gedaan, in welke mate de meer algemene hbo-competenties (afgeleid van de Europese afspraken over het niveau van het hoger onderwijs, de zogenoemde Dublin- descriptoren) worden gewaardeerd en verwacht bij hbo-gediplomeerden. Zie ook de groslijst uit bijlage 3 van Appendix A. Ook hier plaatsen enkelen de nuancing vooraf dat het belang van dit type competenties afhangt van de functies en taken die hbo'ers in de instelling of het bedrijf vervullen. Er is een top-3 van hbo-competenties aangetroffen.

Onbetwiste lijstaanvoerder is het vermogen om interdisciplinair te kunnen en te willen denken en werken. Er lijkt een sterke trend in het technisch beroepenveld gaande met betrekking tot het samenvoegen en samenwerken van diverse disciplines binnen ontwikkelings- en productieprocessen. Denk bijvoorbeeld aan Nanotechnologie, Logistiek, Infrastructuur, Productie van communicatie-middelen, de Bouw, Bio-medische technologie etc. waarin bijna alle bètadisciplines dienen samen te werken. Deze competentie raakt aan de eerder door de geïnterviewden aangegeven wens tot context- en toepassingsgericht wiskundeonderwijs.

Het goed intern en extern kunnen communiceren op technisch en sociaal niveau is een tweede verwachting, vaak gekoppeld aan het interdisciplinair werken. Vakkennis en het zelf begrijpen van een (wiskundig) probleem is altijd een eerste vereiste om goed te kunnen communiceren en om spraakverwarring te vermijden. Vaak zijn sociaal-communicatieve vaardigheden niet de sterkst ontwikkelde kant van technici, maar het is wel leerbaar. De

Werknemers met een goede wiskunde kennis hebben een beter begrip van werkanalyses

Ik denk dat wiskunde daarom zo belangrijk is omdat je een bepaalde manier van denken wordt aangeleerd.

⁸ Formules opstellen is niet echt relevant voor hbo'ers, dat ligt meer binnen R&D-werk.

globalisering van het werkveld dwingt daarbij tevens tot het communiceren tussen verschillende disciplines en verschillende culturen. Zo wordt als voorbeeld gegeven dat het kunnen uitleggen van een wiskundig probleem door een technicus in Nederland aan een fysicus uit India – en er de juiste respons op krijgen – de nodige aandacht en expertise vraagt. Van belang is ook een derde competentie: zelfsturende professionalisering om bij te (willen) blijven in de sterk groeiende en veranderende technische ontwikkel- en gebruikerswereld. Dit geldt ook voor nieuwe wiskundige onderwerpen en methoden die hun intrede doen in het beroepenveld. Deels speelt hier een eigen belang van de werknemer om bij te blijven, gelet op promotiekansen en CAO-afspraken die berusten op het verwerven en kunnen aantonen van actuele kennis en vaardigheden, soms aangescherpt door IAO's (individuele arbeidsovereenkomsten zoals enkele bedrijven die kennen).

Creativiteit (in materiaalkeuze, instrumentkeuze, werkwijze, ontwerp- en testaanpak) en out-of-the-box-denken⁹ is wel belangrijk, maar moeilijker leerbaar dan bijvoorbeeld communicatie- of managementvaardigheden. Creativiteit speelt vooral binnen R&D-afdelingen.

Over het hebben van maatschappelijke verantwoordelijkheden binnen de beroepsuitoefening lopen de meningen nogal uiteen en deze zijn niet onder (dan wel boven) een gemeenschappelijke noemer te plaatsen. Sommigen laten maatschappelijke verantwoordelijkheden samenvallen met wat de wet- en regelgeving ons voorschrijft, inclusief – als de wet het maar niet verbiedt – het leveren van producten en kennis aan landen met een regiem dat niet deugt. Anderen geven aan dat er wel ethische grenzen voor het eigen bedrijf bestaan, zoals een milieubewust productbeleid of ethische vraagstukken in de gezondheidszorg, ook als de wet dat niet afdwingt.

Ons bedrijf neemt jaarlijks grote aantallen hbo'ers aan. Daaronder zijn altijd wel enkelen die de persoonlijke kenmerken voor leiderschap bezitten. Dat is voldoende.

Opmerkelijk lijkt de geringe behoefte aan managementcompetenties van hbo'ers. Natuurlijk moet een hbo'er werkend in een team of project de spelregels kennen en bewaken, maar een team met alleen hbo'ers met managementambities zal slecht functioneren, zo wordt gesteld. Hbo'ers die willen doorgroeien naar een eindverantwoordelijke managementfunctie ondernemen doorgaans een overstap naar een MKB-bedrijf.

Hbo'ers kunnen goed samenwerken in teams en projecten en ze doen dat graag. Dat laat onverlet dat ook zelfstandig geopereerd moet kunnen worden, bijvoorbeeld in het uitwerken van deelproblemen of het adequaat optreden bij storingen of noodsituaties.

Een aantal geïnterviewden geeft aan dat de meeste competenties die geen betrekking hebben op vaktechnische competenties het best in het werk kunnen worden verworven; het onderwijs moet zich concentreren op het ontwikkelen van voldoende inhoudelijke vakcompetenties en pas dan op andere, voorwaardenscheppende competenties.

⁹ Maar niet in het wilde weg, wel binnen kaders benadrukt een der geïnterviewden met nadruk

Deze gedachte vormt ook de overgang naar de volgende paragraaf die samenvat welke zorgen en aandachtspunten er leven onder de geïnterviewden over de resultaten van het wiskunde-onderwijs binnen technische opleidingen op hogescholen.

4. Waardering en aanbevelingen met betrekking tot de gewenste wiskundige competenties

Bij het navragen naar de gewenste kennis en vaardigheden van hbo-afgestudeerden, en bij het formuleren van aanbevelingen aan het hbo vanuit het beroepenveld, zijn ook uitspraken gedaan over tekorten die worden geconstateerd in de kennis en vaardigheden.

Er klinkt een algeheel gevoel van onderwijsdevaluatie door, veroorzaakt door ondermeer de onderwijsbezuinigingen, minder docenten voor de klas, de mbo4-opleidingen naar 3 jaar enz.

We delen de waarderingen in drie categorieën in: het kennisniveau, het gebruiksniveau en de bredere competenties.

Kennisniveau (weten dat en weten waarom).

Er zijn veel uitspraken gedaan over het basiskennisniveau van de hbo-afgestudeerden. We herhalen nog even wat we onder basiskennis verstaan. Met het basiskennisniveau worden twee zaken bedoeld:

1. kennis van en inzicht in de kernbegrippen uit de in §3.1 aangegeven en gewenste onderwerpen,
2. kennis, inzicht en vaardigheden met betrekking tot basale routines binnen a. de algebra (rekenen met letters, goniometrie, logaritmen), b. de (ruimte)meetkunde en c. de statistiek.

Van de genoemde onderwerpen uit §3.1 wordt gesteld dat deze veelal te weinig begripsmatig worden gekend en toegepast.

Een algemeen punt van zorg is dat de wiskundige basiskennis aan het inzakken is, wellicht mede veroorzaakt door de aandacht voor de ontwikkeling van gedragsaspecten en attitudes in het competentiegericht onderwijs. Het niveau van de wiskundige basiskennis moet beslist weer verhoogd worden, qua onderwerp, abstractie en vaardigheden, willen hbo'ers hun betekenis voor het beroepenveld behouden.

Er zijn (veel) meer routinematig wiskundige basisvaardigheden vereist, bijvoorbeeld in de te maken 'handsommen', dan wat de huidige generatie hbo'ers in het onderwijs aanleert. Het onderwijs dient daar meer aandacht aan te besteden, zo wordt gesteld. Een aantal adviseert het hbo tot 'het laten maken van meer sommetjes'. Anderen wijzen dat niet af – het zal de vaardigheid en het zelfvertrouwen kunnen vergroten – maar betwijfelen of dat leidt tot meer begrip.

Als concrete voorbeelden van kennis- en vaardigheidstekorten worden genoemd: de wiskundige basiskennis die nodig is bij Elektriciteitsleer en Magnetisme, de wiskundige en technische kennis binnen technisch constructieve disciplines en in chemische berekeningen.

De wiskundige en technische basiskennis zijn onder Nederlandse studenten minder sterk ontwikkeld dan bij buitenlandse studenten, zo neemt een groot aantal geïnterviewden waar.

Gebruiksniveau (weten waarom en weten hoe)

Een aantal malen wordt geadviseerd om de wiskunde, natuurkunde en scheikunde in het onderwijs op voldoende hoog niveau te houden qua onderwerp, abstractie en samenhang. Er zijn twijfels over de vraag of daar in het hbo, vo en mbo wel voldoende aandacht voor is en of er op de scholen niet meer geoefend zou moeten worden in het inzichtelijk gebruik van wiskundige (basis)vaardigheden. De keuze om het onderwijs in te richten op basis van een kenniscultuur die berust op ‘dat zoeken we op’ is in de beroepspraktijk beslist onvoldoende¹⁰.

Begripsmatig gebruik van wiskunde levert een positievere bijdrage aan een kritische werkhouding dan gebruik van uit het hoofd geleerde formules.

Het wiskundig kennisniveau en het gebruik ervan is bij hbo'ers vaak te laag; ze passen vaak trucjes toe, zonder de achtergronden of de onderliggende gedachten te begrijpen. Vaak werd gesteld dat van de gewenste wiskundige onderwerpen uit §3.1 het inzicht ontbreekt en niet bekend is waar en waarom een wiskundig begrip of onderwerp in een technische context wordt gebruikt. Voorbeeld: waarom wordt Fourieranalyse onderwezen; waar, waarom en hoe wordt het toegepast in de praktijk. Studenten zou dat verteld moeten worden, bijvoorbeeld door of via de collega-vakdocent. Er zijn dan ook sterke aanbevelingen gedaan om het wiskundeonderwijs op het hbo cursorisch en meer toepassingsgericht te onderwijzen. Het technisch onderwijs zou daar ook aantrekkelijker (populairder) van kunnen worden voor leerlingen en studenten, zo wordt gesteld. Een andere aanbeveling is om het onderwijs meer praktijkgeoriënteerd aan te bieden, bijvoorbeeld door studentparticipatie in praktijkgericht onderzoek, het laten meewerken in de komende Centers of Expertise en in RAAK-projecten.

Algemene hbo-competenties

De onmiskenbare trend van toenemend interdisciplinair werken wordt door hbo-afgestudeerden nog onvoldoende beseft en beleefd. De noodzaak van interdisciplinair, inter- en intrasectoraal denken en werken is evenwel evident. Dat vraagt om aanpassingen in de hbo-curricula.

Communicatieve vaardigheden kennen twee (niet onafhankelijke) aspecten: 1. het vaardig communiceren via technische en wiskundige symbolen, 2. Sociaal communicatieve vaardigheden. In het eerste aspect schieten hbo'ers op dit moment nog te kort, maar dat aspect is leerbaar. Sociaal communicatieve vaardigheden zijn moeilijker leerbaar maar het is niet onmogelijk. Spreken in het openbaar bijvoorbeeld is leerbaar. Hbo-ingenieurs dienen aan communicatieve vaardigheden te werken, immers ook het interdisciplinair werken, het omgaan met de klant, met de eigen teamleden etc. vragen om dat type vaardigheid. Hbo'ers zouden in dit verband ook moeten leren om de vraag te durven stellen over het '(weten) hoe', binnen een onderwerp dat zij (nog) niet beheersen, aan bijvoorbeeld wo-collega's uit het team. Daartoe ontbreekt vaak de communicatieve handigheid.

Veel gehoord is dat er in het (hoger beroeps)onderwijs een verstoring is in de verhouding tussen het aanleren van brede sociale vaardigheden en vakinhoudelijke kennis: het laatst-

¹⁰ Kortom: het 'weten waar' is geen bruikbaar kennisniveau, nog afgezien van het feit dat de benodigde onderzoekvaardigheden niet worden meeontwikkeld.

genoemde competentieaspect komt onvoldoende aan bod en kan de oorzaak zijn van de genoemde tekorten in het kennis- en gebruikersniveau hierboven.

Een aantal geïnterviewden geeft aan dat de motivatie tot blijvende professionalisering bij een aantal hbo-afgestudeerden onvoldoende is. Alles lijkt te gemakkelijk en te vanzelfsprekend geworden; een stapje extra zetten is vaak niet aan de orde maar mede gelet op onze internationale concurrentiepositie wel van levensbelang.

Meer algemene aanbevelingen

In de loop van de gesprekken zijn een aantal opmerkingen en suggesties richting hbo gedaan, die de moeite waard zijn om te vermelden.

De hbo'er van nu mag niet de mbo'er van 20 jaar geleden worden.

- Het zou goed zijn om bij de studievoorlichting mbo'ers er op wijzen dat zij doorgaans niet doorstromen naar een ontwerp- of ontwikkelomgeving in het beroepenveld waarvoor ze gekozen hebben.
- Projectmatig (samen)werken is belangrijk en hbo'ers doen dat goed. Maar is het hbo-onderwijs daarin niet doorgesloten en komt cursorisch wiskundeonderwijs en het zelfstandig leren werken daarbij wel voldoende aan bod? Wiskunde zou meer als een rode draad door de hele opleiding moeten lopen, om de kennis ook te onderhouden. Een 'just in time'-aanbod van wiskunde in het hbo werkt niet evenals een 'dat zoeken we op'-strategie.
- Stel eisen aan de studenten, laat niet iedereen toe tot hbo-opleidingen, stel eisen aan de instroom. Doe geen water bij de wijn en maak het de studenten maar moeilijk om een diploma te halen.
- Geef in het hbo de vaktechnische competenties prioriteit boven de sociale (voorwaardenscheppende) competenties; die laatste kunnen sneller en doelgerichter in de praktijk worden ontwikkeld.
- Zorg voor meer technische studenten (specifiek chemie en CT).

5. De relatie met de opkomende economieën

Naar aanleiding van hetgeen de geïnterviewden hebben aangegeven als wenselijke wiskundige competenties is ook gereflecteerd over de positie van Nederland in relatie tot de opkomende economieën en de rol van wiskunde daarbij.

Op een aantal aspecten zijn de nieuwe economieën voorlopig (!) niet te verslaan; bijvoorbeeld de snelheid van produceren en de kostprijs van producten. We verliezen in Europa vaak tempo doordat veel is dichtgeregeld met vergunningen, regels en procedures zoals rond veiligheid en milieu. In India bijvoorbeeld gaat men daar wat gemakkelijker mee om.

Indiërs zijn daarentegen weinig initiatiefrijk, minder ondernemend, ontwerpen niet snel zelf een testprocedure, maar kunnen die wel consciëntieus uitvoeren. Onze studenten zijn meer ondernemend en durven meer risico's te nemen.

We dienen als welvaartstaat niet weg te zakken in futloosheid met een gebrek aan wil om te knokken. De politiek wordt gerund door alfa's en het onderwijsministerie toont weinig

slagkracht. In Nederland is de waardering voor technische kennis laag, i.t.t. de opkomende economieën.

We zullen (nog) meer moeten investeren in de ontwikkeling van de economie als we willen blijven meedraaien in de kenniseconomie; er zijn twijfels of dat voldoende gebeurt. De wiskundige basiskennis speelt hierin een belangrijke rol en dient op peil te blijven. We moeten er dan ook voor zorgen dat het niveau van het wiskundeonderwijs hoger wordt.

Vaak wordt gerefereerd aan het feit dat we in Europa heel erg creatief kunnen zijn, en een historie hebben wat dat betreft. China en India vertonen tot nog toe vaak kopieergedrag, zoals dat vroeger in Japan ook gebeurde. Maar we moeten wel uitkijken, want er is daar zoveel talent dat hier komt studeren, dat men op den duur zichzelf die creativiteit ook aanleert. Bovendien beschikt iedereen over dezelfde ICT-mogelijkheden en standaardsoftware.

In China zijn de werknemers, wat technisch kunnen betreft, minstens gelijk aan ons en in ieder geval veel preciezer, methodischer en gedisciplineerder. Als ‘tegenwicht’ zouden b.v. Nederlandse ingenieurs de genoemde creativiteit, communicatieve vaardigheden en maatschappelijk verantwoordelijkheidsbesef beter kunnen benutten.

Er is een grote mate van overeenstemming over hoe we – naast de al genoemde aspecten rond wiskunde - de nieuwe economieën kunnen voorblijven. Het gaat dan om het benutten van

- de kwaliteit van produceren,
- goede communicatieve vaardigheden,
- slim en snel blijven ontwerpen, modelleren (en produceren),
- het interdisciplinair denken en handelen,
- het creatieve vermogen en het kunnen ‘vrijdenken’,
- een blijvende professionalisering en een grotere werkinzet.

6. Trends

Bij het uitlijnen van de noodzaak en inhoud van het toekomstig wiskundeonderwijs zullen ook trends voor de komende 5 à 10 jaar in het technisch en maatschappelijk domein bekend moeten zijn. We vermeldden reeds de door de geïnterviewden genoemde trend van de (zeer ongewenste) verlaging van kennis en vaardigheden van afgestudeerden uit het technisch hbo. De in de interviews aangegeven trends worden hier beknopt beschreven. We geven zo goed mogelijk aan welke inhoudelijke, wiskundige zaken het beste passen bij die trends. Echter: óf dat ligt zeer voor de hand óf het dient onderwerp van nader onderzoek te zijn; de

In de concurrentie met de rest van de wereld moeten wij onze eigen sterktes en zwaktes goed kennen. Ik denk dat wiskundige kennis (maar eigenlijk technische kennis in het algemeen) bij onze technische hbo-ingenieurs niet zo best ontwikkeld is t.o.v. de rest van de wereld. Naar mijn mening hebben we hier een zwakte. Die kunnen we versterken, of ons op onze sterktes richten, die volgens mij liggen in ons vermogen tot communicatie over culturen heen en een sterk kwaliteitsbesef

geïnterviewden is niet naar het verband tussen trends en wiskunde gevraagd. Slechts een enkeling heeft dat aangegeven.

Op de conferentie van 19 april 2012 is ook door prof. Wil Schilders aangegeven welke onderwijsinhoudelijke, wiskundige relaties met die trends zijn te leggen; de onderzoeker heeft die in het overzicht verwerkt.

Het gaat om de volgende trends in de maakindustrie en de samenleving:

Technisch:

- Het virtueel digitaal ondersteund ontwerpen zal een grote vlucht gaan nemen: er wordt al gesproken van 'de derde discipline' in het onderwijs, naast theoretisch en experimenteel onderzoek en onderwijs. Het geparametriseerd ontwerpen, gericht op flexibiliteit en het strikt voldoen aan eisen, ontwikkelt zich in een hoog tempo.
- De ICT-simulaties zullen steeds complexer worden, waarbij het simuleren in 3D een grote plaats krijgt en ook het werken met parameters, optimalisaties, multiphysics (zoals mechatronica) en het werken met onzekerheden.
- De uitwerkingen van de te stimuleren 9 topsectoren van het huidige regeringsbeleid.

In de samenleving:

- Een groeiend besef rond duurzaamheid, onderhoud en renovatie van bestaande producten, en de inzet van nieuwe materialen. Ontwerpmethoden en aanbestedingen dienen daar op aan te sluiten. Ook hier is interdisciplinair denken en werken onmisbaar.
- De concurrentie van het Verre Oosten zal steeds meer voelbaar worden.
- Veranderende Arbo-, Veiligheids- en Milieu-regels en nieuwe Europese normen en regelgeving.

Op de werkvloer:

- Toenemende samenwerking van hbo'ers en wo'ers in ontwerp- en ontwikkelteams, i.t.t. aparte teams van hbo'ers en wo'ers.
- Een toename in het samenwerken in multidisciplinaire teams en op een grote variëteit van technische, maatschappelijke en economische aspecten.
- Een toenemende visuele communicatie, ook met wiskundige symbolen en figuren.
- Toenemende eisen aan hbo'ers, die van vele markten thuis zijn en een kritische werkhouding hebben.

Wiskundig werkzaam zijn in het bedrijfsleven levert niet altijd de waardering op die men zou wensen; desalniettemin is er een zeer duidelijke trend: wiskunde is in toenemende mate de motor achter innovatie, samen met ICT

Zoomen we in op hetgeen in de vorige paragrafen is opgemerkt over de werksituaties van hbo'ers en de benodigde kennis en vaardigheden, dan kunnen we concreet stellen dat trends in de eisen gesteld aan hbo-afgestudeerden zijn:

- zeer kritische houding tegenover simulatieresultaten
 - o kan de uitkomst kloppen (competentie: schatten),
 - o wat zijn de gebruikte modellen (brede competentie),
 - o voldoet het ontwerp aan de aannames,

- in staat zijn geschikte bouwblokken met parameters te bedenken, wiskundig te formuleren en te (laten) programmeren,
- kennis van fabricagetechnieken, vertalen naar (wiskundige) eisen voor model en ontwerp; dat vraagt onder meer statistische competenties.

7. Conclusies en Aanbevelingen

7.1 Conclusies

Het onderzoek heeft een beeld opgeleverd over de wiskundeonderwerpen die hbo-afgestudeerden worden verwacht te beheersen en van het gebruiksniveau en de wiskundige denkactiviteiten die worden vereist. Bijna alle genoemde aspecten hebben een domeinoverstijgende betekenis, maar worden wel domein- en taakspecifiek ingevuld.

Wiskundeonderwerpen

Voor wat betreft de onderwerpen gaat het om, in afnemende domeinoverstijgende relevantie:

- Matrixrekening en vectorrekening (Lineaire algebra)
- Calculus (differentiaal en integraalrekening)
- Statistiek en Kansrekening/stochastiek
- Numerieke methoden (o.a in de EEM, Excel, eigen numerieke software en simulatieprogrammatuur)
- Differentiaalvergelijkingen
- Meetkunde (elementair)
- Logica (in engere zin)
- Operations Research

Binnen het domein Engineering en Applied Sciences worden de volgende extra onderwerpen door alle geïnterviewden uit beide domeinen genoemd:

- Laplacetransformaties
- Fourieranalyse

Zie ook §3.1 voor een verdere uitwerking.

De meeste van die gewenste onderwerpen komen in de opleiding van hbo-ingenieurs aan de orde, maar er zijn veel kritische kanttekeningen geplaatst bij het kennis- en beheersniveau van die onderwerpen. Er wordt gesteld dat in het hbo-onderwijs onvoldoende duidelijk wordt gemaakt waarom en hoe de wiskunde in de technische context wordt toegepast.

Voor hbo-ingenieurs is wiskunde een tool. Formele wiskunde en actief gebruik van wiskundige theorieën worden niet gebezigd. Wel dient inzicht te bestaan in de inhoud en de betekenis van de wiskundige structuur in toepassings- en berekeningsprogramma's. In verband met de randvoorwaarden die voor processen gelden, in de betrouwbaarheid van uitkomsten en de berekeningssnelheden, dient bekend te zijn welke wiskundige onderwerpen in de berekeningen gebruikt worden.

Body of knowledge

De kennisbasis van de wiskunde ligt op twee niveaus. Op de eerste plaats gaat het om begripmatig kunnen omgaan (communiceren, weten waarom) met de genoemde wiskundige

onderwerpen. Het alleen toepassen van trucjes en het afgaan op intuïties wordt nog te vaak toegepast en leidt niet tot verantwoord gebruik van de wiskundetools. Een tweede kennislaag ligt in het routinematig kunnen toepassen van elementaire wiskundige vaardigheden uit de algebra, meetkunde en statistiek. Met betrekking tot beide niveaus zijn er grote zorgen over het teruglopende beheers- en gebruiksniveau onder hbo-ingenieurs. Voor wat betreft de basale algebraïsche, meetkundige en statistische vaardigheden van hbo'ers wordt gesteld dat deze vaardigheden blijvend van belang zijn voor het kunnen narekenen van numerieke berekeningen, aanpassen van normen en de ontwikkeling van een *sense of error* bij het inschatten van juistheid van berekeningen en computeruitkomsten.

Er is geen gezamenlijke didactische visie in het beroepenveld over hoe het hbo de beide aspecten (inzicht en vaardigheden) zou moeten onderwijzen en laten verwerven.

ICT

De inzet en de rol van ICT is groot en zal verder toenemen. Veel wiskundige berekeningen kunnen door ICT-applicaties worden uitgevoerd. Dit maakt evenwel – mede om bovengenoemde redenen – het ‘weten dat’ en het ‘weten waarom’ van de gebruikte wiskunde in bedrijfsapplicaties beslist niet overbodig. In tegendeel; zonder kennis van onderliggende wiskundige structuren zijn ICT-applicaties onbruikbaar. In bijna alle gevallen is het kunnen narekenen van numerieke berekeningen met handberekeningen nodig dan wel verplicht. Een steeds belangrijker wordende werkhouding van (hbo-)ingenieurs is een (zeer) kritische houding ten opzichte van alles wat computers als output produceren.

Denkactiviteiten¹¹

De meest gewenste denkactiviteiten, door meer dan de helft van de geïnterviewden genoemd zijn:

- Analytisch denken, deelproblemen formuleren, schematiseren,
- Communiceren van technische informatie via (wiskundige) symbolen¹²,
- Modelleren en algebraïseren,
- Formules interpreteren en manipuleren¹³.

Deze activiteiten zijn nauw verweven met de werkzaamheden die in de bedrijven van hbo-ingenieurs worden verwacht. Ook hier worden aanscherpingen in de aangegeven competenties in combinatie met de versterking van de vaktechnische competenties sterk aanbevolen. Zie ook §3.4 .

Algemene hbo-competenties

De top 3 is:

- Interdisciplinair en intersectoraal denk- en werkniveau.
- Sociaal en technisch communicatieve bekwaamheden.
- Blijvende professionalisering.

¹¹ Een aantal van de volgende conclusies worden ook getrokken in de publicatie *De Toekomst telt* [Lit 1]

¹² Beide eerste competenties genoemd door 13 van de 15 geïnterviewden

¹³ Formules opstellen is niet echt relevant voor hbo'ers, dat ligt meer binnen R&D-werk.

De relatie met de wiskundige onderwerpen en de denkactiviteiten is evident. Aan deze vaardigheden en attitudes zal in het hbo-onderwijs blijvend aandacht moeten worden geschonken. Het merendeel van de overige algemene hbo-competenties zoals aangegeven in appendix C (afgeleid van de Dublindescriptoren) kunnen beter en effectiever in het werkveld worden ontwikkeld. In ieder geval mag de ontwikkeling van de gewenste vaktechnische competenties nooit ingeruild worden tegen de ontwikkeling van algemene hbo-competenties. De indruk bestaat dat dat nu wel gebeurt.

Er leven veel kritische vragen over de aanpak en werkvormen in het wiskundeonderwijs op hogescholen en over de toelatingseisen tot (technische) hbo-opleidingen, waardoor de ontwikkeling van adequate hbo-competenties wordt belemmerd. De vaktechnische competenties en het interdisciplinair leren werken zijn daar voorbeelden van.

In de snel veranderende technische werkomgevingen is blijvende professionalisering een must. Hbo'ers dienen geëquipeerd te worden om deze competentie te kunnen en te willen realiseren.

Relatie met opkomende economieën

De opkomende economieën worden steeds meer concurrerend en vragen extra inspanningen van de Nederlandse economie.

Bij alle geïnterviewden leeft de opvatting dat buitenlandse beginnende beroepsbeoefenaren en studenten beter zijn in wiskunde dan Nederlandse. Ook werken zij meer gedisciplineerd en methodischer. Het brede pleidooi is dan ook het kennis en vaardigheidsniveau van de Nederlandse hbo-ingenieur op een vergelijkbaar peil (terug) te brengen.

Nederlandse hbo'ers zijn (nog) wel ondernemender en creatiever dan die uit bijvoorbeeld Azië en China.

Een aantal genoemde (bredere) mogelijkheden om de opkomende economieën het hoofd te bieden zijn:

- de kwaliteit van produceren,
- goede communicatieve vaardigheden,
- slim en snel blijven ontwerpen, modelleren (en produceren),
- interdisciplinair denken en handelen,
- het creatieve vermogen en het kunnen 'vrijdenken',
- een blijvende professionalisering en een grotere werkinzet.

Suggesties voor het economisch beroepenveld.

Gelet op de uitkomsten van dit onderzoek stelt de onderzoeker vast dat het gewenste wiskundeprofiel van de beginnend *heo*-afgestudeerden, werkend in de economische sector, onderzoekbaar is en dat een aantal hypothesen geformuleerd kan worden.

Met een aangepaste lijst met wiskundige kennisgebieden (onderwerpen) kan worden nagegaan welke relevantie die hebben voor *heo*-afgestudeerden in de beroepspraktijk. In ieder geval bevat deze lijst de onderwerpen: Algebraïsch en numeriek rekenen¹⁴, Statistiek, elementaire Calculus, Logica, Speltheorie, Econometrie, Operations Research.

¹⁴ Zoals bijvoorbeeld het kunnen lezen en omwerken van formules, het opstellen van renteberekeningen, het verzekeringrekenen, etc.

De navraag naar de denkactiviteiten en algemene hbo-competenties kan via een zelfde groslijst als uit dit onderzoek plaatsvinden. Zo ook de vraag naar de effecten van ICT-gebruik, naar trends in het beroepenveld en naar effecten van de concurrentie met de opkomende economieën voor de heo-opgeleiden.

De volgende hypothesen zijn denkbaar:

- Geautomatiseerde bedrijfssystemen (logistieke beheerprogramma's, boekhoudprogramma's, planningsystemen) zijn niet bruikbaar op het niveau van heo-afgestudeerden zonder de onderliggende bedrijfskundige en wiskundige samenhang te doorzien.
- Begripsmatig gebruik van wiskunde heeft een positieve bijdrage aan een kritische werkhouding; uit het hoofd geleerde formules en betrekkingen hebben dat niet.
- Een kritische opstelling ten opzichte van alles wat computers produceren is een onmisbare attitude van hbo-afgestudeerden uit de economische sector

7.2 Aanbevelingen

Op basis van het onderzoek en de getrokken conclusies komen we tot de volgende aanbevelingen.

Gericht aan de hogescholen

- Onderzoek per opleidingsdomein wat er gedaan moet worden om de aangegeven lacunes in wiskundekennis en -vaardigheden op te heffen; schep voorwaarden om deze kennis en vaardigheden contextrijk (levensecht) te leren toepassen.
- Overweeg om het wiskundeonderwijs meer cursorisch in te richten en daartoe de benodigde studielast te reserveren.
- Breng niveaudifferentiaties aan in wiskundeprogramma's, zoals beginnende beroepsbeoefenaren op hbo-niveau dat nodig hebben in de door hen beoogde werkzaamheden.
- Schenk meer aandacht aan interdisciplinair onderwijs en aan het leren communiceren en rapporteren met wiskundige symbolen en figuren.
- Geef het leren van vaktechnische competenties voorrang boven sociale (voorwaardenscheppende) competenties.
- Leer studenten een verscherpte kritische houding aan ten opzichte van computer-uitvoer.
- Besteed aandacht aan het onderwijzen en gebruiken van 3D-simulaties en van parametrisch ontwerpen, en aan de betekenis van wiskunde daarbij.

Gericht aan wiskundedocenten

- Biedt het wiskundeonderwijs meer context- en domeingericht aan en toets dienovereenkomstig.
- Schenk voldoende aandacht aan de inhoud en betekenis van wiskundige kernbegrippen en ontwikkel daarvoor (nieuwe) effectieve didactische concepten,

- Geef voldoende aandacht aan (het onderhouden van) wiskundige basiskennis en -vaardigheden, claim daartoe onderwijstijd en ontwikkel daarvoor didactische concepten in samenhang met die uit het vorige aandachtspunt.

Gericht aan HBO-raad en OCW

- Pas de toelatingsvoorwaarden voor vo-leerlingen aan, zó dat een gewenst minimaal wiskundeniveau in technische hbo-opleidingen kan worden bereikt.
- Stel aanvullende eisen aan alle mbo-instromers in technische hbo-opleidingen.
- Stimuleer hogescholen om het niveau van het technisch hbo-onderwijs (weer) op adequaat niveau te brengen en voorkom dat het hbo in het stelsel de positie van het mbo van 20 jaar geleden overneemt.

Gericht aan beroepenveld

- Treed in overleg met (regionale) hbo-opleidingen die afgestudeerde hbo'ers leveren voor uw bedrijf of instelling en bespreek de gesignaleerde positieve en negatieve aspecten in het wiskundeprofiel van hbo-afgestudeerden nu en in de toekomst; overleg wat de hogeschool en het bedrijfsleven daarbij voor elkaar kunnen betekenen.
- Vraag via uw branche-organisaties bij de Nederlands-Vlaamse Accreditatieorganisatie (NVAO), OCW en HBO-raad meer aandacht voor de problemen die er zijn op dit moment in de wiskundekennis en -vaardigheden, mede in relatie tot onze internationale concurrentiepositie.

Gericht aan de LWHW en NVvW

- Blijf druk uitoefenen op OCW en HBO-raad op het punt van realistische toelatingsvoorwaarden tot technische hbo-opleidingen, opdat een aantal van de aanbevelingen aan hogescholen ook daadwerkelijk kunnen worden verwezenlijkt.
- Stel een aantal, mede aan dit onderzoek te ontlenu, hypothesen op met betrekking tot het gewenste wiskundeprofiel van heo-afgestudeerden die in de economie sector werkzaam zijn. Voer onderzoek uit naar de opinies in het beroepenveld over de wiskundekennis, -vaardigheden en -attitudes van heo-afgestudeerden in het economisch beroepenveld.
- Breng de conclusies en aanbevelingen uit dit onderzoek onder de aandacht van het onderwijs en het beroepenveld.
- Continueer de stimulering van adequaat wiskundeonderwijs van voldoende niveau op hogescholen en stimuleer wenselijke differentiaties in wiskundeprogramma's voor beginnende beroepsbeoefenaren die wiskunde op een hoger niveau nodig hebben.

Hartelijk dank voor het delen van de powerpoint presentatie van het onderzoek. Ik vind de zelfreflectie over wiskunde in het hbo heel positief en nuttig, en ik hoop dat op deze manier de aansluiting tussen hbo en werk na de hbo opleiding beter wordt.

APPENDIX A

Onderzoeksopzet naar de betekenis van wiskunde in de beroepspraktijk van de beginnende hbo-ingenieur

Centrale onderzoeksvraag

Welke wiskundige kennis, vaardigheden en attitudes moet een beginnend hbo-ingenieur beheersen in het betrokken technisch bedrijf(s) en beroepenveld.

De hypothese is dat de wiskundige geletterdheid van hbo-ingenieurs opnieuw geïkt moet worden aan de gewenste competenties van hbo-afgestudeerden en aan de ontwikkelingen in het hbo-wiskundeonderwijs.

Achtergrond

Nieuwe eisen worden aan werknemers gesteld vanwege onder meer: globalisering en vrije markteconomie, nieuwe productie- en werkmethoden, miniaturisering en schaalvergroting van ontwerp en productie, veranderde maatschappelijke eisen en de inzet van IT op bijna alle werkerreinen. De vereiste wiskundige kennis, vaardigheden en attitudes van ontwerpers en producenten (en gebruikers) van nieuwe methodes en producten zullen hierdoor wijzigen. Uitkomsten van het onderzoek dienen aan te geven hoe het h(b)o-wiskundeonderwijs hierop dient in te spelen.

Onderzoeksdomein

- Bedrijven en instellingen waarin hbo-ingenieurs als beginnend beroepsbeoefenaar werken, zowel in de industrie, de research als in de dienstverlening.
- Deskundigen met betrekking tot het gebruik van wiskunde in bètadisciplines en in het beroepenveld (onderwijs: teamleiders, vakspecialisten, lerarenopleiders; elders: researchers).

Richtvragen voor de interviews

1. Op welke gebieden wordt wiskunde ‘zichtbaar’ toegepast in de praktijk van het betrokken bedrijf (in het dagelijks werk, in onderzoek en/of in literatuurstudies); om welke traditionele en nieuwe kennisdomeinen gaat daarbij globaal? Zie bijlage 1.
2. Wie gebruiken en/of passen deze wiskunde toe (Wie = welk functieniveau /vooropleiding).
3. Op welke manier vindt zichtbare en minder direct zichtbare toepassing van wiskunde plaats? Kan dit worden geïllustreerd met concrete voorbeelden?
4. Wat is de (minimale) ‘body of knowledge’ die bij beginnende hbo-ingenieurs zelf bekend moet zijn binnen de gebieden genoemd in 1; waar relevant te scheiden in kennisniveaus als: ‘weten dat’, ‘weten hoe’, ‘weten waarom’.
5. A. In hoeverre wordt de toepassing en gebruik van wiskunde *overgenomen* door ICT-hulpmiddelen (EEM-software, Excel, Computer Algebra, Simulatiepakketten).
B. In hoeverre wordt de toepassing en gebruik van wiskunde *veranderd en/ of versterkt* door inzet van IT-bedrijfsmiddelen (geautomatiseerde ontwerp of productieprocessen, IT-gestuurde logistieke systemen, administratieve systemen, databeheer e.d.)
6. Welke wiskundige denkactiviteiten zijn daarbij of daarnaast van belang? Zie ook bijlage 2 voor een aantal mogelijke wiskundig georiënteerde denkactiviteiten.

7. Welke andere vaardigheden en attitudes moet een beginnend hbo-ingenieur beheersen in het betrokken bedrijf(s) en beroepenveld. Zie bijlage 3 voor voorbeelden van bredere bekwaamheidseisen.
8. Wordt het antwoord op de laatste 4 vragen anders als gekeken wordt naar wat nodig is om in de concurrentie met opkomende kenniseconomieën zoals India en China overeind te blijven?
9. Welke aspecten wilt u zelf nog inbrengen, dan wel meegeven met betrekking tot de inrichting van het (technisch) hbo-onderwijs.
10. (optioneel) Welke trends zijn zichtbaar in uw werkomgeving of beroepenveld die invloed hebben op het profiel van de hbo-afgestudeerde.

Aanpak van het onderzoek.

De interviewvragen worden voorgelegd aan deskundigen binnen bedrijven en instellingen die betrokken zijn bij het werven en/of beoordelen van, en/of leiding geven aan hbo-ingenieurs.

BIJLAGEN BIJ APPENDIX A

Bijlage 1

Voorbeelden van wiskunde kennisgebieden (tbv. vakmatige competenties):

- Lineaire algebra,
- Numerieke methoden,
- Calculus,
- Differentiaalvergelijkingen,
- Meetkunde,
- Laplace-transformatie,
- Fourieranalyse,
- Statistiek,
- Discrete Wiskunde,
- Logica,
- Fuzzy Logic,
- Speltheorie,
- Econometrie,
- Operations Research

Bijlage 2

Wiskundige denkactiviteiten (t.b.v. methodische competenties)

- modelleren en algebraïseren,
- ordenen en structureren, in complexe verbanden of data analyses,
- analytisch denken en probleemoplossen,
- formules opstellen of interpreteren en manipuleren,
- abstraheren,
- logisch redeneren en bewijzen,
- het kunnen communiceren over symbolen waarmee technische informatie wordt aangegeven (zoals functievoorschriften, grafieken, grafen, tabellen, (Venn-)diagrammen, getallen etc.)

Bijlage 3

Andere, brede bekwaamheidseisen (tbv. algemene hbo-competenties)

- Vermogen tot interdisciplinair denken en handelen, mogelijk zelfs intersectoraal
- Creativiteit, en beheer van complexiteit in denken en handelen
- Methodisch en reflectief denken en handelen
- Besef van maatschappelijke verantwoordelijkheid
- Sociaal-communicatieve bekwaamheden,
- Basiskwaliteiten voor managementfuncties
- Blijvende professionalisering

PM: deze bachelor-bekwaamheidskenmerken zijn binnen de Nederlandse context afgestemd op de zogenoemde 'Dublindescriptoren' voor de bepaling van het niveau van het hoger onderwijs in Europa. Eindrapport commissie Franssen hoger onderwijs, 2001, pag 36-37.

APPENDIX B

Overzicht geïnterviewden t.b.v. het onderzoek ‘HBO Wiskunde’

<i>Naam</i>	<i>Bedrijf / instelling</i>	<i>Functie</i>
Ad Machielsen	Philips Healthcare MRI, Best	Systeem Integratie/Test Architect
Geran Peeren	Philips Healthcare MRI, Best	System Engineer bij Development MRI
Joop van Leeuwen	Gemeente Almere	Teamleider Bouwconstructies en Handhaving
Koert Dingerdis	Ingenieurs en Adviesbureau HBadvies, Alkmaar	Civieltechnisch Constructeur
Jack Amesz	Gemeente Den Haag	Directeur Gemeentelijk Ingenieursbureau
Frans Blom	Océ Technologies, Venlo	Coach R&D-afdeling Fysische Analyse
Sjors van Kuipers	Semar Engineering, Alkmaar	Managing Director
Evert Houwman	MESA+, Universiteit Twente	Researcher en Ontwerper Nanotechnologie
Edwin Groot	Tata Steel, IJmuiden	Manager Onderhoud en Integrale Mediadistributie
Rene Heideman	LioniX bv., Enschede	Chief Technical Officer, lid MT
Marcel Hoekman	LioniX bv., Enschede	Senior Design Engineer/Onderzoeker.
Jaco Reusink	Gemeente Rotterdam	Senior Adviseur en Projectleider Infrastructurele Bouw
Jefta Wiersema	dioCON ingenieurs bv, Limmen	Bouwkundig Constructeur
Herbie Krocke	Dow Chemical Benelux bv., Terneuzen	Sitecoördinator Training
Wil Schilders	Technische Universiteit Eindhoven / CASA /MathXert	Directeur Platform Wiskunde Nederland, vh. Principal Senior bij NXP Semiconductors.

Overzicht bemiddelaars bij de contactlegging met bedrijven en instellingen:

Sebastiaan Smit, projectleider Jet-Net

Bouke Bosgraaf, hoofd beleid KIVI-NIRIA

Nelo Emerencia, speerpuntmanager onderwijs en innovatie, VNCI

Jaap Grasmeijer, lid LWHW, Hogeschool Inholland

Christiaan Boudri, voorzitter LWHW, Hogeschool van Arnhem en Nijmegen

APPENDIX C

Literatuur en naslagdocumenten

1. *De toekomst telt*, toekomstgerichte verkenning van de wenselijke inhoud van het reken- en wiskundeonderwijs, SLO/VF, 2012.
2. *Rijk aan betekenis*, visiedocument van de vernieuwingscommissie Wiskunde (cTWO), maart 2007.
3. *Samenhang en afstemming tussen wiskunde en de profielvakken; Handreiking met voorbeeldmateriaal*, SLO & cTWO, juni 2012.
4. *The Development of Algebraic proficiency*, proefschrift I. van Stiphout, Fontys. ESOE, ICO, december 2011.
5. *Doorstroom in onderwijs en de betekenis van een goede aansluiting*, een praktijk-theoretische benadering. Saxion Hogescholen, november 2007.
6. *Wiskunde en de hbo beroepspraktijk: observaties & trends*, PP presentatie van Wil Schilders, directeur Landelijk Platform Wiskunde, wiskundeconferentie 19 april 2012.
7. *Wiskunde in de beroepspraktijk van beginnende hbo-afgestudeerden*, PP presentatie van Roel van Asselt, wiskundeconferentie 19 april 2012.
8. *Eindrapport commissie Franssen hoger onderwijs*, advies over harmoniseren van een bachelor-mastersysteem in Europa, augustus 2001.
9. *The development of proficiency in the fraction domain*, proefschrift G. Bruin-Muurling, Fontys. ESOE, ICO, december 2010.
10. *De Toekomst Telt*, PP-presentatie van N. Boswinkel en E. Schram, SLO, namens de Projectgroep, niet gedateerd.
11. *Preparing Education for the Information Society: Curricular and Implementation Challenges*, Tjeerd Plomp, UT Enschede, juni 2011.