

# Werktuigbouwkunde en duurzame ontwikkeling : duurzame ontwikkeling in opleidingen werktuigbouwkunde : een verkenning

***Citation for published version (APA):***

Kirkels, A. F. (2002). *Werktuigbouwkunde en duurzame ontwikkeling : duurzame ontwikkeling in opleidingen werktuigbouwkunde : een verkenning*. (Vakreviews duurzame ontwikkeling; Vol. 9). Netwerk Duurzaam Hoger Onderwijs.

***Document status and date:***

Gepubliceerd: 01/01/2002

***Document Version:***

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

***Please check the document version of this publication:***

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

***General rights***

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.tue.nl/taverne](http://www.tue.nl/taverne)

***Take down policy***

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

WERKTUIGBOUWKUNDE  
& duurzame ontwikkeling

**Duurzame ontwikkeling  
in opleidingen  
werktuigbouwkunde**

Een verkenning

## Inhoudsopgave

<b>Summary</b>	Pagina 1
<b>Voorwoord</b>	Pagina 3
<b>1 Werktuigbouwers over duurzaamheid</b>	Pagina 5
1.1 Verantwoording	Pagina 7
1.2 Opzet	Pagina 9
<b>2 Duurzame Ontwikkeling</b>	Pagina 11
2.1 Het concept duurzaamheid	Pagina 11
2.2 De uitdaging	Pagina 14
2.3 Oorzaken milieudruk	Pagina 15
2.4 Trendbreuken	Pagina 16
<b>3 Werktuigbouwkunde en Duurzaamheid</b>	Pagina 19
3.1 Werktuigbouwkunde	Pagina 19
3.2 Energietechnologie	Pagina 22
3.3 Materiaalkunde	Pagina 24
3.4 Duurzaam ontwerpen	Pagina 27
<b>4 Onderwijs &amp; Opleidingen</b>	Pagina 31
4.1 Duurzaamheidsonderwijs	Pagina 31
4.2 Basismodules	Pagina 36
4.3 Multidisciplinair projectonderwijs	Pagina 38
4.4 Specialisatie en integratie	Pagina 41
<b>5 De uitdaging: zelf aan de slag</b>	Pagina 43
5.1 Integratie	Pagina 43
5.2 Onderwijs ondersteunen	Pagina 47
5.3 Zelf aan de slag!	Pagina 49
<b>6 Aanbevolen literatuur en websites</b>	Pagina 51
<b>Geraadpleegde literatuur</b>	Pagina 53
<b>Interviews &amp; Citaten</b>	Pagina 55
<b>Contactadressen</b>	Pagina 57

**Ir. Arjan Kirkels**

Technische Universiteit Eindhoven  
Centrum Technologie voor Duurzame Ontwikkeling

**Drs. Kirsten Kuipers (red.)**

Universitair Centrum Milieuwetenschappen  
Katholieke Universiteit Nijmegen  
Zomer 2002

**Werkgroep Disciplinaire Verdieping Duurzame Ontwikkeling**

Netwerk Duurzaam Hoger Onderwijs

Deze uitgave kwam tot stand met financiële  
steun van het Ministerie van VROM

- TITEL** *Werktuigbouwkunde en Duurzame Ontwikkeling*  
*Duurzame Ontwikkeling in opleidingen werktuigbouwkunde; een verkenning*
- Auteurs** *Ir. Arjan Kirkels*  
*Technische Universiteit Eindhoven*  
*Centrum Technologie voor Duurzame Ontwikkeling*
- Redactie** *Drs. Kirsten Kuipers, Programma Duurzame Ontwikkeling,*  
*Universitair Centrum Milieuwetenschappen (UCM), KUN*
- Lay-out** *Jolanda Hiddink / Lidwien van der Horst, Afd. Grafische Vormgeving, KUN*
- Drukkerij** *SSN, Nijmegen*
- Papier** *Cover: Biotop 250g/m<sup>2</sup>, binnenwerk: Biotop 120g/m<sup>2</sup>*
- Uitgave** *UCM/KUN*
- Bestellen** *UCM/DO, Toernooiveld 1, A-2044,*  
*6525 ED Nijmegen / e-mail: kkuipers@sci.kun.nl*
- Kosten** €7
- ISBN** 90 77004-09-2

*Dit is het negende deel in de serie Vakreviews Duurzame Ontwikkeling.*

**DE SERIE VAKREVIEWS DUURZAME ONTWIKKELING OMVAT DE VOLGENDE PUBLICATIES (2001 en 2002):**

- 1 *Dr. Jan Jonker & Rutger Grollers: **Bedrijfskunde** en Duurzame Ontwikkeling*
- 2 *Prof.dr. Jeroen van den Bergh en prof. dr. Cees Withagen: **Economie** en Duurzame Ontwikkeling*
- 3 *Dr. Remke Bras-Klapwijk: **Natuurkunde** en Duurzame Ontwikkeling*
- 4 *Drs. Gijs van Hengstum: **Biologie** en Duurzame Ontwikkeling*
- 5 *Dr. Henk van Zon: **Geschiedenis** en Duurzame Ontwikkeling*
- 6 *Dr. Gerard Alberts: **Wiskunde** en Duurzame Ontwikkeling*
- 7 *Dr. Remke Bras Klapwijk: **Civiele Techniek** en Duurzame Ontwikkeling*
- 8 *Drs. Geertje Appel: **Scheikunde** en Duurzame Ontwikkeling*
- 9 *Ir. Arjan Kirkels: **Werktuigbouwkunde** / **Materiaalkunde** en Duurzame Ontwikkeling*
- 10 *Dr. Françoise Barten en dr. Joost van den Gulden:  
**Geneeskunde/Gezondheidszorg** en Duurzame Ontwikkeling*

## Summary

Education is crucial for reaching a sustainable society. The realisation of a sustainable development in society requires a new attitude and a new set of values and standards. Education is essential to impart this and to improve the capacity of people to deal with environmental and developmental problems. This is of major importance, because the students of today will be the policy makers, company managers, technicians, scientists, teachers and entrepreneurs of the 21-st century.

This review offers an exploration of the common grounds of sustainability, mechanical engineering and education. The content is based on a combination of interviews with mechanical engineers (teachers, professors and students) and literature study.

Mechanical engineers mainly focus on the implications of sustainable development for technology development, since this fits best with their own field of knowledge and expertise. These technical aspects include reductions in the use of materials and energy, and in the production of emissions and waste, as well as the development of recycling technology and the development of sustainable energy sources. This has been worked out in more detail for energy technology, materials technology and technological design.

The network 'Duurzaamheid in het Hoger Onderwijs' (Sustainability in Higher Education) proposes a threefold approach for dealing with sustainability in mechanical engineering education: firstly a broad course about sustainability and mechanical engineering, secondly multidisciplinary education, for example in project work, and in the third place the possibility for students to specialize in the field of sustainable technology.

Many institutions for higher education deal more or less with sustainability in their mechanical engineering programs. These institutions do so because of the sensed social need and requests of industries and companies. But although sustainability has conquered a place in the educational programs, it is still not daily practice to think and act in a sustainable way.

Some good and appealing forms of education are described. Especially in design projects the mechanical engineers do well and enthusiastically put their efforts in designing sustainable technology.

The last chapter is focused on the people who are willing to take up the challenge to work things out themselves - education managers, teachers and students. Some experiences with integration of sustainability in education are described, especially the approaches followed and lessons learned. This offers a practical and inspiring view that may support relevant actors to take up the challenge and to integrate sustainable development successfully into the engineering curriculum.

## Voorwoord

Werktuigbouwkunde wordt van oudsher gezien als een vakgebied voor praktisch gerichte doeners en niet zozeer als een vak voor denkers. Werktuigbouwers zijn mensen - zo luidt de typering - die vooral van rekenen en van sleutelen aan machines en apparaten houden. Zo beschouwd is het niet gek dat duurzame ontwikkeling voor veel werktuigbouwkundestudenten een nogal abstract concept is. Toch zijn er binnen de werktuigbouwkunde tal van ontwikkelingen gaande, waarbij werktuigbouwers hun blikveld verbreden en waarbij hun praktische oriëntatie voor duurzaamheid een winstpunt blijkt.

De ambitie om technisch hoogstaande producten af te leveren, kan goed samengaan met het toepassen van duurzaamheidscriteria. Het gaat dan om aanvullende eisen voor bijvoorbeeld de mate en aard van materiaalengebruik en het energiegebruik van machines en apparaten. Werktuigbouwers boeken succes bij onder meer de ontwikkeling van zuinigere en schonere motoren, efficiëntere productielijnen in fabrieken en duurzame verwarmingsinstallaties of energiecentrales. Milieugericht ontwerpen biedt methoden en *tools* om te komen tot een minimalisering van de milieubelasting in de productketen.

Behalve in de optimalisering van bestaande producten en processen liggen er voor een werktuigbouwers nog andere uitdagingen op systeemniveau: Zijn er wellicht geheel nieuwe werktuigbouwkundige producten te bedenken, die met fors minder milieubeslag dan de gangbare producten, productieprocessen en systemen voorzien in onze behoeften?

In deze vakreview - negende in de reeks Vakreviews Duurzame Ontwikkeling van het landelijke netwerk Duurzaam Hoger Onderwijs - passeren alle bovenstaande onderwerpen de revue. De auteur Arjan Kirkels interviewde bovendien opleidingsdirecteuren, docenten, onderzoekers en studenten werktuigbouwkunde over de vraag hoe duurzame ontwikkeling het beste in het vakgebied geïntegreerd kan worden. Naast deze vakinhoudelijke verkenning omvat de vakreview verwijzingen naar relevante literatuur, cases en internetadressen. Docenten die duurzame ontwikkeling een plaats willen geven binnen het werktuigbouwkundig onderwijs, hebben met dit boekje veel verschillende en praktische aanknopingspunten in handen.

Kirsten Kuipers  
Programma Duurzame Ontwikkeling  
Katholieke Universiteit Nijmegen  
Zomer 2002

## Werktuigbouwers over duurzaamheid

1

Deze vakreview is bedoeld voor mensen die aan de slag willen met de integratie van duurzame ontwikkeling in opleidingen werktuigbouwkunde. Het boekje vormt een verkenning van duurzame ontwikkeling, werktuigbouwkunde en het onderwijs hierin. Het schetst de raakvlakken en knelpunten tussen deze gebieden. De vakreview is een combinatie van literatuurstudie en interviews met werktuigbouwers. Voor de interviews is gezocht naar personen met een duidelijke visie die bekendheid en aanzien genieten binnen de werktuigbouwkunde. Daarnaast zijn mensen geïnterviewd die bekend zijn met de onderwijspraktijk: studenten, docenten en een directeur onderwijs. Onder de geïnterviewden zitten warme voorstanders van de integratie van duurzame ontwikkeling in de werktuigbouwopleidingen, maar ook critici.

Wij willen alle geïnterviewden van harte bedanken voor hun bijdrage en boeiende ideeën. Hieronder volgen enkele citaten van geïnterviewden als korte introductie van het gezicht van de werktuigbouwkunde.

### **Student energietechnologie Thijs Adriaans**

*'Laat een werktuigbouwer apparatuur zodanig ontwerpen, dat die uitnodigt tot duurzamer gebruik. Denk bijvoorbeeld aan een kopieerapparaat dat standaard dubbelzijdig kopieert, een koffiezetapparaat dat na twee uur uit zichzelf uitspringt of een auto die aangeeft wanneer je moet schakelen.'*

### **Hoogleraar duurzame energietechnologie prof.ir. Kees Daey Ouwens**

*'Moet een samenleving duurzamer, dan moeten werktuigbouwers aan de slag om te zorgen dat de wereld van energie en materialen duurzamer wordt, en tegelijkertijd economisch hanteerbaar blijft.'*

### **Hoogleraar polymeertechnologie prof.dr.ir. Han Meijer**

*'Wat is de drijvende kracht? Het antwoord is hetzelfde als het antwoord op de vragen die duurzaamheid aan technologie stelt en die iedere werkgever aan ons, ingenieurs, zal stellen: dematerialisering, met meer functionaliteit, minder energieverbruik, hogere integratie, efficiënter en goedkoper.'*

**Opleidingsdirecteur dr.ir. Bram de Kraker**

*'Enthousiasme is de allesbepalende factor. Als je de studenten weet te prikkelen, dan pakken ze je project enthousiast en serieus op.'*

**Student regeltechniek Mathijs Cuijpers**

*'Op dit moment wordt de studenten geleerd om standaard in hun verslagen ook een foutenanalyse en economische analyse mee te nemen. Een duurzaamheidsanalyse zou eigenlijk standaard in dit rijtje thuis horen.'*

**Directeur Centrum Technologie voor Duurzame Ontwikkeling dr.ir. Lex Lemmens**

*'Wij pakken duurzaamheid nu juist op een technische manier aan, vanuit onze technische vakgebieden.'*

**Projectleider duurzame energie ir. Joop Ouwehand**

*'Op managementniveau wordt duurzaamheid alleen met de mond beleden. Vaak heeft men gewoon niet de ruimte (tijd, personeel, financieel) en worden er zoveel eisen van buitenaf aan de opleidingen gesteld, dat de prioriteiten anders liggen.'*

**Oud-opleidingsdirecteur werktuigbouwkunde ir. Han Smits**

*'Hoe je integratie voor elkaar krijgt? Het is een kwestie van een lange adem. Mensen met vuur er mee aan de slag laten gaan, en hopen dat ze wat van hun enthousiasme kunnen uitdragen. En dan hopen op het zwaan-kleef-aan-principe. Want niet iedereen gaat in hetzelfde tempo mee.'*

**Werktuigbouwdocent en lid projectgroep Cirrus ing. Ludi Dejong**

*'Duurzaamheid is directiebeleid dat is vorm gegeven binnen het Cirrusproject. Hierin zijn een aantal enthousiaste mensen verzameld. Maar duurzaamheid is pas echt van de grond gekomen vanaf de docententraining voor alle docenten van de faculteit.'*

**Verantwoording**

1 1

Steeds meer bedrijven worden geconfronteerd met regelgeving en aansprakelijkheid op milieugebied. Veelal nemen de kosten van het gebruik van materialen, energie en afvalverwerking toe. Maar steeds vaker biedt duurzaamheid een bedrijf ook de mogelijkheid om producten in de markt te zetten, of zich op positieve wijze te profileren.

Dat het daarbij niet alleen om kleine, 'alternatieve' bedrijfjes gaat, blijkt uit het *Environmental Report 2001* van *Royal Philips Electronics*. Het bedrijf erkent haar verantwoordelijkheid ten aanzien van het milieu en de samenleving, en heeft deze verantwoordelijkheid ook verwoord in het beleid. Het bedrijf is er in geslaagd in enkele jaren tijd zowel het energiegebruik, als de productie van afval en de uitstoot van emissies met enkele tientallen procenten te laten afnemen. Vrijwel alle vestigingen werken met een ISO 14001 gecertificeerd milieuzorgsysteem. Philips heeft bovendien 74 producten geselecteerd als *Green Flagships*, waarvan er 48 ook als zodanig gepromoot worden. Philips staat daarin niet alleen. Het bedrijf bevindt zich in het gezelschap van veel andere bedrijven van aanzien: KLM, Heineken, Van Melle, Nokia, IBM, et cetera.

Werktuigbouwkundeonderwijs speelt bij het vormgeven van duurzaamheid binnen deze bedrijven en het bereiken van een duurzame samenleving een cruciale rol. Het realiseren van duurzame ontwikkeling vereist een nieuwe houding en nieuwe waarden en normen. Onderwijs is essentieel voor het bijbrengen hiervan en het verbeteren van de capaciteit van werktuigbouwers om met milieu- en ontwikkelingsproblemen om te gaan. En dat is van groot belang, want de studenten van nu zijn de beleidsmakers, bedrijfsleiders, technici, managers, wetenschappers en ondernemers van de 21-ste eeuw.

De afgelopen jaren zijn er veel initiatieven genomen om duurzame ontwikkeling te integreren in het onderwijs van universiteiten en hogescholen. In 1998 is een netwerk opgezet voor Duurzame Ontwikkeling in het Hoger Onderwijs (DHO). Alle initiatieven in Nederland om duurzame ontwikkeling te integreren in het hoger onderwijs zijn hierin vertegenwoordigd. Er wordt samengewerkt om informatie uit te wisselen, om dubbel werk te voorkomen en om samen nieuwe kennis te ontwikkelen voor duurzaam hoger onderwijs. (*Dankelman 2000*)

De auteur, Arjan Kirkels, is lid van de werkgroep Disciplinaire Verdieping Duurzame Ontwikkeling van het netwerk en is werkzaam aan de Technische Universiteit Eindhoven (TU Eindhoven). Aan de TU Eindhoven is sinds 1995 een centrum Technologie voor Duurzame Ontwikkeling actief. Dit centrum stimuleert het ver-

duurzamen van onderwijs en onderzoek aan de Technische Universiteit Eindhoven, waaronder de faculteit werktuigbouwkunde, en is tevens intermediair naar partijen buiten de universiteit.

De werkgroep Disciplinaire Verdieping Duurzame Ontwikkeling richt zich op het stimuleren, toerusten en activeren van docenten om duurzame ontwikkeling in het hoger onderwijs te integreren (*Dankelman 2000*). Het is geen eenvoudige opgave om werktuigbouwkunde docenten te bereiken en te motiveren om hiermee aan de slag te gaan.

Deze vakreview is een middel om de relatie tussen duurzame ontwikkeling, het vakgebied van de werktuigbouwkunde en de opleidingen te verkennen en uit te dragen. Doel is de intellectuele uitdaging die duurzame ontwikkeling werktuigbouwers biedt, inzichtelijk te maken en te expliciteren zodat docenten en studenten zich gestimuleerd voelen die uitdaging op te pakken. Docenten en opleidingscoördinatoren hoeven niet langer de kat uit de boom te kijken. De voorbeelden die in dit boekje worden behandeld, wijzen hen de weg.

In 2001 zijn vier vakreviews verschenen: bedrijfskunde, economie, biologie en natuurkunde. In 2002 komen zeven nieuwe reviews uit. Ook komt er een *follow-up* programma, om vakreviews bij meer vakgenoten onder ogen te brengen en hen actief te stimuleren en ondersteunen bij de integratie van duurzame ontwikkeling in hun vakgebied.

Voor dit boekje zijn vooral mensen van de Technische Universiteit Eindhoven geïnterviewd. Dit is ingegeven door praktische overwegingen. Het geschetste beeld - inhoudelijk, enthousiast en actief - gaat op voor een groot aantal onderwijsinstellingen en onderzoeksinstituten in Nederland, zoals uit hoofdstuk vier wel blijkt.

Het boekje richt zich op de vakinhoudelijke mogelijkheden en de praktische, organisatorische aspecten van duurzaam werktuigbouwkundeonderwijs. Daarmee is het nadrukkelijk geen inleidend basiswerk op het gebied van Technologie en Duurzame Ontwikkeling. Lezers die zich afvragen wat integraal ketenbeheer of duurzame productie nu precies is, of hoe je een levenscyclus- of exergie-analyse toepast, of een duurzaam ontwerp maakt, verwijs ik naar de toenemende stroom boeken die over deze onderwerpen wordt geschreven. Achterin deze review treft u een korte lijst met aanbevolen literatuur en relevante websites aan. Ook de inleidende basismodules, die in hoofdstuk vier kort worden beschreven, kunnen u wellicht op weg helpen.

Het begrip duurzame ontwikkeling wordt belicht in hoofdstuk twee. Vragen die centraal staan zijn: wat zijn de oorzaken van het milieuvraagstuk en welke concrete uitdagingen kunnen worden geformuleerd als het gaat om de aanpak van milieuproblemen en vermindering van de milieudruk. In hoofdstuk drie komt het raakvlak tussen duurzame ontwikkeling en werktuigbouwkunde aan de orde, evenals de vraag welke bijdrage de werktuigbouwkunde kan leveren aan een meer duurzame samenleving. Dit is concreet uitgewerkt voor drie deelgebieden van de werktuigbouwkunde, te weten de energietechnologie, de materiaalkunde en het technologisch ontwerpen. Hoofdstuk vier richt zich op het werktuigbouwonderwijs. Waarom is het zinvol om in werktuigbouwopleidingen aandacht aan duurzame ontwikkeling te besteden? En hoe wordt dat binnen een aantal opleidingen opgepikt? Hoofdstuk vijf tenslotte richt zich op het daadwerkelijk integreren van duurzaamheid in werktuigbouwkundeonderwijs, een eerste aanzet om ermee aan de slag te gaan.



## Duurzame Ontwikkeling

2

Duurzame ontwikkeling is een term die steeds vaker en in heel verschillende kringen valt. Op alle politieke niveaus - lokaal, nationaal én internationaal - komt het begrip regelmatig terug en wordt het genoemd als rode draad in of basis voor beleid. Allerlei maatregelen zoals het vergroenen van het belastingstelsel worden doorgevoerd in het kader van duurzaamheid. Ook steeds meer bedrijven roeren zich en geven aan 'duurzaam' te willen ondernemen. Maar wat houdt het concept duurzame ontwikkeling eigenlijk in? Wat bedoelt men met duurzaamheid? Paragraaf 2.1 verkent het antwoord op die vraag. En: Welke concrete uitdagingen volgen hieruit ten aanzien van het verminderen van de milieudruk (zie paragraaf 2.2)? Wat zijn de oorzaken van deze milieudruk (paragraaf 2.3)? In paragraaf 2.4 volgen enkele conclusies.

## Het concept duurzaamheid

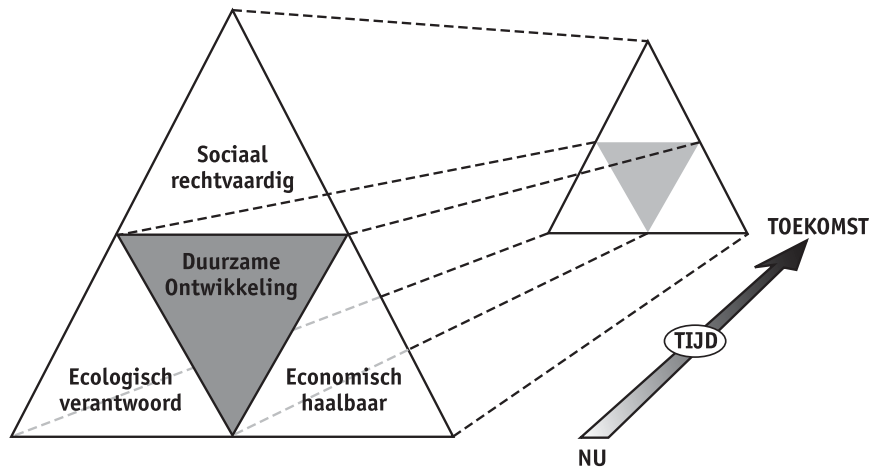
2.1

### Milieuproblemen

Sinds de jaren zeventig zijn milieuproblemen onder de aandacht van het grote publiek gekomen. Het gaat daarbij om een breed scala aan problemen die aan het milieu zijn gerelateerd. Denk bijvoorbeeld aan het gat in de ozonlaag, het broeikas-effect, verzuring en smogvorming. Maar ook (drink)waterverontreiniging, afvalproblematiek, verdroging, aantasting van (de soortenrijkdom in) het planten- en dierenrijk en uitputting van grondstoffen, waaronder fossiele brandstoffen.

### Duurzame Ontwikkeling

Duurzame ontwikkeling richt zich op een breder kader. Duurzame ontwikkeling wordt gezien als een ontwikkeling die voorziet in de behoeften van de huidige generatie zonder daarbij de mogelijkheden van toekomstige generaties in gevaar te brengen om ook in hun behoeften te voorzien (*WCED 1987*). Aan deze definitie ligt het idee ten grondslag dat maatschappelijke (sociale) en economische ontwikkelingen en ecologische omstandigheden niet los van elkaar staan, maar elkaar beïnvloeden op vele niveaus. In het Engels worden deze pijlers van duurzame ontwikkeling vaak aangeduid met het 'triple p'-principe, dat staat voor *people, planet, profit*. De planeet waarop we leven is weliswaar groot, maar niettemin eindig. Haar draagvlak voor bevolking en vervuiling is beperkt en de voorraden beschikbare grondstoffen nemen steeds verder af.



Figuur 1: Duurzame ontwikkeling als concept BRON: HENGSTUM 2001

Tegelijkertijd nemen de wereldbevolking en economie exponentieel toe. En dat botst. Daarbij worden toekomstige ontwikkelingen beïnvloed door ons huidige handelen: huidige CO<sub>2</sub>-uitstoot leidt nog tientallen jaren tot een broeikaseffect, plant- en diersoorten sterven uit, voorraden grondstoffen worden verbruikt en een eenmaal ingeslagen weg van technologische en maatschappelijke ontwikkeling is niet gemakkelijk om te buigen. De essentie is dat we minstens zo veel achterlaten (grondstoffen, milieugebruiksruimte, mogelijkheden) als we zelf gekregen hebben: wel gebruiken maar niet verbruiken!

Een ander aspect is de wenselijke mondiale ontwikkeling op basis van rechtvaardigheid. 'Bij ieder rapport over duurzaamheid komt de ongelijkheid in de wereld ter sprake, de positie van ontwikkelingslanden. We moeten de ontwikkelingslanden helpen, anders kom je er nooit meer uit. En dan krijg je toestanden zoals tussen Amerika en Afghanistan', aldus Daey Ouwens, emeritus hoogleraar in de duurzame energietechnologie.

De vraag is dus of we de verantwoordelijkheid accepteren voor de generaties die na ons komen en mensen die nu elders in de wereld leven. En zo ja, hoe we daar dan invulling aan willen en kunnen geven.

## Brundtland

Deze aspecten van een duurzame ontwikkeling zijn zeer inzichtelijk en basaal, en ook beslist niet nieuw. Maar het concept van een duurzame ontwikkeling is pas populair geworden, na publicatie van het rapport 'Our common future' van de commissie-Brundtland (WCED 1987). De commissie schetst een tussenweg in het oude verlamdende dualisme tussen ecodictatuur en vervuilende markteconomie. Daey Ouwens is al sinds het eind van de jaren zestig actief op het gebied van duurzame energie, en heeft deze omslag zich zien voltrekken. 'Een grote verandering voor mij, en voor veel mensen, is het Brundtland-rapport geweest in 1987. Tot die tijd was een veel geuite visie dat duurzaamheid alleen samen kon gaan met achteruitgang, minder welvaart, kleinschalige productie. Brundtland pleit niet voor achteruitgang, maar voor ontkoppeling: economische groei die samengaat met minder milieubelasting. Dit pleit voor geavanceerde technologische oplossingen.'

## Een open begrip

Het begrip duurzaamheid, of althans het gebruik ervan, blijft redelijk open en daardoor vaag. Het schetst de contouren van een idyllische samenleving waarbij alle partijen baat hebben, maar geeft geen concrete invulling aan de eruit voortvloeiende verplichtingen. Het geeft niet aan wat een rechtvaardige verdeling tussen huidige en toekomstige generaties inhoudt en hoe de financiering vorm moet krijgen. Ook speelt de vraag of ontwikkelingslanden pas aan duurzaamheid toe kunnen komen als ze eerst langs onze ontwikkelingsweg het westerse welvaartpeil hebben bereikt. De term 'duurzaam' wordt gemakkelijk op allerlei zaken geplakt en kan zo het zicht op de problematiek en mogelijke oplossingen belemmeren. Het resultaat is dat het begrip duurzame ontwikkeling uitgehold dreigt te raken. Veel werktuigbouwers vinden het begrip nu te rekbaar en onduidelijk. Zij hebben behoefte aan een operationalisering van het begrip in concrete termen, zodat het te vertalen is op technologisch gebied.

'Wat duurzaam en milieuverantwoord is? Dat is een vraag waar je niet zo makkelijk antwoord op kan geven', aldus Daey Ouwens. 'Neem als voorbeeld de voedselvoorziening. De voedselketen gaat van zon-gras-koeien-vlees. Maar je kan ook eiwitten rechtstreeks maken uit aardgas. Vind je dat nu wel of niet duurzaam? De samenleving heeft weinig tijd en mogelijkheden om dit te analyseren en te doordenken. Kijk maar naar de moeizame introductie van 'kunstvlees' op sojabasis. Of neem het voorbeeld van de overgang van fossiele naar groene brandstoffen. Fossiele brandstoffen vormen de grootste materiaalstroom over de wereld. Bij de ontwikkeling van groene brandstoffen ter vervanging van fossiele brandstoffen spelen dus zeer veel,

totale vervuiling = wereldbevolking			*	welvaart		*	vervuiling	
				hoofd van de bevolking			eenheid van welvaart	
1	=	1	*	1	*			1
1	=	2	*	3	*			$\frac{1}{6}$
2	=	3	*	4	*			$\frac{1}{6}$

Figuur 2: Illustratief denkmodel opbouw milieudruk BRON: WETERINGS & OPSCHOOR 1992

grote en brede vragen, zonder directe antwoorden. Het is een zeer ingewikkeld en complex maatschappelijk proces.

Hoe ik de toekomst zie? Het probleem met toekomstdenken is niet zo zeer het einddoel, daar is iedereen het wel over eens, bijvoorbeeld een schone en goedkope energievoorziening. De vraag is: hoe bereik je dat doel? De weg er naar toe is bijzonder lastig en weerbarstig.

2.2

De uitdaging

Om de duurzaamheidsproblematiek zoals die zich mondiaal voordoet te concretiseren, maken Weterings en Opschoor (1992) gebruik van een denkmodel dat - hoewel zeer algemeen en indicatief - bijzonder duidelijk de spanning illustreert die ten gevolge van maatschappelijke ontwikkelingen kan ontstaan. In dit denkmodel wordt de totale milieudruk opgesplitst in drie afzonderlijke factoren, te weten de omvang van de wereldbevolking, de welvaart per hoofd van de bevolking en de milieudruk per eenheid welvaart (zie figuur 2).

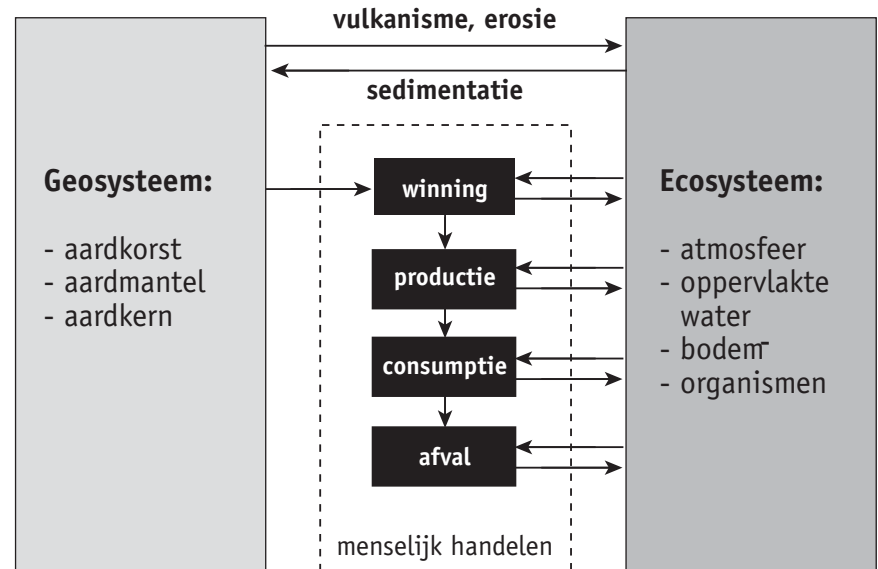
De factoren worden geïndexeerd op 1 voor het jaar 2000. Hierdoor kunnen we de toekomstige groei vergelijken met de situatie in 2000. Zo wordt geschat dat de wereldbevolking tot 2050 zal toenemen tot 2 \* 21/2 maal de huidige omvang. Bij een jaarlijkse economische groei in geïndustrialiseerde landen van 2,5% en in ontwikkelingslanden van 3,5% komt de totale groei tot 2050 ergens tussen de 3 en 6 maal het huidige niveau te liggen. De groei van de wereldbevolking en economie is moeilijk te beïnvloeden. De groei van de bevolking neemt voornamelijk af bij hoge welvaart en een hoog opgeleide bevolking. Beperking van de economische groei lijkt vooralsnog politiek en maatschappelijk niet acceptabel.

Als we de groei van bevolking en economie als gegeven beschouwen, kunnen we het denkmodel verder doorlopen. Om te komen tot een duurzame samenleving mag naar het huidige inzicht de totale milieudruk niet meer toenemen, en moet je eerder denken aan afname. Op basis hiervan kunnen we een doelstelling afleiden voor de komende vijftig jaar. We zullen ervoor moeten zorgen dat de milieudruk per eenheid van welvaart afneemt om te komen tot een duurzame samenleving. De noodzakelijke afname wordt ingeschat op een factor 4 tot 20.

Oorzaken milieudruk

2.3

Om de milieudruk per eenheid welvaart terug te kunnen brengen, is het noodzakelijk om de belangrijkste oorzaken van de milieudruk te achterhalen. Daartoe maken we een simpele systeembeschouwing van de aarde. De aarde kan worden opgevat als een systeem dat bestaat uit compartimenten waartussen allerlei materiaal- en energiestromen lopen.



Figuur 3: Belangrijkste massastromen tussen geosysteem, ecosysteem en menselijk handelen. BRON: LAMBERT

Een voor de mens zeer belangrijk compartiment is het ecosysteem dat bestaat uit de atmosfeer, het oppervlaktewater, de bodem en de levende en dode organismen. Kortom: het milieu waarin het leven zich afspeelt. Binnen het ecosysteem spelen zich allerlei materiaalkringlopen af, waarbij levende organismen soms in hoge mate betrokken zijn: de waterkringloop, de koolstofkringloop, enzovoorts. De materialen in deze kringlopen zijn onderworpen aan omzettingen. Ook komt uitwisseling tussen het ecosysteem en de rest van de aardkorst en -mantel voor. Denk daarbij bijvoorbeeld aan vulkanisme, erosie en sedimentatie.

Het optreden van de mens heeft geleid tot het introduceren van nieuwe omzettingprocessen. Daarbij worden materiaalstromen, na onttrokken te zijn aan het ecosysteem, via productieprocessen getransformeerd tot producten. Als emissie of als afval komen deze materialen weer in het ecosysteem terecht, zij het op een andere plaats en in een andere hoedanigheid. Bovendien brengt de mens door delfstoffenwinning en winning van fossiele brandstoffen grote hoeveelheden materiaal, die voorheen onder het aardoppervlak verborgen waren, in contact met het ecosysteem.

De genoemde menselijke activiteiten veroorzaken de belasting van natuur en milieu. Tot op zeker niveau hebben deze het vermogen om belasting te incasseren en de schade te herstellen. Boven dat niveau treden onomkeerbare veranderingen op: natuurlijke soorten sterven uit, hulpbronnen raken uitgeput, biologische processen worden verstoord.

## 2.4 Trendbreuken

Vatten we welvaart op als de producten, processen en diensten die we gebruiken, dan volgt uit bovenstaande beschouwing een concrete doelstelling: de komende 50 jaar moeten we producten, processen en diensten ontwikkelen die een factor 4-20 minder energie en grondstoffen nodig hebben en minder emissies en afval produceren ten opzichte van de huidige situatie.

Een nadeel van deze doelstelling is, dat deze zich niet meer expliciet richt op verantwoordelijkheid ten aanzien van toekomstige generaties en ontwikkelingslanden. Een ander nadeel is de oriëntatie op technologie. Duurzaamheid vereist zo'n brede en ingrijpende aanpassing van de maatschappij, dat dit op alle gebieden doorwerkt en niet alleen in de technologie.

Maar de voordelen van een dergelijke concrete doelstelling zijn groot. Technologen kunnen ermee uit de voeten: de wereld van materie en energie is hun domein. In de jaren '90 hebben overheid, bedrijven en onderzoeksinstituten deze doelstelling

dan ook meteen opgepakt in bijvoorbeeld het programma Duurzame Technologische Ontwikkeling (DTO, gericht op het identificeren en opstarten van gewenste lange termijn technologische trendbreuken) en het programma Economie, Ecologie en Technologie (EET, technologisch onderzoeksprogramma).

Overigens voldoet de doelstelling in de praktijk lang niet altijd. Immers, een ontwerper komt voor een keuze tussen twee materialen te staan, en welke is dan het meest milieuvriendelijk? Of het verminderen van emissies gaat gepaard met een toename van het energiegebruik: is dat wel beter voor het milieu? Of een bedrijf dat maatschappelijk verantwoord wil ondernemen, stoot alle milieubelastende activiteiten af naar toeleveranciers: het milieu wordt er niet beter van. In al deze situaties is een grondigere kennis van de milieu-impact van materialen en processen nodig. Het pleit voor geavanceerdere milieukundige inbreng, in de vorm van integraal ketenbeheer, levenscyclusanalyses en het gebruik van eco-indicatoren.

## Werktuigbouwkunde en Duurzame Ontwikkeling

3

In hoofdstuk twee hebben we het concept duurzame ontwikkeling beschouwd. De conclusie was dat de milieudruk per eenheid welvaart de komende vijftig jaar fors moet afnemen. In dit hoofdstuk staan we stil bij de vraag wat werktuigbouwkunde hieraan kan bijdragen. Wat is werktuigbouwkunde en waar liggen raakvlakken met duurzaamheid (paragraaf 3.1)? En welke bijdrage kunnen deelgebieden zoals de energietechnologie (paragraaf 3.2), de materiaalkunde (paragraaf 3.3) en het duurzaam ontwerpen (paragraaf 3.4) leveren?

### Werktuigbouwkunde en duurzaamheid

3.1

Werktuigbouwkunde is de kunde van het bouwen van machines en apparaten en het produceren van producten. Om een werktuig te kunnen bedenken, is kennis van een groot aantal deelgebieden nodig, zoals mechanica, materiaalkunde, vervaardigingskunde, regelen, stromingsleer, warmteleer, aandrijftechniek, constructieleer en wiskunde. Waar liggen de raakvlakken tussen werktuigbouwkunde en duurzaamheid? Drie werktuigbouwkundigen beantwoorden deze vraag en reflecteren daarmee op hun vakgebied.

**Kees Daey Ouwens**

Voor prof.ir. Kees Daey Ouwens is de vraag niet nieuw. Hij antwoordt alsof hij college aan het geven is: 'Als je het samengaan van economie en milieu als doel van duurzame ontwikkeling opvat, dan heb je precies het terrein waarmee de werktuigbouwer aan de slag kan. De werktuigbouwer maakt machines, of doet er onderzoek naar. Waarom is de werktuigbouwer nou zo geschikt om aan duurzame ontwikkeling iets bij te dragen? De werktuigbouwer richt zich vooral op de wereld van energie en materialen. Problemen met onduurzaamheid komen voor een groot deel hieruit voort. Moet een samenleving duurzamer, dan moeten werktuigbouwers aan de slag om te zorgen dat die wereld van energie en materialen duurzamer wordt, en tegelijkertijd economisch hanteerbaar blijft. De werktuigbouwer moet dus op zoek naar machines die aan milieubelasting niets of weinig bijdragen.'

## Thijs Adriaans

Thijs Adriaans is student werktuigbouwkunde met een specialisatie in de energie-technologie. Zijn visie vult die van Daey Ouwens min of meer aan.

‘Werktuigbouwkunde is multidisciplinair. Het is toegepaste techniek. In de werktuigbouwkunde komt alles bij elkaar. Kijk bijvoorbeeld maar naar een auto.

Werktuigbouwers zijn echte technenuten, met vertrouwen in en bewondering voor de techniek. De meeste excursies richten zich op iets groots en machtigs: bedrijven als DAF, NAM of Vanderlande transportsystemen. Ze kijken bij een auto naar snelheid, geluid en het optrekken en veel minder naar comfort of milieu.’

‘De uitdaging is technologie zodanig toe te passen dat daarmee duurzaamheid bereikt wordt. Hierbij kun je denken aan energiebesparing, schonere en efficiëntere energieopwekking, minder uitstoot, minder verbruik, isolatie, of energiebesparing door toepassing van lichtere materialen. En laat een werktuigbouwer apparatuur zodanig ontwerpen, dat die uitnodigt tot duurzamer gebruik. Denk bijvoorbeeld aan een kopieerapparaat dat standaard dubbelzijdig kopieert, een koffiezetapparaat dat na twee uur uit zich zelf uitspringt of een auto die aangeeft wanneer je moet schakelen. De technologie en het gedrag van de gebruiker kunnen niet los van elkaar worden gezien.’

## Han Meijer

Prof.dr.ir. Han Meijer is hoogleraar polymeertechnologie. Hij is een echte onderzoeker met goede contacten in de industrie. Meijer: ‘De Opel Kadett - ik haat Opel Kadetts - van nu stuurt beter en is veiliger dan de Mercedes van vijftien jaar geleden. Een normaal TV-toestel kost al twintig jaar hetzelfde, ondanks gestegen loonkosten, materiaalkosten en energiekosten. Tegelijkertijd zijn de huidige toestellen wel in functionaliteit technologisch superieur aan de modellen van tien jaar geleden. Wat is de drijvende kracht? Het antwoord is hetzelfde als het antwoord op de vragen die duurzaamheid aan technologie stelt en die iedere werkgever aan ons, ingenieurs, zal stellen: dematerialisering (met minder gewicht), met meer functionaliteit, minder energieverbruik, hogere integratie, efficiënter en goedkoper.’ (zie ook *Meijer 2000*)

‘Techniek draait volgens mij om het volgende: met teams van de knapste ingenieurs werken aan een strijkijzer dat tien procent lichter is dan dat van de concurrent. Je mag in plaats van dat strijkijzer ook auto invullen, of pc, of bierblikje en in plaats van het woord lichter ook zuiniger of sneller. De essentie van die definitie is dat techniek meestal draait om een kleine verbetering van een bestaand product. Geen prettige definitie, maar het geeft aan wat er in de praktijk in de grote labs gebeurt, bij Philips, Shell en Unilever.’ In het vak ‘Technologie en Duurzaamheid’,

waarvan Meijer mede docent is, en ook in een interview (*Persson 2001*), betoogt hij dat duurzame technologie vooral een focus is op aspecten die ingenieurs al langere tijd nastreven.”

## Raakvlakken

Het is duidelijk dat de visie op de raakvlakken tussen werktuigbouw en duurzaamheid sterk bepaald wordt door het eigen technische specialisme van de geïnterviewde en zijn visie op de rol van de werktuigbouwer (de werktuigbouwer als onderzoeker, ontwerper, procestechnoloog of manager). Door de vraagstelling ligt de nadruk op de positieve gevolgen van kennis, wetenschap en technologie. Maar de toepassing van (gebrekkige) kennis en technologie hebben ook in belangrijke mate bijgedragen aan de bedreiging van het leefmilieu en zullen dat ook in de toekomst blijven doen.

Een ander opvallend verschil doet zich voor tussen de universiteiten en de hogescholen. De technische universiteiten richten zich meer op doorbraken, het ontwikkelen van modellen en fundamenteel nieuwe inzichten, methoden en toepassingen. Daarbij zoeken ze vaak aansluiting bij grote bedrijven die deze ontwikkelingen kunnen volgen en ondersteunen. De hogescholen daarentegen richten zich meer op de invoering van duurzame aanpakken en technologieën. Ze proberen een brug te slaan tussen nieuwe ontwikkelingen en de introductie in met name het midden- en kleinbedrijf.

Hieronder worden de positieve raakvlakken verder uitgewerkt door drie deelgebieden van de werktuigbouwkunde nader onder de loep te nemen. Vanuit energietechnologie wordt aandacht besteed aan duurzame energie en energiebesparing. Binnen de disciplines materiaaltechnologie en ‘ontwerpen en construeren’ is de relatie met duurzaamheid minder direct zichtbaar. De mogelijkheden met betrekking tot duurzaamheid zijn echter groot.

## 3.2 Energietechnologie

### Energieke werktuigbouwers

Een hoog energiegebruik blijkt voor een belangrijk deel aan de milieubelasting bij te dragen. Fossiele brandstoffen vormen de grootste stofstroom in de wereldeconomie (*World Resources Institute 1997*). En verbrandingsprocessen, benodigd voor de omzetting van fossiele energiedragers, zijn de belangrijkste veroorzakers van luchtverontreiniging. (*CCDM 2000*)

Zowel in het dagelijkse gebruik als bij de productie van goederen en halfabrikaten is energie nodig. Het gaat daarbij om verschillende soorten energie, zoals elektrische, thermische en mechanische energie. Bij de inzet van energie is het van belang dat de gevraagde soort energie in de vereiste hoeveelheid op de juiste plaats en op het juiste moment beschikbaar is. Dit wordt bereikt door de energie uit stromingsbronnen en fossiele brandstoffen te converteren in de gewenste soort en hoeveelheid, deze energie te transporteren naar de juiste plaats en indien nodig op te slaan. Voor de omzetting, het transport en de opslag gelden de wetten van de thermodynamica.

Werktuigbouwers zijn gewend te denken in deze termen. Als emeritus hoogleraar duurzame energie heeft prof.ir. Kees Daey Ouwens een goed overzicht over het gebied. Hij geeft enkele voorbeelden van de raakvlakken tussen duurzaamheid en werktuigbouwkunde. 'Neem de koelkast. Deze bestaat uit een motor, een stuk warmteoverdracht, materialen: specifiek het veld voor werktuigbouwers.

Werktuigbouwers zijn in staat een koelkast te ontwerpen die een factor 10 minder energie gebruikt en die niet duurder is dan de huidige koelkasten. Een ander voorbeeld zijn de motoren. De opdracht daar is een hoger rendement met minder emissies. Via *Fischer-Tropsch*-reacties kun je olie uit hout maken, waarbij bij verbranding in motoren minder emissies vrijkomen. Bovendien is de vrijkomende CO<sub>2</sub>-uitstoot afkomstig uit de korte CO<sub>2</sub>-cyclus, omdat hout als brandstof wordt gebruikt. Nog een voorbeeld: biomassasystemen, met bijvoorbeeld vergassingstechnologie en het kraken van teer. Of zonne-energie. Kortom: zowel aan de aanbodkant van de energie, als aan de vraagkant kan een werktuigbouwer veel doen en wordt er ook al veel gedaan.'

### Duurzame energiebronnen

Veel van de duurzame energiebronnen zitten nog in het traject van onderzoek, ontwikkeling en demonstratie, of worden toegepast in niches van de markt. Uiteindelijk moet de toepassing overgenomen worden door energiebedrijven en de

markt. Een wereldwijde markt, waarop Shell een van de grote spelers is. Volgens de jongste scenario's van Shell zullen de duurzame en moderne biobrandstoffen snel groeien, gemiddeld met zo'n 10 tot 11 procent per jaar tot 2025. Het aandeel duurzame energie van het totale verbruik zou van de huidige 1 procent kunnen oplopen tot 10 procent rond 2030. (*NRC 2001*)

'We zijn allang geen oliebedrijf meer. Ik zeg altijd: we zijn een energie- en petrochemisch bedrijf dat ook bezig is met de energie van overmorgen', aldus Jeroen van der Veer, bestuursvoorzitter van de Koninklijke/Shell groep. Zo wordt het relatief schone gas steeds belangrijker. Naast het gas zullen 'duurzame' bronnen belangrijker worden voor Shell: zon, wind, biomassa en waterstof. (*Dommelen 2001*) Daarom stopt Shell geld in de duurzame sector, de komende vijf jaar tot een half miljard euro. Het concern wil verdienen aan duurzame energie. 'We willen met de markt meegroeien en kunnen ons geen 'rituele geldverbranding' veroorloven', aldus Van der Veer. (*NRC 2001*)

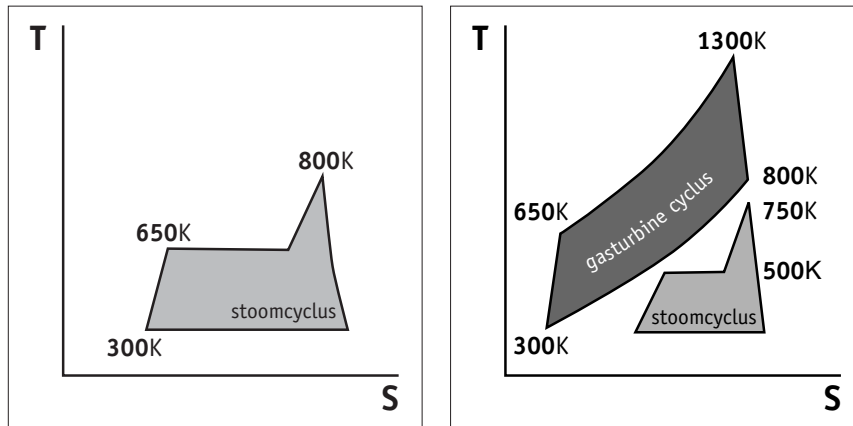
Aan zonne- en windenergie doet het bedrijf al vrij veel, hoewel Van der Veer dat relateert: 'We willen op al die terreinen nog niet heel groot zijn, maar wel zorgen dat we erbij zijn als één van deze alternatieven commercieel aantrekkelijk wordt door nieuwe technologische doorbraken en daardoor een grote markt ontstaat. We spelen geen roulette op één nummer.' (*Dommelen 2001*)

### Efficiënt en schoon gebruik fossiele energiedragers

Besparingen en het overschakelen op duurzame energiebronnen zullen de druk op fossiele brandstoffen in de toekomst enigszins verlagen. Op de korte en middellange termijn blijven fossiele brandstoffen echter de voornaamste leveranciers van energie. Een efficiëntere en schonere verbranding van fossiele brandstoffen is daarom van groot belang.

Enkele voorbeelden van efficiënte omzeters zijn de warmtepomp, de brandstofcel, warmtekrachtkoppeling en de gecombineerde stoom- en gasturbine cyclus (STEG). Met behulp van de temperatuur-entropie-(T-S)-diagrammen in figuur 4 kan het voordeel van een STEG-cyclus worden aangetoond. Deze maakt gebruik van energie cascading, ten opzichte van de traditionele stoomcyclus. Het oppervlak dat omsloten wordt door de cyclus in het T-S-diagram geeft aan hoeveel arbeid aan de cyclus onttrokken kan worden. Onderzoek naar het reduceren van emissies richt zich bij werktuigbouwkunde met name op het verminderen van de NO<sub>x</sub>-uitstoot. NO<sub>x</sub> wordt gevormd bij het verbrandingsproces. Er wordt onder andere onderzoek gedaan naar het verhogen van de stralingsafgifte in bijvoorbeeld keramische branders, tweetrapsverbranding, primair voormengen van verbrandingslucht met gas, rookgasrecirculatie en katalytische verbranding.





Figuur 4: Temperatuur-entropie-(T-S)-diagram van een stoomcyclus (links) en STEG cyclus (rechts)  
Bron: KOROBITSYN 1998

De materiaalkunde is aan de ene kant fundamenteel bezig waar het gaat om het ontwikkelen van modellen waarmee gepoogd wordt het materiaalgedrag te voorspellen. In zo'n model worden in een stelsel van vergelijkingen diverse parameters ingevoerd, zoals de treksterkte, de druksterkte en de afschuifspanning van een materiaal. Aan de andere kant wordt software ontwikkeld op basis van deze modellen, waarmee al in de ontwerpfase op basis van materiaaleigenschappen de werkelijkheid (bijvoorbeeld sterkte) van een specifieke constructie kan worden berekend.

### Ontwerpen op materiaaleigenschappen

Een werktuigbouwkundig ontwerper houdt zich bezig met het ontwikkelen van nieuwe en/of het verbeteren van bestaande producten. De mechanische eigenschappen van een product worden bepaald door de vorm en door de eigenschappen van het materiaal waarvan het gemaakt is. Tijdens het ontwerpproces worden deze eigenschappen voorspeld, eventueel gevolgd door een aanpassing van het ontwerp. Het gebruik van de computer en numerieke rekenprogramma's (CAD, Eindige Elementen Methode) is daarbij onmisbaar.

In figuur 5 staat een voorbeeld van een vakwerkconstructie. Door intelligent te ontwerpen kan, afhankelijk van de configuratie van de gebruikte staven, de constructie lichter worden gemaakt. Uiteindelijk komt er bij het minimum gewicht de 'Michell-structuur' uit, een uit de natuur afgeleide constructie.

Een andere mogelijkheid is gebruik te maken van versteviging daar waar het nodig is, door gebruik te maken van vormstijfheid. Een bekend voorbeeld hiervan zijn profielen, zoals de I-balk. Het maximaal gebruik van vormstijfheid is voor polymeren, gegeven het vormgevingsgemak, het belangrijkste gereedschap van de ontwerper om de lage materiaalstijfheid in een voordeel om te zetten. Een voorbeeld hiervan is verribbing, zoals bijvoorbeeld toegepast wordt in een stofzuigerhuis. Ook door wapening met vezels is de materiaalstijfheid aanzienlijk te verhogen.

## 3.3 Materiaalkunde

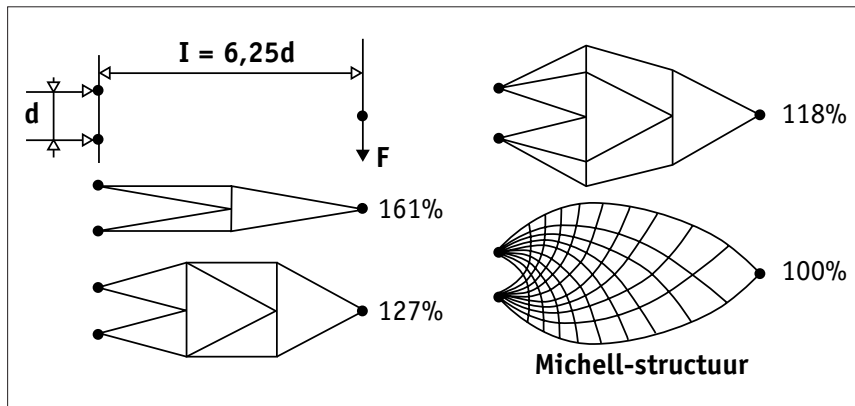
### Wat is materiaalkunde?

Door beter inzicht in de eigenschappen van materialen en door het zoeken naar nieuwe materialen met verbeterde eigenschappen, kan door een optimale constructie minder materiaal per product toegepast worden of de levensduur van een product verlengd worden (dematerialisatie). Ook kan worden gezocht naar nieuwe materialen die minder schadelijk zijn (substitutie). Door milieuaspecten en -risico's van materialen op een rijtje te zetten, kunnen deze aspecten in een ontwerp bij de afweging voor materiaalkeuze meegenomen worden.

Nieuwe materialen kunnen vaak ook worden ingezet voor nieuwe toepassingen: sterke materialen voor lichtgewicht, supersterke constructies; materialen met een hoge functionaliteit die toegepast kunnen worden in membranen, zonnecellen of brandstofcellen; of materialen met een speciale coating zodat bij het bewerken geen smeermiddelen meer nodig zijn. Inzicht in het gedrag van materialen kan gebruikt worden om het productie- of recyclingproces verder te verbeteren.

Een kenmerk van nieuwe materialen is dat zij vaak samengesteld zijn uit diverse componenten, waardoor zij sterker en duurzamer worden. Het directe nadeel hiervan is de moeilijke afbreekbaarheid in het milieu en de problemen die zij opleveren bij hergebruik.





Figuur 5: Percentage materiaal nodig ten opzichte van Michell-structuur voor vakwerkconstructies belast op buiging. VAN DEN KROONENBERG 1994

## Polypropyleen uit één stuk

Sinds 1997 loopt op de TU Eindhoven het *All-PP*-project. Polypropyleen is tegenwoordig het meest gebruikte plastic: het is sterk, duurzaam en goed te verwerken. Voor gebruik in zwaardere constructies wordt het vaak versterkt met glasvezel. Het resultaat is een stevig constructiemateriaal, dat echter slecht te recyclen is. De glasvezel in de polypropyleen is de boosdoener. Verbranding ervan levert bijvoorbeeld schadelijke uitstoot op. Ook de mechanische verwerking is lastig: glasvezels breken snel af en inademing van het glasstof dat ontstaat is zeer schadelijk en vergelijkbaar met de gevaren van asbest. Het polypropyleen zelf is juist goed te hergebruiken of te verbranden. Dit roept een voor de hand liggende vraag op: is het niet mogelijk een sterk en duurzaam materiaal te ontwikkelen dat helemaal uit polypropyleen (PP) bestaat? Dit is de kern van het *All-PP*-project.

Maar hoe krijgt polypropyleen dan stevigheid? Stijfheid ontstaat door het richten van de moleculen: het plastic wordt 'georiënteerd'. 'Het geeft sterkte aan het materiaal in één bepaalde richting', zegt de bij het *All-PP*-project betrokken onderzoeker Edwin Klompen. Als het materiaal wordt blootgesteld aan krachten in deze richting, blijkt het materiaal 'stijf'. Het *All-PP*-project tracht zoveel mogelijk de gewenste eigenschappen zoals stijfheid te controleren, om ze beheersbaar te maken voor een productieomgeving. Daartoe worden verschillende bewerkingstechnieken onderzocht. Ondanks de praktische aanleiding en de beoogde commerciële toepassing blijkt het

nog steeds te gaan om fundamenteel onderzoek. In een volgende fase zal het onderzoek zich richten op toepassingen in de industrie. Klompen blijft echter wat sceptisch: 'Natuurlijk is dit zeer zinvol onderzoek. Maar duurzame producten? Als kunststof de toekomstige auto's bijvoorbeeld lichter en dus schoner zal maken, wil de industrie er vast meer elektronica in hebben. Blijft het totale gewicht nog hetzelfde. Je kunt dat nu toch niet overzien.' Techniek alleen is zelden het antwoord op vraagstukken van duurzaamheid. (TDO 2000)

## Duurzaam ontwerpen

3.4

### Wat is duurzaam ontwerpen?

In paragraaf 3.1 hebben we gezien dat een werktuigbouwer gekenmerkt wordt door dat hij werktuigen, producten en processen maakt of onderzoekt. Ontwerpen en toegepast onderzoek zijn dan ook karakteristieken van de werktuigbouwer. Enerzijds ontwikkelt een werktuigbouwer creatieve ontwerpen. Prototypen worden via modelvorming, simulatie en experimenten getoetst op hun functionaliteit. Anderzijds kan toegepast onderzoek leiden tot inzichten om te komen tot het verbeteren van complexe systemen, processen en producten.

Duurzaam ontwerpen is een variant hierop. In feite is een duurzaam ontwerp, ook bekend als eco-design, niet anders dan een kwalitatief goed ontwerp, waarbij aan alle redelijke eisen en wensen van de klant (consument, overheid, bedrijfsleven) wordt voldaan. Een dergelijk product kenmerkt zich door een hoge mate van gebruiksvriendelijkheid en milieuvriendelijkheid doordat het product of proces een laag materiaal- en energiegebruik en een lage emissie (indien van toepassing) kent. Centraal staan de behoeften van de klant en de effectieve en efficiënte doorvertaling daarvan naar een product.

In de praktijk ontstaat hierbij vaak een spanningsveld, ingegeven door de beperkte tijd en middelen die beschikbaar zijn. De kunst is een balans te vinden tussen het praktisch functioneel ontwerpen en het kritisch beschouwen van het ontwerp vanuit duurzaamheidsoogpunt. Voor de kritische beschouwing kan gebruik worden gemaakt van methodieken als integraal ketenbeheer, levenscyclusanalyses en eco-indicatoren. Hieronder volgen twee voorbeelden van duurzame ontwerpen door werktuigbouwers. De PV-zonneboiler is een voorbeeld van een product dat zijn bestaansrecht ontleent aan het duurzame karakter. Het ontwerp van de auto met vlieg wiel en continu variabele transmissie is een herontwerp van de aandrijving van een auto, om zodoende dit product minder milieuvriendelijk te maken.

## PV-zonneboiler op weg naar markt

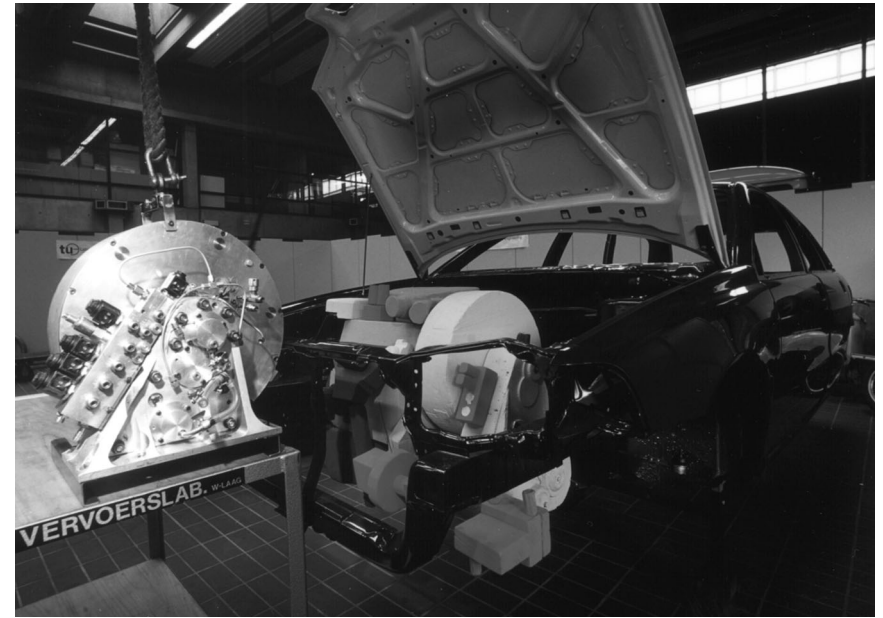
Normaal vormen fotovoltaïsche (PV) en thermische zonnepanelen aparte werelden bij het benutten van zonne-energie. De inmiddels gepromoveerde dr.ir. Douwe de Vries heeft tijdens zijn ontwerperopleiding *Computational Mechanics* deze twee benaderingen bij elkaar gebracht: opwekken van elektriciteit en warm water via één paneel. Met als grote voordeel een flinke besparing van het benodigde oppervlakte. Zijn model voor een PV-thermisch combipaneel was zo veelbelovend dat hij na die ontwerperopleiding nog twee jaar verder mocht werken om te promoveren op een proefontwerp van dat combipaneel.

In zijn proefschrift kon De Vries melden dat zijn prototype combipaneel lonend was en op welke manier het prototype nog te verbeteren viel. Aan die verbeteringen wordt inmiddels gewerkt, samen met en in opdracht van *Shell Solar*. Het Helmondse bedrijf, dat marktleider is in Nederland op het gebied van PV-systemen, heeft patent genomen op het combipaneel in de verwachting dat het binnen enkele jaren op de markt kan komen. (TDO 1999)

## Vliegwiel en continu variabele transmissie

Een aandrijflijn ontwerpen om een voertuig zuiniger te maken is op zich geen kunst. De consument wil echter een betaalbare auto, met hoge prestaties en veel comfort. De faculteit Werktuigbouwkunde van de Technische Universiteit Eindhoven werkt aan een personenauto die wordt aangedreven door een verbrandingsmotor in combinatie met een continu variabele transmissie en een vliegwiel. Een kwart brandstofbesparing en een evenredige reductie van de emissie van CO<sub>2</sub> is het doel. De universiteit heeft zich samen met het Tilburgse bedrijf Van Doorne's Transmissie (VDT) en TNO verenigd om de haalbaarheid van dit concept aan te tonen. Het project wordt betaald uit de subsidieregeling Economie, Ecologie en Technologie (EET).

Bij het project waren drie promovendi betrokken die zich op verschillende aspecten richtten. Eén richtte zich op het ontwerpen en realiseren van de totale constructie. Een tweede richtte zich op de besturing van de aandrijflijn. Een heel belangrijk probleem hierbij is het vertalen van de wensen van de bestuurder: hoe moeten de bewegingen van de pedalen worden omgezet in gewenste reacties van het voertuig? Een derde promovendus bekeek op detailniveau de componenten en de optimalisatie van de regeling daarvan.



Toepassing vliegwiel in auto (Foto: Norbert van Onna/TDO)

Om de conclusies uit theoretische berekeningen extra kracht bij te zetten met tastbare resultaten is een Volkswagen Bora als testwagen uitgerust. Begeleider dr.ir. Frans Veldpaus: 'We willen bewijzen dat het idee werkt. Het levert echter geen rijklare auto op. De industrie zal de ontwikkeling moeten oppakken en verder dragen.' Inmiddels zijn de drie aio's gepromoveerd en continueren zij het onderzoek, nu echter in hun eigen bedrijf. (TDO 1999)

## Onderwijs & opleidingen

4

Dit hoofdstuk is gericht op het werktuigbouwonderwijs. Waarom is het zinvol om binnen opleidingen werktuigbouwkunde aan universiteiten en hogescholen aandacht aan duurzame ontwikkeling te besteden en hoe zou dit vorm kunnen krijgen (paragraaf 4.1)? Dit wordt verder uitgewerkt aan de hand van praktijkvoorbeelden van basismodules (paragraaf 4.2), multidisciplinaire projecten (paragraaf 4.3) en specialisatie en integratie (paragraaf 4.4).

### Duurzaamheidonderwijs

4.1

#### Plek veroveren

Duurzame ontwikkeling is een belangrijk maatschappelijk streven. Onderwijs op dit terrein is essentieel voor het opvatten en ontwikkelen van nieuwe normen en waarden door studenten. Het versterkt en verbetert de capaciteit van studenten om in hun latere beroepspraktijk met milieu- en ontwikkelingsproblemen om te gaan. Universiteiten en hogescholen erkennen hun verantwoordelijkheid hierin. Met de ondertekening van het Copernicus-handvest (1993) en het Handvest Duurzaamheid HBO (1999) verklaren de onderwijsinstellingen dat ze duurzame ontwikkeling willen integreren in het onderwijs, onderzoek en bedrijfsvoering. (*Duurzaam Hoger Onderwijs 2002*)

Het dagelijkse werktuigbouwkundeonderwijs is nog niet met duurzaamheid doorweven. Thijs Adriaans, student: 'Duurzaamheid als thema wordt gangbaar,, maar het wordt niet zo nadrukkelijk uitgedragen. De *'middle of the road student'* komt duurzaamheid dus niet zomaar tegen, maar zal er actief naar op zoek moeten gaan.' Maar het idee dat als je wat aan duurzaamheid doet, je wel een idealistische zonderling moet zijn, een dief van je eigen portemonnee of een gevaar voor het vakgebied, verandert. Duurzame energievoorziening en *eco-design* zijn redelijk normale begrippen geworden.

Voor werktuigbouwkunde opleidingen is duurzaamheid een kans. De wereld van materie en energie is het domein van de werktuigbouwkunde, en van daaruit kan het vakgebied een grote bijdrage leveren aan de oplossing van duurzaamheidsproblemen. Duurzaamheid komt ook steeds vaker terug in beleidsplannen en verslagen van grote bedrijven als Philips, KLM, Heineken, Van Melle, Nokia, IBM, Shell, energiebedrijven, et cetera. Het betreft dan de invoering van milieuzorgsystemen, een duurzame productie en de ontwikkeling van meer duurzame producten. Deze bedrijven



*Duurzaamheid wordt steeds minder als iets alternatiefs gezien. De rol die hoogwaardige technologie kan spelen ten gunste van een positieve ontwikkeling van economie en ecologie wordt steeds meer erkend, ook in de opleidingen werktuigbouwkunde. FOTO: TDO / NORBERT VAN ONINA*

zijn voor een belangrijk deel de markt waar de opleidingen hun studenten voor opleiden. En *last but not least*: het onderwerp spreekt studenten erg aan. Het leent zich dus voor uitdagend en relevant onderwijs.

## Eindtermen

Han Smits was opleidingsdirecteur bij werktuigbouwkunde aan de TU Eindhoven toen de integratie van duurzame ontwikkeling in het onderwijs daar van de grond kwam. 'Ik geloof niet in het aanbieden van het onderwerp in de vorm van een vak. Je moet beginnen met het in de eindtermen op te nemen als competentie. Bijvoorbeeld de werktuigbouwkundig ingenieur moet in zijn beroepspraktijk een systeem kunnen ontwerpen, en bij dat ontwerp nadenken over en afwegingen maken op het gebied van duurzame ontwikkeling. Dit vertaal je naar de student: dit moet je kunnen en moet je gaan leren. Wij bieden dat aan in leermomenten. En jij, als student, verzamelt dat in je eigen portfolio. En in je eindproject, moet tot uitdrukking komen dat je dat hebt opgepikt. De beoordelingscommissie kijkt dan naar je houding, je analyses, de termen die je gebruikt, et cetera.'

Anja de Groene is lector duurzaamheid aan de Hogeschool Zeeland.

'Bij de Hogeschool Zeeland zijn duurzaamheid en water benoemd tot speerpunten. Mijn verwachting is dan ook dat bij het opstellen van de competenties duurzaamheid daarin zal worden opgenomen.'

Voor de werktuigbouwkundige ingenieurs aan de TU Eindhoven is duurzaamheid opgenomen in de eindtermen. Daarin staat als doelstelling: 'De ingenieur heeft het vermogen zich te verdiepen in de maatschappelijke betekenis van de werktuigbouwkunde en de consequenties van met name het eigen technologisch handelen. Hij heeft verantwoordelijkheidsbesef ten aanzien van milieuaangelegenheden. Hij is in staat met ethische vraagstukken om te gaan.' (TU Eindhoven 2001)

Deze eindtermen zijn verder uitgewerkt voor werktuigbouwkundestudenten die zich specialiseren in duurzaamheid en het daarbij behorende duurzaamheidcertificaat behalen. (TDO 2001a) Deze studenten:

- 'kunnen de essentie weergeven van de belangrijkste milieuproblemen en de oplossingsrichtingen van duurzame ontwikkeling en duurzame technologie;
- kunnen in de werktuigbouwkunde een aantal belangrijke milieuproblemen en een aantal onderzoeksgebieden betreffende duurzame technologie aangeven;
- zijn in staat om milieuaspecten te integreren in het ontwerpproces in de werktuigbouwkunde;
- onderkennen het multidisciplinaire karakter van duurzame technologie; zijn in staat om van ontwerpvoorbeeldstukken aan te geven welke andere disciplines van belang zijn;
- zijn in staat om te werken in multidisciplinaire groepen.

Deze doelen zijn terugvertaald naar het onderwijsprogramma dat bij het certificaat behoort. Per vak en per casus is dit weer uitgewerkt in concrete leerdoelen, die aangeven wat een student moet kennen, begrijpen en kunnen toepassen.

## Duurzaam onderwijs

Meer en meer opleidingen en docenten doen ervaring en expertise op in duurzaamheidsonderwijs. De opleidingen werktuigbouwkunde van de Hogeschool van Utrecht, Hogeschool Arnhem Nijmegen en de Technische Hogeschool Rijswijk hebben 'integraal ontwerpen' in de curricula een belangrijke rol gegeven. Op de Universiteit Twente wordt gebruik gemaakt van de levenscyclusanalyse en exergieanalyse, onder andere in het vak milieubewust ontwerpen. (SME 1998) Saxion Hogescholen heeft een specialisatie Energie Efficiency en Duurzame Energie voor derde en vierdejaars studenten. De Hogeschool Zeeland is bezig met het opzetten van een basis cursus





Een voorbeeld van duurzaamheid in werktuigbouwkunde onderwijs is de biomassaver-gassingscase. Studenten worden vertrouwd gemaakt met biomassa als duurzame energiebron en vergassing als kansrijke technologie. Op basis van een olievat wordt een constructie bedacht en in de werkplaats in elkaar gezet (linksboven). Vervolgens wordt de constructie getest. Eerst wordt hiertoe een houtvuur in het vat gemaakt (rechtsboven). Dan wordt het vat afgesloten en de zuurstoftoevoer met perslucht gereguleerd. Dit levert een brandbaar gas op dat afgetakeld wordt (onder, links) of een flinke rookpluim geeft (onder, rechts). (Foto: WOC/W/TUE)

duurzaamheid voor alle opleidingen, een vak Duurzame Energie voor werktuigbouwkundigen, en de mogelijkheid af te studeren op een duurzaam onderwerp. Ervaring met duurzaamheidsonderwijs is ook opgedaan in aan werktuigbouwkunde gerelateerde opleidingen. De Hogeschool Brabant heeft een opleiding Milieugerichte Materiaaltechnologie. En in de opleiding Industrieel Ontwerpen van de Technische Universiteit Delft is duurzaamheid bij alle ontwerp opdrachten een beoordelingsaspect. (SME 1998)

Het project Cirrus verduurzaamt het onderwijs aan de faculteit Techniek & Natuur van de Hogeschool Brabant. Ludi Dejong coördineert en stimuleert vanuit het Cirrus project het duurzaamheidsonderwijs bij de opleiding Werktuigbouwkunde. In latere jaren zal je duurzaamheid geïntegreerd in vakken moeten aanbieden. Hoe, dat hangt af van de specialisatie van de student. Een werktuigbouwer die gespecialiseerd is in enkelstuks fabricage, moet misschien wel weten wat een levenscyclusanalyse is, maar hoeft hem niet te kunnen toepassen. Want voor enkelstuks is dat niet rendabel, niet evenwichtig ten opzichte van de te leveren inspanning. Zo'n werktuigbouwer kan veel beter aan de hand van vuistregels of eco-indicatoren aan de slag gaan. Een werktuigbouwer in de serie- of massaproductie daarentegen moet wel zelf met een levenscyclusanalyse aan de slag kunnen gaan.

Bij duurzaam ontwerpen worden bijvoorbeeld de uitgangspunten van de op dit vlak gerenommeerde hoogleraar Van den Kroonenberg meegenomen. Bij constructietechniek voor serie- en massafabricage kun je je erop richten verspilling tijdens het proces te voorkomen, het proces optimaal te benutten, proberen te komen tot minder spreiding, et cetera. In de energietechniek worden duurzame energiebronnen behandeld. Daarnaast komen hierbij in het kader van duurzaamheid vooral exergieanalyses aan de orde: het gaat erom de juiste kwaliteit energie op de juiste plaats toe te passen en daarmee onnodig kwaliteitsverlies proberen te voorkomen.

Voor een goede integratie van duurzaamheid in het werktuigbouwkunde onderwijs moet in de beginfase aandacht besteed worden aan de achtergronden van duurzame ontwikkeling en de relatie met het vakgebied. Ten tweede is interdisciplinariteit van belang. Duurzaamheidsproblemen zijn doorgaans zo complex dat die alleen opgelost kunnen worden door samenwerking tussen verschillende disciplines. En ten derde zou ieder onderwijsprogramma de mogelijkheid moeten bieden de basale kennis en vaardigheden te verdiepen. (DHO 2002) Hierna wordt bekeken hoe duurzaamheid concreet in verschillende onderwijsmodules is verwerkt.

## Basismodules

### Basismodule

Onder aanvoering van de Open Universiteit Nederland hebben vijf instellingen voor (technisch) hoger onderwijs de handen ineengeslagen om een oriëntatiemodule tot stand te brengen voor in de eerste studiejaar van technische opleidingen.

De samenwerking biedt een bundeling van verschillende expertises: (eerste) ervaringen met duurzame ontwikkeling in het hoger onderwijs, specifieke kennis op het gebied van duurzame ontwikkeling en ervaring met innovatieve onderwijsmethoden en technologie. De opzet van de module wordt zodanig gemaakt dat docenten hun eigen specifieke nadruk kunnen leggen. De module is beschikbaar voor andere instellingen.

De module gaat in op de achtergronden van duurzame ontwikkeling, de maatschappelijke context, toekomstperspectieven, nieuwe technologieën, technologische verandering, duurzaam ondernemen, ontwerpen en voorbeelden van duurzame innovaties. (Heideveld 2001)

### Technologie en Duurzaamheid

De basiscursus 'Technologie en Duurzaamheid' vormt het startpunt voor studenten werktuigbouwkunde aan de Technische Universiteit Eindhoven. Dit volledig multimediale zelfstudievak (80 studiebelastingsuren) is verplicht voor derdejaars studenten. Andere faculteiten van de universiteit bieden varianten van het vak aan.

Lex Lemmens is directeur van het expertisecentrum Technologie voor Duurzame Ontwikkeling van de TU Eindhoven. Hij is één van de docenten voor het vak Technologie en Duurzaamheid bij werktuigbouwkunde. 'Het onderwijs in duurzaamheid is gestart als keuzevak. Het bleek een aantrekkelijk vak voor studenten. Maar het vak bleef te veel hangen op het aanbieden van lesstof op encyclopedisch niveau. Dat heeft geleid tot de ontwikkeling van het huidige vak 'Technologie en Duurzaamheid'. Dit vak gaat uit van een standaardwerk, aangevuld met duurzaamheidscasussen die aansluiten op het vakgebied. De nadruk op analysemethoden zorgt ervoor dat studenten er zelf mee aan de slag kunnen. Het vak wordt gegeven door TDO-docenten en vakdocenten van de faculteiten en het is een stuk beter te positioneren in de curricula, zoals bij werktuigbouwkunde. Het voldeed ook aan de wens van de opleiding. Voorwaarde voor hen was dat het een technisch vak moest

zijn. Het vak viel dus op zijn plek.' Voor het vak Technologie en Duurzaamheid moeten de studenten vier casussen bestuderen: 'energie uit biomassa', 'de continue variabele transmissie', 'groene polymeren' en 'een duurzame wijk'.

Alle casussen grijpen terug op de stof uit het standaardwerk (zie kader).

#### Inhoud standaardwerk Technologie en Duurzaamheid (TDO 2001b)

- Deel 1** *De basis voor dit vak ligt in deel één. Wat is duurzame ontwikkeling en waarom is dit zo belangrijk geworden? Wat heeft technologie met duurzaamheid te maken? Dit deel schetst de grote lijn van de ontwikkelingen in het denken rondom milieu-problematiek.*
- Deel 2** *Enige kennis van de problematiek is van belang om te begrijpen waarom het werken aan oplossingen belangrijk is. Deel twee licht een aantal belangrijke milieu-problemen toe.*
- Deel 3** *Deel drie geeft van maatschappelijke aspecten zoals economie, menselijk gedrag en maatschappelijke structuren kort weer wat hun rol is bij een duurzame samenleving.*
- Deel 4** *Om aan oplossingen te werken is een analyse van de situatie vaak noodzakelijk. Hiertoe wordt in deel vier een aantal analyse-instrumenten besproken: stroomdiagrammen, massa- en energiebalansen, eenvoudige exergieberekeningen, levenscyclusanalyse, economische analyse m.b.t. haalbaarheid en multicriteria-analyse. De inleiding is voldoende om later tijdens studie of werk de goede methode te kiezen en deze met meer achtergrondinformatie toe te passen.*
- Deel 5** *Deel vijf tenslotte legt de nadruk op het ontwerpproces en schetst een aantal technologische oplossingsrichtingen: dematerialisatie, energiebesparing, recycling, milieubewust ontwerpen, et cetera. Dit deel is eigenlijk het begin van het toepassen in de praktijk. Hierbij is een voortdurende kritische instelling vereist op wat nu eigenlijk duurzaam of duurzamer is.*

## 4.3 Multidisciplinair projectonderwijs

### Integratie in projecten

Han Smits: 'Bij werktuigbouwkunde zou het milieu meegenomen moeten worden in de afwegingen die binnen de vakken gemaakt worden. Dus milieu opnemen in het rijtje maakbaar, economisch haalbaar, technische eigenschappen. Dit moet dan vervolgens terugkomen in projecten. Niet te veel in aparte projecten: als je leert tennis begin je immers ook niet eindeloos met droog oefenen. Je moet het juist leren toepassen in echte projecten. Alleen dan houdt een ingenieur deze houding ten aanzien van duurzaamheid in zijn latere beroepspraktijk vast.'

Mathijs Cuijpers concretiseert dit vanuit zijn ervaringen als student. 'Op dit moment wordt de studenten geleerd om in hun verslagen een foutenanalyse en economische analyse mee te nemen. Dit is gedaan om studenten voor te bereiden op de beroepspraktijk, waar dat ook van hen wordt verwacht. Een duurzaamheidsanalyse zou eigenlijk standaard in dit rijtje thuis horen.'

### Multidisciplinaire projectonderwijs

De multidisciplinaire projecten bieden onderwijs in een bijzondere vorm. Duurzaamheidsproblemen zijn meestal zo complex dat een multidisciplinaire aanpak vereist is. De multidisciplinaire aanpak moet leiden tot echte oplossingen en optimalisaties; door multidisciplinair te werken, kunnen suboptimalisaties vanuit individuele vakgebieden worden voorkomen. Het multidisciplinaire karakter is niet alleen interessant vanuit duurzaamheidsoogpunt, het geeft het projectwerk een geheel nieuw karakter en is een essentiële voorbereiding op de latere beroepspraktijk. Omdat iedere student kennis van zijn eigen vakgebied in moet brengen, zijn deze projecten vooral geschikt om later in de opleiding te programmeren.

Presentatie van milieu en duurzaamheid in deze vorm blijkt redelijk organisch inpasbaar en de onderwijsvorm geeft goede resultaten. Door voor praktische onderwerpen te kiezen, kunnen studenten er zelf mee aan de slag: ze herkennen zich erin en zien het behaalde resultaat. Door studenten bijvoorbeeld te laten meewerken aan een wijk die gerenoveerd wordt, kan je 'scoren' als student, als opleiding én als samenleving.

Het enthousiasme van de studenten en de uitstraling van het project worden vaak nog groter als het project internationaal georiënteerd is. Het biedt ook mogelijkheden om impliciet of expliciet aandacht te besteden aan de Noord-Zuid-problematiek.

Virtuele seminars, emailcontacten, *chatten* en *videoconferencing* bieden nieuwe mogelijkheden. (SME 1998)

Bram de Kraker is opleidingsdirecteur bij werktuigbouwkunde aan de TU Eindhoven. Hij ziet verschillende manieren om mensen voor het onderwerp te interesseren: 'Als je de studenten weet te prikkelen, dan pakken ze je project enthousiast en serieus op. In kan me voorstellen dat we in wedstrijdverband een derdejaars project op kunnen zetten over een biogasmotor. Daar zou je ook een multidisciplinair project van kunnen maken. Een project met een hoge PR-waarde, waar de studenten veel uren en enthousiasme in stoppen. Dat sluit mooi aan bij de *automotive technology*, een sterk punt van Eindhoven. Duurzaamheid ligt hierbij voor de hand en kan op een sterke manier vorm gegeven worden. En met het onderwerp kun je mensen uit de hele faculteit betrekken!'

### Ervaring met multidisciplinaire ontwerpprojecten

Aan de Technische Universiteit Eindhoven worden sinds 1995 multidisciplinaire, duurzame ontwerpopdrachten gegeven. Een groep van vijf tot zeven studenten van minstens drie verschillende faculteiten werkt aan deze projecten. De projecten lopen één of twee trimesters en hebben een omvang van 160-240 studiebelastingen. De opdrachtgevers voor de projecten komen veelal van buiten de universiteit, bijvoorbeeld uit het bedrijfsleven.

De problemen die de studenten krijgen aangereikt, zijn met opzet erg breed geformuleerd, zodat de groep het vraagstuk eerst moet bestuderen en analyseren om te komen tot een werkplan, met duidelijk gedefinieerde doelen en een kloppend tijdschema. Het gaat erom kennis, inzicht en vaardigheden toe te passen, terwijl tegelijkertijd rekening wordt gehouden met de praktijk en de maatschappelijke context. Waar er gebrek aan kennis is, zullen de studenten dit zich deze kennis eigen moeten maken. De groep stuurt het project binnen de gestelde tijdsgrenzen. Het projectwerk vereist een grote mate van initiatiefkracht van de groep.

Dit soort projecten bevatten een onderliggende boodschap: het milieu is niet alleen het veld van klagers en pessimisten, maar juist ook het terrein van probleemoplossers die werken aan verbeteringen. Aan de slag!



Een groep studenten werkt in het kader van een internationaal multidisciplinair project aan het ontwerp, bouwen en testen van een prototype van een Stirlingmotor gekoelde koelkast op zonnecellen. Foto: T.ADRIAANS

## Praktische aanpak

Presentatie van duurzaamheid in multidisciplinaire projecten blijkt, zoals gezegd, inhoudelijk goed inpasbaar. De opzet van multidisciplinaire projecten over verschillende faculteiten heen daarentegen veroorzaakt organisatorisch gezien nogal wat problemen. Immers, meerdere opleidingen moeten overtuigd raken van het nut en in hetzelfde trimester tijd vrijmaken voor zo'n project. Er moet een dag vrij geroosterd worden waarop deze studenten bij elkaar kunnen komen. Er zijn docenten nodig die de organisatie en begeleiding op zich nemen. Over het algemeen zullen dit docenten zijn die zelf gewend zijn monodisciplinair te werken, en vooral overzicht hebben over en contacten binnen de eigen faculteit. Hoe waarborg je de inhoudelijke diepgang van zo'n project en voorkom je dat het een 'knutselprojectje' wordt? Wat te doen met benodigde spullen, materialen en werkplaatsruimte, indien het een ontwerpopdracht betreft?

Bram de Kraker, opleidingsdirecteur Werktuigbouwkunde: 'Voor het opzetten van multidisciplinaire projecten is een goede voorbereiding noodzakelijk. Om een goede inhoudelijke inbreng van de verschillende vakgebieden te garanderen zijn multidisciplinaire docententeams nodig. Ook is de betrokkenheid van de verschillende faculteiten en groepen van groot belang. Je moet een paar enthousiaste docenten uitdagen zoiets te doen. En proberen de hokjesgeest te omzeilen. Je laat die jonge,

enthousiaste docenten uitvogelen en pionieren hoe dat moet met zo'n opdracht.' 'Het centrum Technologie voor Duurzame Ontwikkeling kan hierbij binnen onze universiteit een faciliterende rol spelen bij het samenstellen van de docententeams, de aanpak en de organisatie. Vanuit een bemiddelende rol kan zij de faculteiten naar elkaar toe praten. Als de faculteiten zelf de multidisciplinaire projecten organiseren, bestaat het risico dat ééntje het voortouw neemt en zijn stempel op de opdrachten en de aanpak drukt.'

## Specialisatie en integratie

4 4

### Integratie

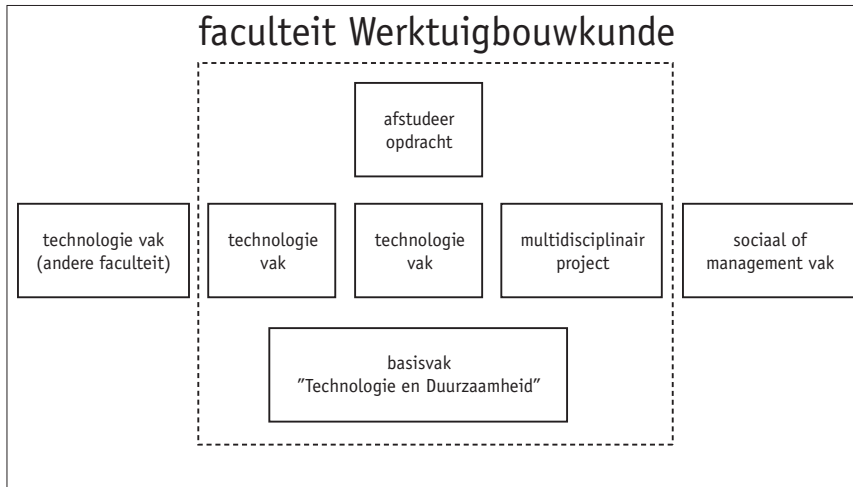
Bij de opleiding Werktuigbouwkunde aan de Technische Universiteit Delft wordt het onderwijs in projectvorm gegeven. De basisstof duurzame ontwikkeling wordt hierin geïntegreerd. (Heideveld 2001) In het eerste jaar wordt een specifiek proces onder de loep genomen. Studenten onderzoeken bijvoorbeeld of en hoe een afvalverbrandingsinstallatie met energieopwekking bijdraagt aan duurzame ontwikkeling.

In het tweede jaar is de opdracht een ontwerp van een warmtekrachtinstallatie of een warmtepompboiler te maken. Studenten geven hun commentaar op enkele definities van duurzame ontwikkeling en stellen hun eigen definitie vast. Ook omschrijven zij duurzame ontwikkelingscriteria, waaraan hun eigen ontwerp vervolgens wordt getoetst. Studenten maken een herontwerp, waarbij alle keuzes opnieuw worden overwogen. Tot slot geven ze advies in hoeverre de door hen ontwikkelde techniek bijdraagt aan de doelstellingen voor duurzame ontwikkeling van de regering.

In het derde jaar ontwerpen studenten de productie en de organisatie rondom een specifiek product, bijvoorbeeld een scooter. De studenten stellen voor het fictieve bedrijf een *Mission Statement* op. Aan het eind van de oefening bekijkt de groep wat van de plannen terecht is gekomen.

Tijdens deze oefening is het doel te bepalen in hoeverre de hele levenscyclus van product en productie voldoet aan criteria voor duurzame ontwikkeling. Maar de studenten kijken ook naar eisen vanuit techniek, economie, ethiek, marketing etc. Het kiezen voor bepaalde eisen, en daarmee het laten vallen van andere, valt de ontwerpende student die streeft naar perfectie, vaak zwaar. De onderlinge verdediging levert dan ook altijd een boeiende en energieke discussiemiddag op.





Figuur 6: Opbouw certificaat-programma Technologie en Duurzaamheid, Technische Universiteit Eindhoven

## Certificaat

De Technische Universiteit Delft en de Technische Universiteit Eindhoven kennen duurzaamheidcertificaten toe aan studenten die zich op dit onderwerp specialiseren. De Raad voor Milieu en Natuuronderzoek (RMNO) vindt de duurzaamheidcertificaten een goede ontwikkeling. (RMNO 2000, in Hengstum 2001) Met zo'n certificaat op zak kan de student aantonen dat hij bijzonder goed is toegerust om vanuit het eigen vakgebied met 'multidisciplinaire' milieu- en (duurzame) energietechnologische vraagstellingen om te gaan. Veel Ingenieurs worden hier steeds vaker mee geconfronteerd.

Op de TU Eindhoven wordt een certificaat toegekend aan studenten die veertien studiepunten aan vakken op milieu- of duurzame energiegebied hebben gevolgd en bovendien ook in de afstudeeropdracht aandacht aan duurzaamheid besteden. Het vakkenpakket kan deels bestaan uit verplichte of keuzevakken van de eigen opleiding. Diepgang in het certificaatprogramma wordt bereikt door verdiepingsvakken, maar ook vooral doordat binnen het afstuderen aandacht aan duurzame ontwikkeling besteed moet worden. Multidisciplinariteit krijgt naast het brede basisvak vooral aandacht in het multidisciplinaire project, waar studenten van meerdere faculteiten in een groep samenwerken. Daarnaast wordt dit verder uitgewerkt doordat de studenten ook een technisch vak buiten de faculteit Werktuigbouwkunde en een beleidsvak moeten volgen. Figuur 6 geeft het certificaatprogramma nog eens schematisch weer. (TDO 2001a)

## De uitdaging: zelf aan de slag

5

De grootste uitdaging, niet alleen voor studenten maar ook voor docenten, is natuurlijk zelf met duurzaamheid aan de slag te gaan. Allereerst wordt er gekeken naar het proces van integratie van duurzaamheid in de opleidingen Werktuigbouwkunde (paragraaf 5.1). Vervolgens wordt aandacht besteed aan onderwijs ondersteunende activiteiten, zoals docententraining en het nut van een kenniscentrum (paragraaf 5.2). En tenslotte in het kort, nogmaals enkele aandachtspunten voor opleidingsdirecteuren, duurzaamheidsspecialisten en docenten die zelf aan de slag willen (paragraaf 5.3).

## Integratie

5.1

### Keuzes maken

De omvang van ieder curriculum blijft beperkt tot de studieduur. Je kunt niet alle leerstof waarvan je vindt dat studenten die nodig hebben, inpassen: er zullen keuzes gemaakt moeten worden. Wil duurzaamheid gedragen worden, dan moet de manier waarop je het in het onderwijsprogramma aanbiedt, aansluiten bij de denkwereld van werktuigbouwers, want anders werkt het niet.

Lex Lemmens is directeur van het centrum Technologie voor Duurzame Ontwikkeling van de Technische Universiteit Eindhoven. Het centrum coördineert en stimuleert de integratie van duurzaamheid in onderwijs en onderzoek. Lemmens licht de keuzes die aan de TU Eindhoven zijn gemaakt toe: 'Aan de TU Eindhoven richten we ons vooral op het vinden van technische oplossingen om de huidige problemen te ondervangen. Denk bijvoorbeeld aan CO<sub>2</sub>-opvang of duurzame energie uit niet-fossiele bronnen. Daar ligt het raakvlak tussen duurzaamheid en de technische vakgebieden, in dit geval de werktuigbouwkunde.' Volgens Lemmens steunt duurzame ontwikkeling weliswaar op drie peilers, de sociale, economische en ecologische met bijbehorende ethische en beleidsmatige vragen. Maar op de TU Eindhoven wordt duurzaamheid vanuit een technische invalshoek benaderd, vanuit de verschillende technische vakgebieden. Lemmens: 'Bij Werktuigbouwkunde kun je nu met iedereen serieus over duurzaamheid praten. En dat was vroeger niet zo. Het succes is er ook aan te danken dat we nadrukkelijk hebben gesteld dat de opleidingen vakopleidingen moeten blijven, dus niet te veel verbreden met allerlei aspecten van duurzaamheid.'

Stap:	Actor:	Draagvlak bij:
1 Mission statement hogeschool of universiteit	Management hogeschool of universiteit	Hogeschoolraad, universiteitsraad
2 Beleidsplan faculteit / opleidingsfilosofie	Management faculteit	Docenten
3 Beroepsprofiel / beroepskwalificaties	Hoofd opleiding / docenten	Beroepenveld
4 Eindtermen en onderwijskundig plan opleiding	Hoofd opleiding / docenten	Studenten
5 Leerdoelformulering en uitwerking in vakken / modules	Docenten	Studenten
6 Evaluatie en zelfevaluatie rapporten	Hoofd opleiding	Docenten, beroepenveld

Tabel 1: Stappen gericht op integratie duurzaamheid in onderwijs (SME 1998)

Bram de Kraker, de opleidingsdirecteur bij werktuigbouwkunde, bevestigt het belang van deze technologisch gerichte invalshoek. ‘Studenten hebben de instelling: niet spelen met de stof, maar doen. Laat ze een model maken en narekenen. Ze hebben vrij snel een negatief oordeel. Duurzaamheid moet daarom terugkomen in een goed vak en stevig getentamineerd worden. Als het tentamen van zo’n vak niks voorstelt, wordt het vak zelf ook niet serieus genomen. Deze mentaliteit van de werktuigbouwers werkt soms negatief, doordat ze oogkleppen op hebben. Maar het is ook het sterke punt van de werktuigbouwers: ze zijn doel- en oplossingsgericht!’

### Actoren en acties

Milieu en duurzaamheid integreer je niet zomaar in een opleiding. Je moet een plek veroveren in de gevestigde orde, collega’s en bestuurders mee krijgen en uiteindelijk tevreden studenten afleveren. Het vergt een stapsgewijs veranderingsproces waarbij naast de inzet van en het draagvlak onder de medewerkers, ook de stimulerende rol van het management en de milieugeoriënteerde omgeving waarin de opleidingen zich bevinden van groot belang zijn (zie tabel 1).

Joop Ouwehand is projectleider Duurzame Energie van de Saxion Hogescholen. ‘Duurzaamheid is een onderwerp, dat nog veel te weinig leeft in het denken en handelen van docenten. Op managementniveau wordt het alleen met de mond beleend. Vaak heeft men ook gewoon niet de ruimte (tijd, personeel, financieel) en

worden er zoveel eisen van buitenaf aan de opleidingen gesteld, dat de prioriteiten anders liggen. Dat verklaart wellicht waarom het aspect duurzaamheid zo moeizaam in opleidingen wordt geïmplementeerd.’

Ludi Dejong vertelt hoe die integratie bij de Hogeschool Brabant is gegaan. ‘Duurzaamheid is momenteel directiebeleid, dat er op gericht is om 2 studiepunten per jaar per opleiding aan duurzaamheid te besteden. Dit is een uitvloeisel van het Cirrusproject en het Handvest Duurzaamheid HBO. In de projectgroep Cirrus zijn een aantal enthousiaste mensen verzameld. Maar duurzaamheid is pas echt van de grond gekomen vanaf het moment dat er een docententaining is georganiseerd. Dit heeft ertoe geleid dat veel docenten intrinsiek gemotiveerd zijn geraakt voor duurzaamheid.’

### Hoe te integreren?

Han Smits, oud-opleidingsdirecteur van werktuigbouwkunde aan de TU Eindhoven: ‘Hoe je de integratie van duurzame ontwikkeling voor elkaar krijgt? Ja, als we dat eens wisten... Het is een kwestie van een lange adem. Mensen met vuur ermee aan de slag laten gaan, en hopen dat ze wat van hun enthousiasme kunnen uitdragen. Je moet dus mensen mobiliseren met affiniteit voor het onderwerp. En dan hopen op het ‘zwaan-kleef-aan-principe’. Want niet iedereen gaat in hetzelfde tempo mee. Je moet duurzaamheid regelmatig op de agenda zetten door het in veel activiteiten aan bod te laten komen: symposia, artikelen, sprekers, activiteiten, et cetera.’



Symposia, excursies, constructiewedstrijden, nieuwsbrieven en publicaties kunnen er toe bijdragen dat docenten en studenten zich meer open opstellen ten aanzien van duurzame technologie. (Foto: TDO)

Smits: 'Als docenten meewerken, zou je opleidingen of vakken kunnen doorlichten op duurzame ontwikkeling. Een soort van interne visitatie. Je gaat met mensen praten en kijkt wat er gebeurt. Op basis daarvan kun je dan de opleidingen een spiegel voorhouden, een aantal goede en minder goede punten noemen, en komen met suggesties voor verbeteringen.'

Bram de Kraker, de opvolger van Han Smits, vult aan: 'De werktuigbouwkunde-ingenieurs staan nationaal en internationaal hoog aangeschreven, krijgen blijkbaar ook een goed stuk academische vorming mee. Maar misschien zijn niet alle duurzaamheidsaspecten al zichtbaar. Zelfreflectie kan in dat verband geen kwaad. Misschien kom je dan wat witte vlekken tegen.'

Lex Lemmens: 'Een deel van het onderwijs aan universiteiten heeft een sterke koppeling met het lopend onderzoek. Wil je duurzaamheid integreren in het onderwijs, dan zul je het dus ook moeten integreren in je onderzoek. Er wordt bij werktuigbouwkunde onderzoek gedaan naar energiebesparing, biomassa, hybride zonnecellen, brandstofbesparing bij auto's en de ontwikkeling van polymeren die beter te recyclen zijn. Deze onderzoekers draaien mee in de gewone, sterke onderzoeksscholen. Ze laten zien dat je duurzaamheid kan integreren, en zijn daarmee een praktijkvoorbeeld voor de studenten. Studenten en docenten raken zo ook meer vertrouwd met duurzaamheid.'

### Basisvak als startpunt

Over het algemeen wordt de invoering van een basisvak over duurzaamheid in een werktuigbouwcurriculum gezien als een doel op zich, soms zelfs als een geslaagde vorm van integratie. In Eindhoven is dat niet het geval. Daar geldt het basisvak slechts als een eerste stap, wellicht zelfs een middel om verder te komen.

Lex Lemmens: 'De docenten van de faculteiten zijn enthousiast over het basisvak. Nou, dat is misschien iets te veel gezegd. Ze pikken de visie op dat integratie van duurzaamheid mogelijk en nodig is, een gevoel dat ook bij de studenten gaat leven. Dit is door 'Technologie en Duurzaamheid' gerealiseerd. Van daaruit kan de integratie van duurzaamheid verder groeien, als een kleine olievlek. Studenten gaan zich afvragen waarom duurzaamheid niet in de rest van de opleiding terugkomt. Zo wordt op de faculteit een klimaat geschapen dat kansrijker is voor een succesvolle integratie.'

## Onderwijs ondersteunen

5.2

### Docententraining

Docenten spelen een cruciale rol bij de integratie van duurzaamheid. Immers, zij zijn degenen die de vakken gaan geven en mede vorm geven aan het gehele onderwijsprogramma. In de uitgangssituatie hebben de docenten veel kennis van hun eigen specialisme, maar weinig van duurzaamheid. Om integratie te laten slagen, zul je deze docenten enthousiast moeten maken en ze kennis van duurzame ontwikkeling moeten bijbrengen.

Op de TU Eindhoven is het zoeken naar raakvlakken met duurzaamheid, een op de persoon toegespitste bezigheid. Lex Lemmens: 'Je komt in gesprek met vakdocenten. Door vanuit twee optieken - die van de duurzaamheidsdocent en die van de vakdocent - te praten over kenmerken en ontwikkelingen in het vakgebied, identificeer je samen zinvolle duurzame ontwikkelingen. En die werk je dan samen verder uit. Zo'n tweegesprek is noodzakelijk om de relaties met duurzaamheid te definiëren. De duurzaamheidsdocenten brengen daarbij niet alleen kennis in, maar ook de multidisciplinaire aanpak van problemen. Wetenschappelijke disciplines zijn namelijk erg monodisciplinair georiënteerd en gericht op het eigen vakgebied.'

Expertiseopbouw bij het personeel is ook een belangrijk projectdoel van Project Cirrus van de Hogeschool Brabant. De leden van het projectteam zijn diepgaand geschoold met betrekking tot duurzame ontwikkeling en duurzame technologie in de volle breedte, alsmede specialistisch gericht op de eigen vakgebieden. Hierdoor is binnen de faculteit een expertisecentrum ontstaan. Ook is er de mogelijkheid voor docenten tot diepgaande scholing, bijvoorbeeld een cursus Duurzame Energie verzorgd door deskundigen van het Energieonderzoekcentrum Nederland (ECN) en Shell Solar. (Heideveld 2001)

Daarnaast is er basisscholing van het gehele personeel van de faculteit Techniek en Natuur. Ludi Dejong: 'De docententraining besloeg twee dagen. De eerste dag was een inleiding op duurzaamheid. Hierbij werd aan de hand van de *Elektrolux-case* gekeken hoe een bedrijf duurzaamheid oppakt. Dit is gedaan om te laten zien dat duurzaamheid niet alleen iets is van alternatievelingen, maar dat het ook wordt opgepakt door 'normale', grote bedrijven waar technenuten werken. Het was echt een *eye opener* voor de docenten. De tweede dag werd gekeken naar integratie van duurzaamheid in het onderwijs. Dit was een stuk lastiger. De docenten zijn dan al wel om, maar het vertalen naar het eigen vakgebied is nog lastig.'

'We zijn nu bezig met het vullen van *toolboxes* ofwel kennismagazines voor het tweede, derde en vierde jaar. Deze *toolboxes* bevatten lesstof en verwijzingen naar boeken over duurzaamheid. Ze zijn een handreiking naar de docenten die gespecialiseerde duurzaamheidvakken gaan geven, of die duurzaamheid in hun vak willen integreren.'

### Kenniscentra

De Technische Universiteit Eindhoven kent het centrum Technologie voor Duurzame Ontwikkeling, de Technische Universiteit Delft kent de projectgroep Onderwijs Duurzame Ontwikkeling en de Hogeschool Brabant heeft de projectgroep Cirrus. Wat is de meerwaarde van dergelijke centra en projectgroepen?

Om duurzaamheid herkenbaar terug te laten komen aan de TU Eindhoven, besloten de faculteiten om het centrum TDO op te richten. Het centrum biedt een deskundigheid, die bijvoorbeeld geleverd wordt bij het opzetten van vakken. De TDO-docenten kunnen daar gemakkelijker tijd voor vrijmaken dan de meeste andere docenten. En ze hebben nadrukkelijk ook een enthousiasmerende rol. Daarnaast stimuleert het centrum duurzaamheid in onderzoek door het beschikbaar stellen van centrale onderzoeksgelden. Door symposia, publicaties, excursies, bijzondere projecten en een nieuwsbrief worden studenten en docenten meer gericht op duurzaamheid. Zo wordt geprobeerd de maatschappelijke vraagstelling te accentueren, zodat het voor studenten en docenten duidelijker wordt wat er speelt. Het gevaar van ieder ondersteunend centrum is, dat veranderingen te zeer gedragen worden door de enthousiaste mensen in het centrum en te weinig door de docenten uit de opleidingen. Daarom is verankering in de faculteiten noodzakelijk. Op de TU Eindhoven is dat goed gelukt door verantwoordelijkheid voor duurzaamheidsonderwijs samen te delen, en door het duurzaam onderzoek dat op de faculteiten plaatsvindt.

Een andere vorm van een 'kenniscentrum' is het landelijke netwerk Duurzame Ontwikkeling in het Hoger Onderwijs. Hierin werken medewerkers van vele instellingen samen om informatie uit te wisselen, om dubbel werk te voorkomen en om samen nieuwe kennis te ontwikkelen voor duurzaam hoger onderwijs. Specifieke werkgroepen richten zich op projecten die op individuele instellingen moeilijker van de grond komen, zoals uitwisselingsprojecten Noord-Zuid en interdisciplinaire projecten.

Het Steunpunt Duurzaamheid HBO richt zich op ondersteuning bij de uitvoering van het Handvest Duurzaamheid HBO. Ambities liggen op het vlak van verbreding van deelname en draagvlak, projectmatige samenwerking, het versterken van de financiële basis van projecten, kwaliteitsverbetering en meetbaarheid.

## Zelf aan de slag!

5.3

Deze vakreview is een verkenning van de relatie tussen duurzaamheid, het vakgebied van de werktuigbouwkunde en het onderwijs hierin. Hoofdstuk twee en drie hebben laten zien waar de raakvlakken liggen tussen duurzaamheid en werktuigbouwkunde. Hoofdstuk vier en vijf laten zien hoe en waar docenten er in geslaagd zijn duurzaamheid op een leuke en inhoudelijke manier te integreren in het onderwijs. Hieronder zijn kort nogmaals enkele aandachtspunten aangestipt voor opleidingsdirecteuren, duurzaamheidspecialisten en docenten die zelf aan de slag willen.

De HBO-instellingen en de universiteiten hebben zich in het Copernicus-handvest en het Handvest Duurzaamheid HBO gecommitteerd aan de doelstelling zelf met duurzaamheid aan de slag te gaan. Deze instellingen zullen dus op de een of andere manier tijd, geld, mankracht en expertise vrij moeten maken, om dit meer te laten zijn dan een loze belofte.

Om voldoende relevantie voor opleidingen Werktuigbouwkunde te behouden en niet te ver van de belevingswereld van werktuigbouwers af te raken, kan duurzame ontwikkeling vanuit een technische invalshoek worden benaderd. Serieuze integratie van duurzaamheid in het onderwijsprogramma vereist dat het ook terugkomt in de eindtermen. Bij het opstellen van de eindtermen moet nagedacht worden over de competentie: wat moeten studenten leren en kunnen. Dit moet dan vervolgens doorvertaald worden naar het onderwijsprogramma en individuele vakken. Door nadruk te leggen op analysemethoden en methodieken, en deze kennis te laten toepassen in projecten, maakt de student zich een werkmethode eigen die hij kan toepassen in zijn latere beroepspraktijk. Drie belangrijke aspecten hierbij zijn:

1. een inleidend vak, waarin de problematiek van duurzaamheid en de relatie met technologie wordt geschetst;
2. een multidisciplinair project waarin studenten leren een probleem multidisciplinair aan te pakken en samen te werken; duurzaamheidsproblemen en -oplossingen overschrijden in hun reikwijdte immers vaak de grenzen van bestaande vakgebieden;
3. verdieping of specialisatie in duurzaamheid, bijvoorbeeld in de vorm van casussen, projecten, aparte vakken, integratie in bestaande vakken, afstudeer-richtingen of een certificaatprogramma.

Het integreren van duurzaamheid in een opleiding is een veranderingsproces waarbij veel verschillende partijen betrokken zijn: de onderwijsinstelling, de opleiding, de beroepsmarkt, docenten, studenten, etc. Iedere partij kan hierin op zijn eigen manier een rol vervullen en de andere partijen proberen mee te krijgen.

Het makkelijkst is het te beginnen bij docenten die geïnteresseerd zijn in duurzaamheid, of bij docenten uit vakgebieden met een sterke relatie met duurzaamheid. Een logische vervolgvraag is dan of het gehele vakgebied wordt afdekt, en zo nee, dan te zoeken naar manieren om dat te bereiken.

Integratie is een kwestie van lange adem. Het gaat erom mensen met affiniteit voor het onderwerp aan de slag laten gaan, en hopen dat ze met hun enthousiasme iets op gang weten te brengen en resultaten kunnen uitdragen. Ook kun je een interne visitatie of evaluatie houden als de opleiding daarvoor open staat. Laat duurzaamheid bovendien in veel activiteiten terugkomen: artikelen in het faculteitsblad, symposia, excursies, et cetera. Ga binnen de opleiding de discussie aan, bijvoorbeeld aan de hand van dit boekje, een studiedag, een docentenscholing of een capita selecta over duurzaamheid en werktuigbouwkunde. Voor universiteiten, waar een belangrijk deel van het onderwijs op onderzoek is gebaseerd, is het van belang duurzaamheid ook in het onderzoek te integreren of een plaats te geven.

Om het draagvlak voor duurzaamheid onder studenten en docenten te vergroten kan gewezen worden op de vraag vanuit en ervaring in de beroepspraktijk. Voorbeelden zijn te vinden in gepubliceerde casestudies (artikelen, boeken, folders overheid), vakliteratuur, milieujaarverslagen van bedrijven en op de webpagina's van deze bedrijven.

Bij zowel onderwijs als onderzoek is het van belang dat duurzaamheid niet alleen terugkomt in een aparte onderzoeksschool, werkgroep of kenniscentrum. Immers, dan is van integratie in de opleiding geen sprake en het risico dat duurzaamheid weer uit de opleiding wordt gegooid, is dan een stuk groter.

Docenttraining is van belang voor deskundigheidsbevordering. Wellicht kan deze vakreview daarbij een rol spelen. Eigenlijk zouden alle docenten werktuigbouwkunde moeten weten wat duurzaamheid inhoudt en waar raakvlakken liggen met het eigen vakgebied. Voor integratie in vakgebieden kan individuele begeleiding van de vakdocent door een duurzaamheidexpert gewenst zijn. Naast deskundigheidsbevordering kan de training ook helpen vooroordelen weg te nemen ('duurzaamheid is alternatief') en de docenten te enthousiasmeren.

Als je als docent aan de slag wilt om je eigen vakken te verduurzamen, kan het handig zijn contact te zoeken met mensen die in een vergelijkbare positie zitten, om ervaring te delen, kennis op te doen en onderwijsmateriaal uit te wisselen. Dit om te voorkomen dat je zelf opnieuw het wiel gaat uitvinden. Achter in dit boekje is een lijst met contactpersonen van verschillende instellingen opgenomen. Een bijzondere plaats hierbij nemen het Netwerk Duurzame Ontwikkeling in het Hoger Onderwijs en Steunpunt Duurzaamheid HBO in, aangezien dit overkoepelende netwerkgroepen zijn. Succes ermee! Want de integratie van duurzame ontwikkeling in de opleidingen en succesvol duurzaamheidsonderwijs kan alleen vorm krijgen, als je er daadwerkelijk mee aan de slag gaat.

## Aanbevolen literatuur en websites

- Billatos, S.B., Basaly, N.**, 1997, *'Green technology and design for the environment'*, Taylor & Francis.
- Boersema, J.J., Copius Peereboom, J.W., de Groot, W.T.** (ed's), 1991, *'Basisboek Milieukunde'*, Boom.
- Bor, A., Blom, G.**, 1997, *'Introductie Milieubewuste Productontwikkeling'*, European Design Centre, Eindhoven.
- Burall, P.**, 1996, *'Product development and the environment'*, the Design Council, Gower.
- Centrum voor Milieukunde Leiden (CML)**, 1995a, *'LCA voor beginners, Handleiding milieugerichte levenscyclusanalyse'*, NOH nummer 9509.
- Charter, M., U. Tischner**, 2001, *'Sustainable Solutions. Developing products and services for the future.'*, Greenleaf Publishing Limited, Sheffield.
- De Ron, A. J.**, 1999, *'Duurzame productie'*, Lemma, Utrecht.
- EEE netwerk (European Society for Engineering Education)**, *'ENTREE conferenties' (Environmental Training in Engineering Education)*.
- Interdepartementaal Onderzoekprogramma Duurzame Technologische Ontwikkeling (DTO)**, 1997, *'DTO Visie'*, Uitgeverij ten Hagen & Stam, Den Haag.
- Janssen, L.**, 1994, *'The Environment: Towards a Sustainable Future'*, Dutch Committee for Long-Term Environmental Policy (ed.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Kotas, T.J.**, 1995, *'The exergy method of thermal plant analysis'*, Kreiger Publishing company, Malabar, Florida, (appendix A).
- Lewis, H., J. Gertsakis**, 2001, *'Design + Environment. A global guide tot designing greener goods.'*, Greenleaf Publishing Limited, Sheffield.
- Kroonenberg, van den, H.H.**, 1994, *'Duurzaam ontwerpen'*, ECN.
- Kroonenberg, van den, H.H. & F.J. Siers**, 1992, *'Methodisch ontwerpen: ontwerpmethoden, voorbeelden, cases en oefeningen'*, Educaboek, Culemborg.
- Quakernaat, J. et al.**, 1994, *'Poly-Milieu Zakboekje'*, Koninklijke PBNA.
- Riele, H. & A. Zweers**, 1994, *'Eco-design: acht voorbeelden van milieugerichte productontwikkeling'*, Promise, TNO Produktcentrum, Delft / NOTA, Den Haag.
- Syntens**, 1999, *'EcoDesign Inspiratie. Innoveren met product en milieu.'*
- Szargut, J., e.a.**, *'Exergy analysis of thermal, chemical and metallurgical processes'*, Hemis Phere Publishing Corporation, New York (z.j.).
- The Regency Corporation Limited**, 1998, *'Sustainable Business. Economic development and environmentally sound technologies'*, London.
- Thumann, A.**, 1995, *'Handbook of energy audits'*, The Fairmont press, Lilburn, 1995.
- Weterings, R.A.P.M., J.B. Opschoor**, 1992, *'De milieugebruiksruimte als uitdaging voor Technologieontwikkeling'*, RMNO.
- VROM (ministerie)**, 2001, *'Nationaal Milieubeleidsplan 4'*.



## Aanbevolen websites

<a href="http://www.knmi.nl">www.knmi.nl</a>	(klimaatverandering)
<a href="http://www.minvrom.nl">www.minvrom.nl</a>	(milieu en afvalbeleid)
<a href="http://www.rivm.nl">www.rivm.nl</a>	(kenniscentrum milieu)
<a href="http://www.ecn.nl">www.ecn.nl</a>	(energieonderzoek)
<a href="http://www.minez.nl">www.minez.nl</a>	(energiebeleid)
<a href="http://www.pre.nl">www.pre.nl</a>	(ecodesing tools)
<a href="http://www.o2.org">www.o2.org</a>	(duurzaam ontwerpen)
<a href="http://www.duurzame-energie.nl">www.duurzame-energie.nl</a>	(projectbureau duurzame energie)
<a href="http://www.milieu.pagina.nl">www.milieu.pagina.nl</a>	
<a href="http://www.duurzaamondernemen.pagina.nl">www.duurzaamondernemen.pagina.nl</a>	
<a href="http://www.duurzame-energie.pagina.nl">www.duurzame-energie.pagina.nl</a>	
<a href="http://www.recycling.pagina.nl">www.recycling.pagina.nl</a>	

## Geraadpleegde literatuur

- Coördinatiecommissie doelgroepen (CCDM)**, november 2000, *'Emissies en afval in Nederland. Jaarrapport 1998 en ramingen 1999'*, rapportagereeks doelgroep-monitoring, nr. 6, Hoofinspectie Milieuhygiëne, Den Haag.
- Duurzaam hoger onderwijs**, 04-02-2002, [www.dho21.nl](http://www.dho21.nl).
- Dankelman, I.**, 20-08-2002, *'Projectaanvraag Docenten Verdiepen Duurzame Ontwikkeling: Nieuwe uitdagingen van de 21e eeuw'*.
- Dommelen, B.v., M. Thieleman**, 07-07-2001, *'We worden gestraft voor onze openheid'*, Algemeen Dagblad.
- Heideveld, A., R. Wemmenhove, H.v. Zonneveld**, 2001, *'Duurzaam Hoger Onderwijs 2001'*, Universiteit van Amsterdam.
- Hengstum, G.v.**, 2001, *'Biologie & Duurzame Ontwikkeling'*, Netwerk Duurzaam Hoger Onderwijs en UCM/KUN, Nijmegen.
- Hogeschool Brabant**, *'Cirrus. Duurzaam denken: het nieuwe accent in de ingenieursopleidingen'*, Faculteit Techniek & Natuur, Hogeschool Brabant (brochure).
- Keating, M.**, 1993, *'The Earth Summit's Agenda for Change'*, Centre for Our Common Future, Geneva, Switzerland.
- Korobitsyn, M.A.**, 1998, *'New and advanced energy conversion technologies. Analysis of cogeneration, combined and integrated cycles.'*, proefschrift Universiteit Twente.
- Lambert, A.D.J.**, *'Massa- en energiestromen'*, in: *'Handboek arbeids- en milieuveiligheid'*, editor H. Hekman.
- Meijer, H.**, 2002, *Conclusie bij case 'Vezelversterkte polymeren' voor studenten werktuigbouwkunde, op de CD-ROM bij het vak 'Technologie en Duurzaamheid'*, TU Eindhoven, Eindhoven.
- NRC Handelsblad**, 03-09-2001, *'Shell: duurzame wereld nog droom'*.
- Persson, M.**, 13-12-2001, *'Ethiek is geen cursus christelijke moraal. Professors in discussie over techniek, ingenieurs en ethiek.'*, Cursor 14, jaargang 44.
- Royal Philips Electronics**, februari 2002, *'Environmental Report 2001'*, Eindhoven.
- Sanio, M.R.**, 19-01-2002, *'Role and Contributions of the International Scientific and Technological Community (IS&TC) To Sustainable Development. Preparatory Process for the World Summit for Sustainable Development - initial working draft number 4'*.
- SME MilieuAdviseurs, H. Lans, J.P de Vos**, 1998, *'Duurzame ontwikkeling in het hoger onderwijs. Milieuprijs Hoger Onderwijs 1998.'*, TH&MA reeks, Elsevier bedrijfsinformatie.
- TDO**, 1999, *'Speerpunten onderzoek Technologie Duurzame Ontwikkeling'*, TU Eindhoven, Eindhoven.

- TDO**, 2000, *'In dialoog met de samenleving'*, TU Eindhoven, Eindhoven.
- TDO**, 2001a, *Technologie Duurzame Ontwikkeling onderwijsbrochure'*, TU Eindhoven, Eindhoven.
- TDO, 2001b**, *'Technologie en duurzaamheid'*, dictaat TU Eindhoven, Eindhoven.
- TU Eindhoven**, maart 1997, *'Concurreren en samenwerken, strategische schetsen an de Technische Universiteit Eindhoven'*, Eindhoven.
- TU Eindhoven**, 2001, 'Opleidingsgids Werktuigbouwkunde', Eindhoven.
- Venselaar, J., N. Roorda**, 20-02-2002, 'Duurzaamheids gericht hoger onderwijs', [www.projectcirrus.net](http://www.projectcirrus.net).
- Weterings, R.A.P.M., J.B. Opschoor**, 1992, *'De milieugebruiksruimte als uitdaging voor technologie ontwikkeling'*, RMNO.
- World Commision on Environment and Development** (WCED, ook wel de 'Brundtlandcommissie' genoemd), 1987, *'Our common future'*, Oxford, Oxford University Press.
- World Resource Institute**, 1997, *'Resource flows: the material basis of industrial economies'*, World Resource Institute, Washington D.C.

## Interviews en citaten

### Geïnterviewden

- Thijs Adriaans**, *Technische Universiteit Eindhoven*, zesdejaars student Werktuigbouwkunde, *Energy, process and combustion technology*.
- Mathijs Cuijpers**, *Technische Universiteit Eindhoven*, vijfdejaars student Werktuigbouwkunde *Dynamics and Control*.
- Prof. ir. Kees Daey Ouwens**, *Technische Universiteit Eindhoven en Energieonderzoek Centrum Nederland*, emeritus hoogleraar duurzame energie, faculteit Werktuigbouwkunde.
- Ir. Han Smits**, *Technische Universiteit Eindhoven*, voorheen opleidingsdirecteur faculteit Werktuigbouwkunde.
- Dr. ir. Lex Lemmens**, *Technische Universiteit Eindhoven*, directeur centrum Technologie voor Duurzame Ontwikkeling en docent.
- Ing. Ludi Dejong**, *Hogeschool Brabant*, docent en projectgroeplid Cirrusproject.
- Dr. ir. Bram de Kraker**, *Technische Universiteit Eindhoven*, opleidingsdirecteur faculteit Werktuigbouwkunde.
- Ir. Joop Ouwehand**, *Saxion Hogescholen*, projectleider Duurzame Energie.
- Dr. A. de Groene**, *Hogeschool Zeeland*, lector duurzaamheid.

## Citaten

In deze vakreview zijn diverse personen geciteerd die aan het woord komen in publicaties van derden (zie lijst geraadpleegde literatuur). Voor de volledigheid een kort overzicht van de geciteerde personen:

**Prof. dr. ir. Han Meijer**, *Technische Universiteit Eindhoven*,  
hoogleraar Polymeertechnologie, faculteit Werktuigbouwkunde

**Ir. Jeroen van der Veer**, *Koninklijke/Shell groep*,  
bestuursvoorzitter, heeft werktuigbouwkunde gestudeerd aan de TU Delft

**Ir. Edwin Klompen**, *Technische Universiteit Eindhoven*,  
promovendus *Materials Technology*, faculteit Werktuigbouwkunde

**dr. ir. Douwe de Vries**,  
volgde de ontwerpersopleiding *Computational Mechanics* waarna hij is gepromoveerd aan de faculteit Werktuigbouwkunde van de Technische Universiteit Eindhoven

**dr. ir. Frans Veldpaus**, *Technische Universiteit Eindhoven*,  
onderzoeker *Control Systems Technology*, faculteit Werktuigbouwkunde

## Contactadressen

### Netwerk Duurzame Ontwikkeling in het Hoger Onderwijs

Hans van Zonneveld (voorzitter)  
tel. 020 - 525 6234  
jzonneve@science.uva.nl  
www.dho21.nl

### Steunpunt Duurzaamheid HBO

Jur de Vos  
030 - 288 1074  
steunpunt@sme.nl  
www.sme.nl

### Technische Universiteit Delft

Karel Mulder  
tel. 015 - 278 1043  
K.F.Mulder@tbm.tudelft.nl  
www.odo.tudelft.nl

### Technische Universiteit Eindhoven

#### Centrum Technologie voor Duurzame Ontwikkeling

Lex Lemmens  
tel. 040 - 247 4463  
tdo@tue.nl  
www.tue.nl/tdo  
www.tue.nl/tdo/lespakket (multimedia basis cursus)

### Hogeschool Brabant / Project Cirrus

Jetty Somers  
tel 013 - 595 8108  
J.Somers@projectcirrus.net  
www.projectcirrus.net

### Factor 5 / Oriëntatiemodule Duurzame Ontwikkeling Open Universiteit Nederland

Wilfried Ivens  
Wilfried.Ivens@ou.nl



