

Redevoeringen

dies natalis

46ste DIES NATALIS

30 november 2007

De millenniumdoelstellingen
Prof.dr. W.H.M. Zijm

In het brandpunt van energie
Prof.dr.ir. J.A.M. Kuipers



Universiteit Twente
de ondernemende universiteit

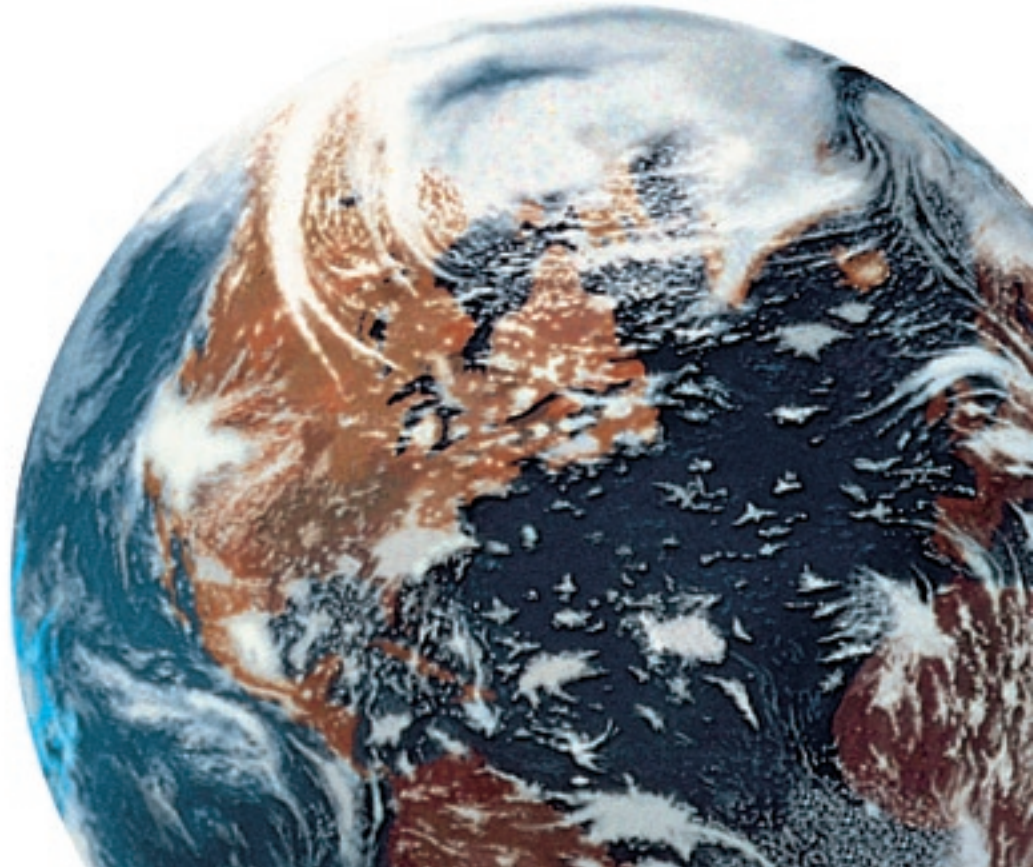


De millenniumdoelstellingen

Prof.dr. W.H.M. Zijm, Rector Magnificus Universiteit Twente

46ste DIES NATALIS

30 november 2007



In 2000 ondertekenden regeringsleiders van 189 landen een document waarin acht concrete doelstellingen werden vastgelegd, gericht op een halvering van de armoede in de wereld vóór 2015. Die afspraken zijn bekend geworden als de millenniumdoelstellingen.

- 1 > *Eradicate extreme poverty and hunger*
- 2 > *Achieve universal primary education*
- 3 > *Promote gender equality and empower women*
- 4 > *Reduce child mortality*
- 5 > *Improve maternal health*
- 6 > *Combat HIV/AIDS, malaria and other diseases*
- 7 > *Ensure environmental sustainability*
- 8 > *Develop a global partnership for development*

De onderwerpen waren niet nieuw; nieuw was vooral dat voor het eerst een afspraak werd gemaakt met concrete, meetbare doelen, met elk jaar een voortgangsrapportage op internationaal niveau.

Nederland was één van die 189 landen. Ook de Nederlandse regering onderschreef die doelen. En nu, halverwege 2015, moet geconstateerd worden dat er op sommige terreinen vooruitgang is geboekt en dat de bewustwording van de problematiek is toegenomen, onder meer door de uitreiking van twee Nobelprijzen, maar ook dat veel landen achterlopen op schema. Om die reden heeft een aantal organisaties

in Nederland beloofd zich gezamenlijk in te spannen om alsnog de millenniumdoelstellingen zoveel mogelijk waar te maken. Die organisaties waren de VSNU (namens de gezamenlijke Nederlandse universiteiten), NWO-WOTRO (de organisatie voor Science for Global Development van NWO), de KNAW, het samenwerkingsverband van de Nederlandse Internationale Onderwijsinstellingen SAIL (onder aanvoering van het Enschedese ITC), de ministeries van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen, van Ontwikkelingssamenwerking en van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, en anderen. Die laatste afspraak kreeg zijn beslag met het Akkoord van Schokland dat vooral in het nieuws is gekomen vanwege de wijze waarop het ermee gepaard gaande evenement was aanbesteed. Dat het inhoudelijk ook nog ergens over ging werd door de meeste media of in een voetnoot vermeld of geheel genegeerd.



In haar brief van september 2005 aan de Tweede Kamer der Staten-Generaal schetste de toenmalige minister van Ontwikkelings-samenwerking mevrouw Van Ardenne de hoofdlijnen van het vernieuwde onderzoeksbeleid ter zake, een programma met als titel "Onderzoek in Ontwikkeling". Specifiek gaf zij aan, dat er bij de zogeheten partnerlanden in het Nederlandse ontwikkelingsbeleid veel belangstelling bestaat voor Nederlandse kennis op de gebieden landbouw, water en gezondheid, alsmede voor de ontwikkeling van technologie gericht op *environmental sustainability* (milieu en energie), thema's die recent ook in een onderzoeksrapport van het Amerikaanse Congres, alsmede door de huidige Nederlandse bewindsvoerder bij de Wereldbank, Herman Wijffels, werden benadrukt. De notitie van mevrouw Van Ardenne vormde de aanleiding tot een gesprek tussen de VSNU en het ministerie van Ontwikkelingssamenwerking. Eén van de kernthema's in dat gesprek was het slaan van een brug tussen het vele goede onderzoek aan universiteiten enerzijds, en deze ontwikkelingsdoelstellingen anderzijds. Immers, traditioneel is veel onderzoek op het terrein van de ontwikkelingsproblematiek nogal op zichzelfstaand, met het onderzoek van Wageningen Universiteit en Research (WUR) als goede uitzondering. Anderzijds bereiken veel onderzoeksresultaten op het gebied van de gezondheidszorg, maar ook op gebieden als logistiek of bijvoorbeeld de water- en energieproblematiek tot op de dag van vandaag landen met een ernstig

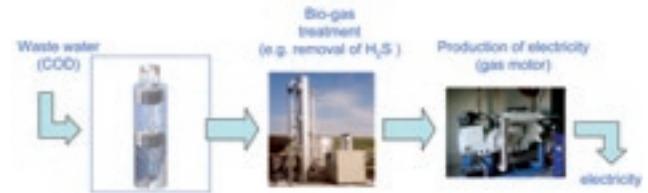
armoedeprobleem niet: niet alleen door een gecompliceerde politieke situatie, maar ook omdat partijen over en weer eenvoudigweg geen weet hebben van elkaars kennis.

Toch zijn de problemen er ernstig genoeg voor; we leven op een tijdbom, zoals onder meer Lester Brown, directeur van het Earth Policy Institute, niet zo lang geleden betoogde. Denk alleen al aan demografische en ecologische ontwikkelingen (10 miljard mensen in 2050) of aan zaken als vrede en veiligheid. Dat van de zes en een half miljard bewoners op deze aarde 1,2 miljard (bijna 20%) geen toegang tot veilig drinkwater heeft, en 2,6 miljard (meer dan 40%) geen adequate sanitaire voorzieningen, is volstrekt onacceptabel. Per dag sterven bijna 4000 kinderen aan de gevolgen van vervuild drinkwater, 1,8 miljoen mensen sterven jaarlijks aan ziekten als diarree, cholera en uitdroging (dat is het equivalent van 12 Boeing 747 crashes per dag). De energieconsumptie groeit exponentieel en is, net als de beschikbaarheid van water, volstrekt onevenwichtig verdeeld. Het broeikas effect zet door, maar heeft een andere naam gekregen: Global Warming. Fukuyama bezong de suprematie van het westerse economisch model in zijn "Einde van de Geschiedenis", maar de nog immer groeiende kloof tussen *haves* en *have nots* leidt tot steeds grotere spanningen. Spanningen die nog eens extra worden gevoed door tegenstrijdige tendensen in de ontwikkeling van societies, met

aan de ene kant een sterk toenemende individualisering, en aan de andere kant een radicale afwijzing daarvan. Een ontwikkeling die door de Amerikaanse politicoloog Barber wel wordt aangeduid als *McWorld* versus *Jihad*.

Zoals gezegd, de verenigde Nederlandse universiteiten hebben de millenniumdoelstellingen eendrachtig onderschreven. De vraag rijst natuurlijk wel wat die stellingname inhoudt als we verder doorgaan met “business as usual”. Laat ik de vraag wat specifiek stellen: wat zouden onderwijs en onderzoek van de Universiteit Twente kunnen bijdragen, des te meer waar wij valorisatie en technology transfer mede tot kerndoelen hebben gemaakt. Ik meen dat we op dit vlak enorme kansen hebben, dat we daarvoor nog niet eens zozeer ons activiteitenpakket behoeven te veranderen, maar wel dat er een wat andere *mindset* nodig is, die je wat meer doet afvragen: hoe kunnen wij ervoor zorgen dat we datgene wat we toch al doen ook meer ten goede laten komen aan die ontwikkelingsdoelstellingen. Ik noem een paar onderwerpen: duurzame ontwikkeling van onze leefomgeving, gezondheidszorg, schoon drinkwater, onderwijs. Het thema duurzame energie zal in de hiernavolgende Dieslezing uitgebreid worden belicht. Een paar van de andere onderwerpen wil ik kort aanstippen, waarbij overigens zal blijken dat de verschillende thema’s niet los van elkaar zijn te zien.

Elektriciteitsproductie uit afvalwater



De beschikbaarheid van zuiver water. Reeds een aantal jaren participeert de Universiteit Twente in het instituut Wetsus in Leeuwarden, dat een jaar geleden de status Technologisch Topinstituut verwierf, met een totaal budget van ruim 70 miljoen euro. Meer dan 50 bedrijven participeren in het instituut. Niet alleen veel bedrijven op het gebied van watertechnologie als Norit, Pacques en Vitens, maar ook grote bedrijven als Shell, Unilever, Nuon en Akzo. Die beschikbaarheid van schoon water betreft niet alleen onze pure consumptie; het raakt ons totale leven en letterlijk alles wat wij tot ons nemen. Ten eerste is water van levensbelang voor de voedselproductie; in veel ontwikkelingslanden wordt meer dan 90% van het beschikbare water voor irrigatiedoeleinden gebruikt. Het is een basis *resource* voor het overgrote deel van onze industriële productieprocessen, van textiel tot geïntegreerde circuits, van papier tot medicijnen. Water is bovendien essentieel voor de energieproductie (denkt u slechts aan de koeling van allerlei soorten centrales voor energieopwekking). En water zit in

Irrigatie



praktisch alle producten die wij elke dag gebruiken. Binnen Wetsus worden inmiddels meer dan 30 onderzoeksprojecten uitgevoerd en dat moeten er 50 worden; een tiental daarvan zijn promotieprojecten onder leiding van UT-wetenschappers. In Twente houden we ons in dit verband vooral bezig met membraantechnologie, het onderwerp waarop vandaag ook een eredoctoraat wordt toegekend. De membranen waaraan hier gewerkt wordt, in de groep Membrane Science and Technology onder leiding van Matthias Wessling, zijn in feite een soort zeefjes op nanoschaal, want om micro-organismen effectief te verwijderen, of om scheidingen op moleculair niveau te bewerkstelligen moet je in die dimensies werken. De kunst is natuurlijk om die membranen te maken. In de afbeeldingen ziet u de opbouw van het perfecte membraan weergegeven, bestaande uit een microzeef met poriën op een rij, op een basis van polymeer/kunststof. Deze poriën zijn ca. 5 micron in diameter,

Industriële productie

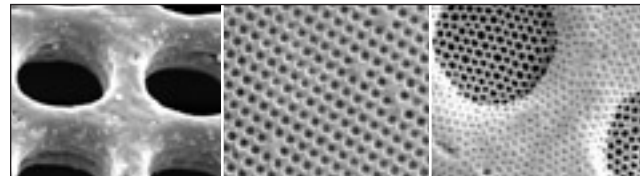


Drinkwater



dat is een factor 10 kleiner dan de diameter van een menselijke haar, gemaakt met een stempel met heel veel micronaaldjes, ook wel genoemd de fakirtechnologie. Daarover komt een dun vliesje van een paar nanometer dik, met nanogaatjes daarin geprikt. Op de derde afbeelding is dat alles nog eens sterk uitvergroot, de grote gaten zijn al veel kleiner dan een mensenhaar, de kleine gaatjes hebben afmetingen in het nano-bereik. Dit type technologie stond onder meer aan de basis

Membraantechnologie



van een oude UT-spin-off, X-Flow, een bedrijf dat inmiddels deel uitmaakt van Norit. Norit maakt een spectaculaire groei door, richting 500 miljoen in 2008, waarbij de membraantechnologie voor met name de zuivering van afvalwater een belangrijke factor is.

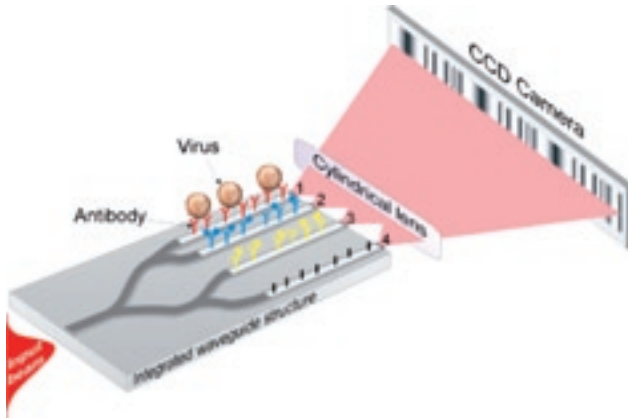
Binnen datzelfde Wetsus-instituut is momenteel een belangrijke plaats ingeruimd voor een programma op het gebied van sensortechnologie, waarbij met name van biologische sensoren veel wordt verwacht. Ook op dat gebied hebben wij groepen die het nodige te bieden hebben. De eerste projecten zijn op gang gekomen, maar hier is zeker nog veel te winnen.

Een ander onderwerp dat ik al noemde: gezondheidszorg, en dan met name technologie voor de gezondheidszorg. Dat is bij uitstek een terrein waarop de UT enorme mogelijkheden heeft, en deels ook al benut, gebaseerd op een jarenlang opgebouwde expertise. Ik noem in de eerste plaats de ontwikkeling van verschillende micro- en nanodevices, gericht op de snelle analyse van minieme hoeveelheden vloeistoffen, denk aan de detectie van schadelijke stoffen in één of slechts enkele bloeddruppels, zonder dat daar een groot laboratorium voor nodig is. Een voorbeeld is de lithium-chip, een ontwikkeling van onderzoekers in de groepen Biomedical and Environmental Sensor Systems onder leiding van Albert van den

Berg, en Transducer Science en Technology onder leiding van Miko Elwenspoek. Deze chip stelt ons in staat om de concentratie lithium in het bloed (lithium is een medicijn tegen depressiviteit) snel vast te stellen. Als u weet dat boven een bepaalde concentratie lithium zwaar toxisch is, dat mensen momenteel naar het ziekenhuis moeten en dat de meting dan ook nog eens precies anderhalf uur na de laatste lithiumname moet plaatsvinden, dan kunt u zich het belang van een snelle thuisanalyse wel voorstellen.

Maar in het kader van het onderwerp millenniumdoelstellingen zijn er meer voorbeelden. In nota bene zijn afscheidsinterview in 2003 kondigde collega Jan Greve aan met een STW-project te beginnen, waarin een gebruiksvriendelijk apparaat ontwikkeld zou worden voor het uitvoeren van zo goedkoop mogelijke aidstesten in Afrika. Zo'n test mag geen 50 dollar per stuk kosten zoals hier, maar die moet in arme landen ter plekke uitgevoerd kunnen worden voor minder dan 1 dollar per keer. In samenwerking met collega's Leon Terstappen, Vinod Subramanian en verschillende mensen in de biophysical engineering groep wordt inmiddels apparatuur ontwikkeld, waarmee in derdewereldlanden op goedkope en snelle wijze de schade die het HIV-virus aanricht bepaald kan worden. Nog een ander voorbeeld is de portable en ultragevoelige chip, ontwikkeld door postdoc Aurel Ymeti, waarmee het mogelijk is om met een beetje bloed of speeksel in slechts enkele minuten vast te

Lab-on-a-chip-sensor voor virusdetectie



stellen of iemand met een gevaarlijk virus rondloopt, in plaats van naar een laboratorium te gaan en dagen op de uitslag te moeten wachten. Op de chip zitten vier parallelle lichtkanalen: een referentiekanaal en drie meetkanalen, waarop je eiwitten uit het materiaal aanbrengt. Door verandering in het lichtpatroon kun je vaststellen of er sprake is van een besmetting. Vernieuwend, want de werkwijze is eenvoudig, snel en de chip is overal ter wereld te gebruiken. Ymeti noemde als voorbeeld de detectie van een besmetting met SARS, maar in feite gaat het om allerlei ziekten waarbij antilichamen worden aangemaakt. Voor deze vinding is zeer veel interesse getoond, vanuit bedrijfsleven

en media, met vermeldingen in Nature en MIT's Technology Review en ook de Franse krant Le Monde wijdde er een artikel aan.

Een derde onderwerp dat ik wil noemen betreft het onderwijs. Opleiding van mensen is niet alleen hier, maar ook in de zich ontwikkelende landen van het grootste belang. In dat verband hecht ik buitengewoon aan een goede samenwerking met het ITC, het instituut voor Geo-Informatie en Aardobservatie, dat een lange traditie heeft in het opleiden van studenten uit ontwikkelingslanden, niet alleen hier in het kader van hun masteropleidingen, maar juist ook ter plekke als *capacity building institute*. De ervaring van het ITC in het werkelijk laten landen van onderzoeksprojecten en technologie, het inbedden in een plaatsgebonden context, kan ons zeer te stade komen.

ITC studenten



Economische en sociale ontwikkeling in Afrika



Net zo goed als een nauwere samenwerking met ons voor het ITC van belang is, niet alleen in het realiseren van een volwaardige academische status, maar vooral in het slaan van die bruggen waarover ik het in het begin had. Onderzoek van het ITC richt zich minder en minder op de technologie van geo-informatica pur sang, maar juist meer en meer op *natural resource management*, het op een duurzame wijze benutten van natuurlijke hulpbronnen. Op het gebied van de waterinfrastructuur en op het gebied van *environmental governance* bestaan er inmiddels goede samenwerkingsverbanden met de UT, maar ook hier is meer mogelijk, en meer nodig.

Tenslotte nog het volgende. De mening wordt nogal eens geventileerd, onder meer door de minister van OC&W, dat de kennisinstellingen primair zouden moeten streven naar excellentie en dat het dan met innovatie vanzelf wel goed komt. In een artikel in de Volkskrant hebben de drie rectoren van Delft, Eindhoven en Twente betoogd dat dat laatste een miskening is van het ontwerpgerichte onderzoek (dat zich overigens niet tot de technische wetenschappen beperkt). Dat betekent niet dat wij het streven naar excellentie of het uitvoeren van fundamenteel, niet onmiddellijk op toepassingen gericht onderzoek afwijzen. Maar er is niets mis mee om, zoals de Utrechtse decaan van de faculteit Natuurwetenschappen Gerard van Koten onlangs bij zijn afscheid zei, excellentie te verbinden met maatschappelijke relevantie. Ook is het een misverstand te denken dat onderzoek gericht op de problemen in ontwikkelingslanden per definitie laag-bij-de-gronds onderzoek is, waarmee de werkelijke research universiteiten zich niet zouden moeten inlaten. De genoemde voorbeelden logenstraffen die mening, het zijn voorbeelden die zonder uitzondering excellent onderzoek combineren met economisch en maatschappelijk uiterst waardevolle toepassingen. En dat woord "economisch" zet ik er toch maar even bij: ik krijg te vaak van bedrijven te horen, recent nog bij de opening van het Technologisch Topinstituut Watertechnologie, dat technologie voor ontwikkelingslanden commercieel niet interessant is. Nog afgezien van de ethische dimensie kan ik daar slechts een

Wetenschappelijke excellentie, verbonden met economische en maatschappelijke relevantie



vorm van korte termijn denken in zien: een land als China investeert momenteel enorme bedragen in het Afrikaanse continent en dat is zeker ook uit een welbegrepen eigenbelang.

Dames en heren, om economische en sociale, maar zeker ook wetenschappelijke redenen, is er veel voor te zeggen om wel degelijk de millenniumdoelstellingen mede als bron van inspiratie te nemen. Nogmaals: het kost niets extra, maar het levert wel veel op, in velerlei opzichten. Maar vooral: juist universiteiten zouden de problemen die ten grondslag liggen aan de Millenium Development Goals niet moeten negeren. Hoe belangrijk wetenschappelijke kwaliteit ook is, er komt toch een moment dat wij niet alleen meer beoordeeld worden op excellentie, maar ook op wat wij willen en kunnen bijdragen aan innovatie en technology transfer, inclusief de oplossing van de Noord-

Zuid problemen. Dat is het moment waarop wij niet slechts beoordeeld worden op *hoe* wij iets doen, maar ook op ... *wat* wij doen.

Prof.dr.ir. J.A.M. Kuipers

Hans Kuipers is chemisch technoloog en studeerde in 1985 cum laude af aan de toenmalige Technische Hogeschool Twente (THT), afdeling der Chemische Technologie bij de vakgroep Proceskunde. In 1990 promoveerde hij aan de Universiteit Twente op een proefschrift over de fundamentele modellering van wervelbedden. Na zijn promotie kwam hij in dienst bij de vakgroep Proceskunde en werd belast met onderwijs en onderzoek op het gebied van de fysische transportverschijnselen en chemische reactorkunde.

In 1999 werd hij benoemd aan de Universiteit Twente tot hoogleraar Fundamentele Aspecten van de Proceskunde. Het onderzoek binnen zijn groep richt zich op de fundamentele modellering van meerfasen-reactoren en de ontwikkeling van nieuwe geïntegreerde reactor-concepten voor de grootschalige productie van energiedragers.

Sinds september 2006 is hij wetenschappelijk directeur van het speerpuntinstituut IMPACT van de Universiteit Twente. Binnen dit instituut richt het onderzoek zich ondermeer op duurzame productie van energie en grondstoffen middels een multidisciplinaire aanpak.

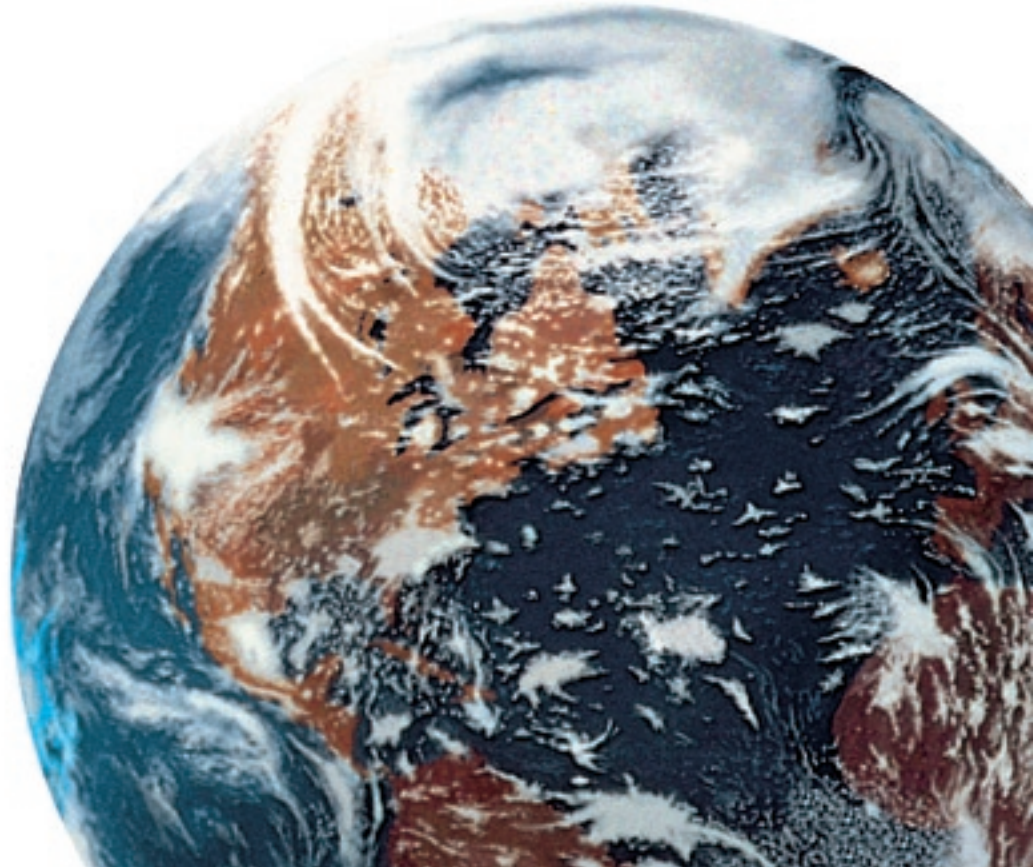
In het brandpunt van energie

van problemen naar oplossingen

Prof.dr.ir. J.A.M. Kuipers

46ste DIES NATALIS

30 november 2007

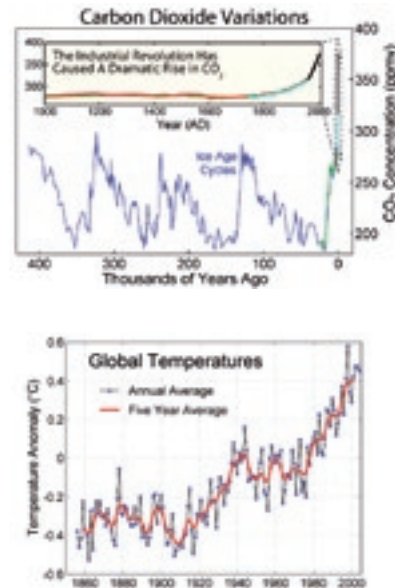


ook worden gelegd op het aspect energie, maar de link met grondstoffen is hiermee gelegd.

Hiermee rust er een gigantische verantwoordelijkheid op onze schouders om voor de toekomstige generaties een leefbare planeet te behouden en doemscenario's, zoals deze door Al Gore op indringende wijze onder de publieke aandacht zijn gebracht, absoluut te voorkomen. Natuurlijk zijn er vele kanttekeningen te maken bij deze scenario's, maar toekomstige generaties zullen ons een extra voorzichtige insteek eerder vergeven dan een (veel) te optimistische insteek die tot grote, misschien wel onoverkomelijke, problemen zal leiden.

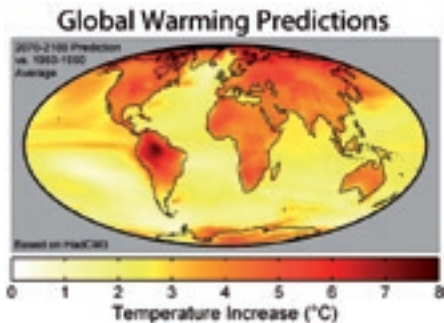
Ten aanzien van de eerder genoemde ecologische "footprint" is het goed om even kennis te nemen van figuur 3, die de concentratie van CO₂ in de atmosfeer als functie van de tijd weergeeft en een duidelijke toename laat zien sinds de industriële revolutie. Indien er nu zeer extreme maatregelen worden getroffen dan zal de CO₂ concentratie stijgen tot het tweevoudige van het niveau voor de industriële revolutie en zal zonder deze maatregelen het drievoudige niveau worden bereikt ten opzichte van het pre-industriële tijdperk.

Figuur 3: De concentratie van kooldioxide in de atmosfeer (boven) en gemiddelde temperatuur variatie (onder) van de aarde.



Naast de toename van CO₂ in de atmosfeer is er ook een toename van de gemiddelde oppervlaktetemperatuur van de aarde gemeten (zie figuur 3) en inmiddels is er een redelijke mate van consensus dat deze twee toenames een causaal verband bezitten, waarbij nog niet

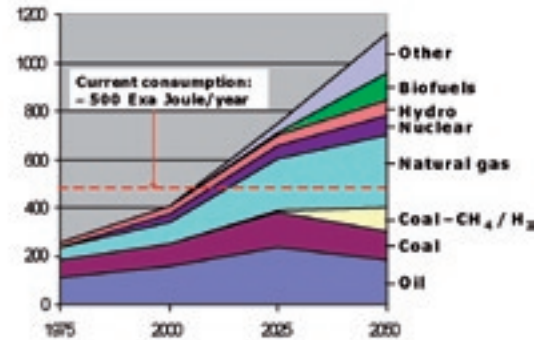
onomstotelijk vaststaat wat de oorzaak is en wat het gevolg is. Samenvattend is er al duidelijk sprake van een ecologische “footprint” van de mensheid die bij ongewijzigd beleid versterkt zal doorzetten vanwege de al eerder genoemde aanzienlijke toename van enerzijds de totale energiebehoefte en anderzijds een grotere relatieve bijdrage van kolen aan de energievoorziening in een land als China. In figuur 4 is tot slot een voorspelling van de toename van de oppervlakte-temperatuur van de aarde voor het tijdperk 2070-2100 gegeven. Uiteraard kleven er nogal wat onzekerheden aan deze voorspellingen, maar het plaatje laat zien dat er bij ongewijzigd beleid een aanzienlijke stijging op zal treden van de temperaturen waarvan de effecten naar verwachting zeer ingrijpend zullen zijn.



Figuur 4: Voorspelling van de temperatuurtoename van de aarde.

De discussie over het effect van het menselijk handelen op de aarde is natuurlijk onlosmakelijk verbonden met de achterliggende scenario's voor de productie van energie (en grondstoffen). Er zijn meerdere energiescenario's ontwikkeld en de onderlinge verschillen zijn groot en onder meer afhankelijk van strategische en ideologische factoren.

In figuur 5 is het door Shell gepubliceerde scenario weergegeven.



Figuur 5: Shell's "spirit of the coming age" scenario voor energieconsumptie.

In dit scenario zien we dat we voor de komende 40 jaar in belangrijke mate afhankelijk zullen blijven van fossiele bronnen (aardgas, olie en kolen) en dat de sterke groei van de energieconsumptie tot 2025 gerealiseerd zal worden middels de inzet van deze bronnen, waarbij vanaf 2025 de verdere groei door de inzet van aardgas en kolen wordt opgevangen. Vanaf 2025 zien we ook de opkomst van de *biofuels* en een aantal andere energiebronnen (wind, zon en nucleaire energie). Ook zien we vanaf 2025 een daling in de bijdrage van olie. Deze daling moet niet verward worden met het niet meer beschikbaar zijn van olie of met een “energiecrisis” (Hirsch et al., 2006) en moet van enkele aanvullende kanttekeningen worden voorzien. Ten eerste blijven er redelijke grote percentages (tot 70%) van de aanwezige olie in de putten achter op het moment dat een put op grond van economische redenen buiten gebruik wordt genomen. De ontwikkeling van (sterk) verbeterde technologie voor de winning van deze olie (“Enhanced Oil Recovery”) biedt hier nog vele mogelijkheden.

Ten tweede ontdekt men nog steeds “nieuwe” (fossiele) bronnen¹⁾ zoals de teerzanden in Alberta, Canada, die naar schatting zeven maal

1) De eerste Europeanen maakten ruim 200 jaar geleden al melding van de aanwezigheid van deze teerzanden langs de beddingen van de Athabasca rivier. Bij de inheemse bevolking was het teer al eeuwen lang in gebruik voor het waterdicht maken van hun kano's.

de hoeveelheid aan olie bevatten die onder de woestijnen in Saoedi-Arabië aanwezig is. Hiermee bezit Canada de grootste (bewezen) oliereserves van de wereld hetgeen voor de westerse wereld, op grond van politieke en strategische overwegingen, van groot belang is. De winning van deze olie, die populair gezegd neerkomt op het “wassen van het zand uit de olie”, is echter aanmerkelijk lastiger (duurder) dan de winning van conventionele olie. Zonder uitzondering komen we bij de opwerking van de teerzanden meerfasensystemen tegen, waarvan de fysica zeer complex is en nog niet voldoende wordt begrepen. Op dit aspect zal ik later nog terugkomen. De (verdere) ontwikkeling van geavanceerde nieuwe technologie moet hier een passend en afdoende antwoord vormen voor het economisch ontginnen van deze nieuwe bronnen met inachtneming van randvoorwaarden voor het milieu. Het Syncrude consortium is begonnen met de ontginning van deze teerzanden en in 1978 werd de eerste “barrel” olie geproduceerd. Inmiddels is door aanzienlijke verbeteringen in de procesvoering de kostprijs voor de productie van een vat olie met meer dan een factor twee verlaagd en is een aantal multinationals, waaronder Shell, ingestapt met investeringsprojecten van vele miljarden.

Een andere fossiele bron die hier niet onvermeld mag blijven is het methaangas dat in de vorm van gashydraten op de bodem van de diepzeëën ligt opgeslagen. Gashydraten zijn ijsachtige verbindingen

van methaan met kristalwater, zogenaamde clathraten (kooi-verbindingen) die ontstaan onder (zeer) hoge druk. Hoewel de ramingen behoorlijk uiteenlopen (Milkov, 2004) staat wel vast dat het hier om zeer grote hoeveelheden methaangas gaat dat bovendien schoon is. Dit klinkt allemaal als het “Ei van Columbus” voor onze toekomstige energievoorziening, maar de grote moeilijkheid is de winning uit de diepzee met inachtneming van de veiligheid en ecologische en economische randvoorwaarden. Zo moet bijvoorbeeld het vrijkomen van (grote hoeveelheden) methaan absoluut worden vermeden aangezien het een twintig keer zo sterk broeikas gas is als CO₂.

Met het oog op de al eerder genoemde CO₂ problematiek enerzijds en de hoofdconclusies uit de verschillende (realistische) energie-scenario's anderzijds, is het duidelijk dat de afvangst en opslag van CO₂ (Carbon Capture + Sequestration (CCS)) voor de nabije toekomst een kritische “enabling” technologie vormt. Dit is ook één van de belangrijkste conclusies van de interdisciplinaire studie “The Future of Coal” uitgevoerd aan het MIT op het gebied van grootschalig gebruik van kolen voor elektriciteitsproductie. In deze studie wordt ook nadrukkelijk de inzet van geavanceerde tools voor processimulatie genoemd.

2. Uitdagingen op het gebied van onze energievoorziening

Voor de aanpak van de energieproblematiek en het aandragen van oplossingen is er een aantal technologische opties, of beter gezegd uitdagingen, met verschillende daaraan gekoppelde tijdschalen en voordelen en nadelen. Deze opties zijn I) aanzienlijke reductie van het verbruik van energie (en grondstoffen) II) realisatie van een aanzienlijk hogere koolstofefficiëntie voor productie uit fossiele bronnen III) grootschalig gebruik van alternatieve energiebronnen (zon, wind, biomassa en kernenergie). Deze opties zullen hieronder samengevat en kort besproken worden. Zonder uitzondering is er fundamenteel en applicatiegericht onderzoek nodig om deze technologische opties te realiseren. Dit onderzoek vormt binnen het speerpuntinstituut IMPACT een belangrijk aandachtsgebied en zal later aan de hand van een aantal voorbeelden worden besproken.

2.1. Reductie van het verbruik van energie (en grondstoffen)

Het reduceren van het gebruik van energie (en grondstoffen) is een optie die altijd nagestreefd moet worden en momenteel o.a. in de procesindustrie veel aandacht geniet. Er bestaan verschillende opties om tot meer efficiënte processen (gebruik van minder energie en grondstoffen) te komen: het hanteren van verbeterde procedures voor

het ontwerpen en ontwikkelen van processen, waarbij geavanceerde modellering wordt ingezet om de verschillende procesopties efficiënt en kwantitatief te evalueren (“in-silico efficiency”); procesintegratie en procesintensificatie en gebruik van verbeterde procesregelingen. In deze context kan ook de ontwikkeling van micro-conversie-technologie (micro-reactoren) worden genoemd, waarbij doorgaans beter beheersbare procesvoering mogelijk wordt. Daarnaast bestaat er de mogelijkheid om restwarmte van processen beter te benutten middels toepassing van o.a. warmtepompen, een technologie waarmee ECN indrukwekkende resultaten heeft geboekt.

2.2. Realisatie van een hogere koolstof-efficiëntie voor productie uit fossiele bronnen

In het licht van het feit dat voor de komende decaden fossiele bronnen een grote rol (blijven) spelen voor onze voorziening van energie (en grondstoffen) is het van groot belang dat er nieuwe technologieën worden ontwikkeld waarmee efficiënte en schone conversie mogelijk wordt. Wereldwijd wordt er momenteel zeer veel onderzoek verricht om tot de noodzakelijke ontwikkeling van betere technologieën te komen, waarbij de ontwikkeling van CCS integraal wordt meegenomen. Hierbij is het van groot belang dat er verschillende technologische opties parallel worden ontwikkeld, aangezien de diversiteit aan applicaties,

met elk hun eigen specifieke randvoorwaarden, groot is. Ten aanzien van CCS bestaat er een aantal technologische opties die hier op hoofdlijnen kort besproken zullen worden:

“postcombustion” technologie, waarbij CO₂ van stikstof (N₂) wordt gescheiden, bijvoorbeeld middels selectieve absorptie in een reactieve wasvloeistof. Voor grootschalige toepassing van dit concept zijn sterk verbeterde (goedkopere) wasprocessen nodig.

“precombustion” technologie of “waterstof route”, waarbij na de omzetting van de fossiele brandstof (bijvoorbeeld methaan) CO₂ wordt afgescheiden van de gevormde waterstof bijvoorbeeld met een geschikt membraan. Ontwikkeling van robuuste en uiterst selectieve membranen met een hogere doorlaatbaarheid (permeatie) voor waterstof vormt hier een belangrijke uitdaging.

“oxyfuel combustion” technologie of “zuurstof route”, waarbij eerst zuurstof van stikstof wordt afgescheiden, typisch via cryogene destillatie, waarna de reactie van zuurstof met de fossiele brandstof plaatsvindt. Een veelbelovend alternatief voor de relatief dure cryogene afscheiding van zuurstof is de inzet van keramische membranen die selectief zuurstof doorlaten.

Zonder uitzondering is er voor het grootschalig implementeren van de bovengenoemde technologische opties een massieve onderzoeksinspanning vereist, waarbij nieuwe procesopties en de daarvoor benodigde materialen (wasvloeistoffen, membranen en katalysatoren) ontwikkeld en getest moeten worden met inachtneming van de procesomstandigheden waaronder ze moeten functioneren.

Bij de implementatie van de bovengenoemde technologische opties wordt CO₂ in redelijk zuivere vorm verkregen en dient natuurlijk nog wel een bestemming te krijgen, waarbij “creatieve” suggesties zoals verkopen aan Coca Cola en andere frisdrankfabrikanten voorbij gaan aan de balans tussen de CO₂ productie en (redelijke) consumptie van frisdrank. Opties die momenteel serieus worden bekeken zijn opslag van het afgevangen CO₂ in I) zouthoudende waterlagen onder de grond II) opgebruikte olievelden en gasvelden (in combinatie met “Enhanced Oil Recovery”) III) geschikte mineralen zoals calciumoxide.

2.3. Gebruik van alternatieve energiebronnen (zon, wind, biomassa en kernenergie)

Voor onze toekomstige energievoorziening is ontwikkeling en gecombineerd gebruik van alternatieve energiebronnen van groot belang. De zon wordt gezien als een onuitputtelijke bron van energie en efficiënt gebruik van het zonnenspectrum is waarschijnlijk de beste manier om op een duurzame wijze te voorzien in de continue en gestaag groeiende energiebehoefte van de mensheid. Fotovoltaïsche (PV) conversie is de meest directe manier voor onze duurzame energievoorziening, aangezien zonlicht zonder tussenstappen direct in elektriciteit wordt omgezet. De grootste wetenschappelijke uitdaging hierbij is het aanzienlijk verkleinen van het grote verschil tussen de huidige rendementen van laboratoriumcellen (maximaal 15%) en het theoretisch maximaal haalbare rendement van circa 85%. De huidige rendementen van laboratoriumcellen van 15% liggen overigens nog duidelijk hoger dan de rendementen van commercieel toegepaste zonnecellen (typisch 6%).

Voor het overbruggen van de kloof die gaapt tussen de rendementen van deze commerciële zonnecellen en het maximaal haalbare rendement van 85% is het zonneklaar dat er fundamenteel onderzoek is vereist. Het bereiken van het maximale rendement kan in principe bereikt worden door ervoor te zorgen dat de gehele energie van alle

fotonen uit het zonnenspectrum wordt gebruikt en de zogenaamde recombinatieverliezen worden verlaagd. Het fundamentele onderzoek zou zich in eerste instantie moeten richten op een diepgaand begrip van de onderliggende mechanismen en de ontwikkeling van geheel nieuwe omzettingprincipes en celconcepten. Uiteraard zijn voor de grootschalige realisatie van deze nieuwe generatie zonnecellen ook (compleet) nieuwe productietechnieken nodig. Ten aanzien van het fundamentele onderzoek aan nieuwe materialen is het werk aan “quantum dots” een veelbelovende ontwikkeling. Deze “quantum dots” bestaan uit kleine bolletjes (1-10 nm diameter) halfgeleidermateriaal (nano-kristallen) en kunnen als licht-absorberende materialen in zonnecellen worden toegepast aangezien ze vanwege hun kleine afmetingen de (gewenste) unieke eigenschappen bezitten. Binnen het speerpuntinstituut MESA+ op het gebied van de nanotechnologie wordt er intensief onderzoek verricht naar deze nano-gestructureerde materialen.

Naast het gebruik van de zon als energiebron middels PV bestaat er in Nederland ook interesse voor wind en biomassa als alternatieve energiebronnen. Deze bronnen, die het grote publiek aanspreken, kunnen zeker bijdragen aan de energievoorziening in ons land maar het is een illusie om te denken dat onze energiebehoefte volledig afgedekt kan worden middels het gebruik van deze bronnen. Het grootschalig

toepassen van kernenergie (kernsplijting) stuit in Nederland op grote weerstand, onder meer vanwege het ontstane kernafval waarvoor nog geen definitieve goede oplossing bestaat. Wel dient er een meer gebalanceerde discussie gevoerd te worden ten aanzien van de risico's voor transport en opslag van kernafval in relatie tot de risico's die andere technologische opties voor elektriciteitsproductie (bijvoorbeeld uit kolen) met zich mee brengen (uitstoot van CO₂).

Voor de verre toekomst wordt kernfusie als de technologie genoemd die ultiem alle problemen ten aanzien van onze toekomstige energievoorziening zal oplossen. Maar vooralsnog zijn er immense uitdagingen op uiteenlopende gebieden die via een gezamenlijke (mondiale) onderzoeksinspanning bewerkt dienen te worden. ITER (International Tokamak Experimental Reactor) vormt zo'n initiatief, waarbinnen Europa een leidende rol bezit en als doel heeft om te demonstreren dat fusie-energie wetenschappelijk en technisch haalbaar is. Zowel bij het ontwerpen en ontwikkelen van instrumenten voor de bestudering en optimalisering van de ITER- prestaties als bij de vervaardiging van hoogwaardig wandmateriaal voor het reactorvat levert Nederland een belangrijke bijdrage.

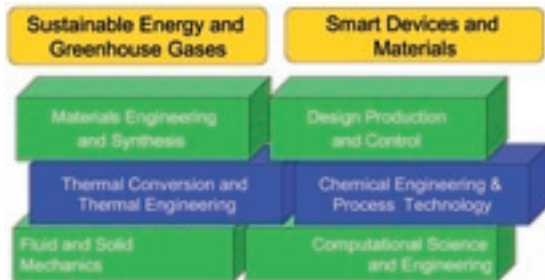
3. Energieonderzoek aan de UT

De UT heeft haar onderzoek ondergebracht in een beperkt aantal speerpuntinstituten. Eén daarvan is het Institute of Mechanics Processes And Control Twente (IMPACT). Binnen IMPACT zijn de onderstaande strategische lijnen van onderzoek te onderscheiden:

- **Sustainable Energy and Greenhouse Gas Emissions (SEGGE)**
- **Smart Devices and Materials (SDM)**

Deze twee strategische onderzoekslijnen worden gevoed door kennis en kunde uit een zestal funderende disciplines (zie figuur 6).

Strategic research areas (focus and mass)



Figuur 6: De twee strategische onderzoekslijnen van IMPACT en de benodigde funderende disciplines.

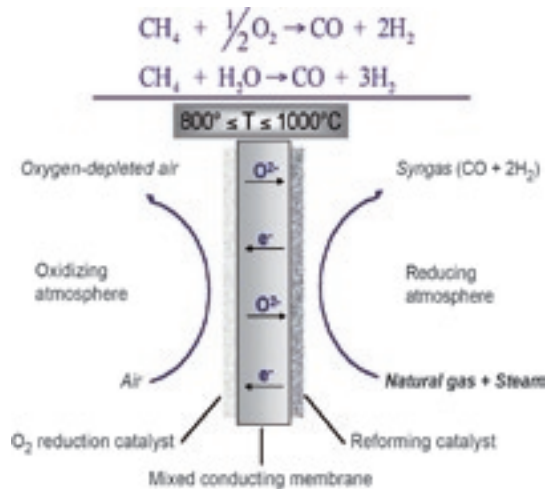
Zoals later zal blijken zijn er vele dwarsverbanden tussen deze twee strategische lijnen (SEGGE en SDM) van onderzoek, hetgeen niet verrassend is aangezien veel doorbraken op het gebied van energietechnologie gedictieerd worden door de beschikbaarheid van geschikte materialen. Maar ik zal mij nu concentreren op Sustainable Energy and Greenhouse Gas Emissions met voorbeelden die de diversiteit van het onderzoek binnen IMPACT markeren.

3.1 Ontwikkeling van materialen voor (doorbraken in) energietoepassingen

Veel doorbraken op het gebied van energie zijn afhankelijk van de beschikbaarheid van geschikte materialen. Ontwikkeling van (nieuwe) materialen, met inachtneming van de procescondities waaronder deze materialen moeten functioneren, is van groot belang (en vormt een van de kerngedachten achter het ADEM-initiatief).

Een mooi voorbeeld hiervan treffen we aan bij de ontwikkeling van nieuwe keramische membranen voor selectieve zuurstof permeatie. In combinatie met geschikte katalysatoren kunnen deze membranen tot interessante nieuwe reactorconcepten voor de productie van synthesesgas leiden middels Catalytic Partial Oxidation (CPO) van methaan (zie figuur 7). Het grote voordeel van de toepassing van deze membranen ligt in het feit dat vanwege de selectieve zuurstof permeatie

in het geproduceerde synthesesegas geen stikstof zit, hetgeen een groot voordeel biedt bij de productie van synthetische brandstoffen middels het Fischer Tropsch (FT) proces.



Figuur 7: Schematische weergave van de werking van een keramisch membraan voor selectieve zuurstof permeatie en reactie met methaan aan de permeatzijde.

Keramische membranen voor selectieve zuurstof permeatie kunnen ook gebruikt worden voor de schone conversie van kolen naar

bijvoorbeeld synthesesegas dat geen stikstof bevat en derhalve zeer geschikt is als bouwsteen voor synthetische brandstoffen. Essentieel bij de ontwikkeling van deze materialen is het meenemen van de randvoorwaarden waaronder ze moeten functioneren in het betreffende proces, dat wil zeggen het ontwikkelen en testen van membranen onder reactiecondities is essentieel.

3.2. Ontwikkeling van nieuwe composiete materialen voor windturbines

Het opwekken van elektriciteit op basis van windenergie vormt voor Nederland, waar het volgens velen altijd en te hard waait, een interessante optie voor de toekomstige energievoorziening. Weinig verrassend wordt deze optie door bekende "weermannen" aangeprezen als belangrijke technologie voor de elektriciteitsproductie in Nederland. Een belangrijke en in het oog springende tendens bij de ontwikkeling en toepassing van windturbines is de continue toename van de spanwijdte en daarmee het geproduceerde (elektrische) vermogen van de windturbine.

De huidige maximale diameter van 120 meter, corresponderend met een elektrisch vermogen van 5 MW, overstijgt reeds de spanwijdte van de Airbus A380. Voor de toekomst worden windturbines geprojecteerd met een spanwijdte van maar liefst 250 meter en 20 MW elektrisch

vermogen. Deze gigantische afmetingen stellen bijzondere en zeer hoge eisen aan de materialen die toegepast kunnen worden in de turbinebladen: het materiaal moet licht en tegelijkertijd bijzonder sterk zijn en uiteraard moet het goedkoop zijn.



Figuur 8: Windturbinepark.

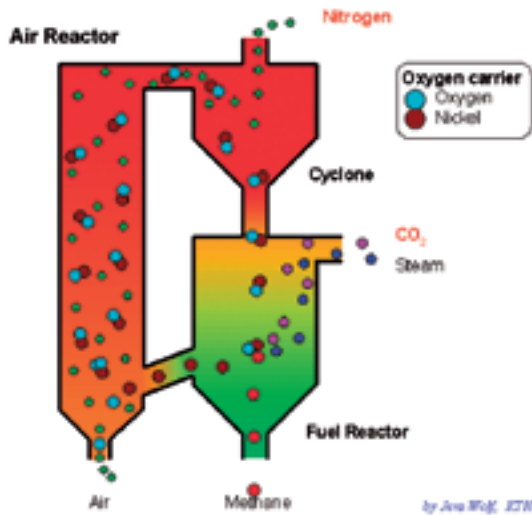
Composietmaterialen bezitten deze eigenschappen en zijn derhalve bij uitstek geschikt voor de toepassing als basismateriaal in de bladen van de windturbine. Ook hier is fundamenteel onderzoek van groot belang om deze materialen te ontwikkelen. Maar er is meer nodig om tot een goed functionerende windturbine te komen. Voor een optimaal ontwerp van de turbinebladen staan de vakgebieden van de aërodynamica en de numerieke stromingsleer en numerieke spanningsrekening voor complexe ontwerpvoorwaarden.

De optimale vorm en stand van de bladen varieert met de windsnelheid. Een mogelijke oplossing is bijvoorbeeld “Dynamic Shape Control” (het aanbrengen van vervorming door variëren van de spanning in de vezels van het composiet).

Daarnaast is de ontwikkeling van een compleet nieuwe productietechnologie van belang en vormt de optimale (dynamische) regeling van de turbinebladen een behoorlijke uitdaging. Tenslotte is de onderlinge (optimale) positionering (lay-out) van de turbines in een (off-shore) turbinepark van belang.

3.3. Nieuwe technologieën voor schoon fossiel

Voor de komende decaden blijven fossiele bronnen een grote rol spelen voor onze energievoorziening en derhalve is ontwikkeling van nieuwe technologie, waarbij de CO₂ uitstoot drastisch kan worden teruggedrongen (schoon fossiel), van zeer groot belang. Voor de energieopwekking uit fossiele brandstoffen (bijvoorbeeld methaan) vormt Chemical Looping Combustion (CLC) een interessante optie. In het CLC proces wordt direct contact tussen lucht en koolwaterstof (b.v. methaan) vermeden middels het gebruik van een metaalmetaaloxide op drager (de deeltjesdiameter bedraagt ongeveer 0.5 mm) die tussen twee reactorvaten (wervelbedden) wordt gecirculeerd (zie figuur 9).



Figuur 9: Schematische weergave van een Chemical Looping Combustion (CLC) proces voor energieopwekking uit methaan.

Het metaal wordt in de “Air Reactor” in contact met lucht gebracht waardoor het metaal (b.v. Nikkel) wordt geoxideerd tot de oxidische vorm. In de “Cyclone” worden vervolgens de metaaloxide bevattende deeltjes afgescheiden van de stikstof die oorspronkelijk in de lucht aanwezig was (80 volume %) waarna de metaaloxide bevattende deeltjes in de “Fuel Reactor” in contact worden gebracht met de

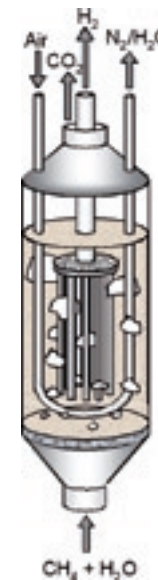
koolwaterstof (methaan). Bij de resulterende reactie wordt kooldioxide en water gevormd en wordt het metaaloxide gereduceerd tot de metallische vorm en worden de deeltjes weer terug gevoerd naar de “Air Reactor”.

In wezen is er dus verbranding van de koolwaterstof gerealiseerd met de daarmee gepaard gaande energieproductie zonder vermenging van de lucht met de koolwaterstof, zodat uiteindelijk het bij de verbranding geproduceerde kooldioxide niet met stikstof is verdund. Dit biedt grote voordelen bij de uiteindelijk gewenste afvangst van kooldioxide. In het in figuur 9 schematisch weergegeven CLC proces wordt gebruik gemaakt van het concept waarbij de deeltjes circuleren tussen twee reactorvaten, hetgeen in de praktijk een aantal problemen met zich meebrengt. Derhalve wordt aan de UT een nieuw concept ontwikkeld waarbij de deeltjes niet bewegen maar in een “gepakt bed” zijn aangebracht, waarbij juist de gasstromen (lucht en koolwaterstof) worden geschakeld om alternerend oxiderende en reducerende omstandigheden te bewerkstelligen. Ook hier is een multidisciplinaire aanpak vereist, waarbij kennis en kunde vanuit de domeinen materiaalkunde (selectie en ontwikkeling van de metaal-metaaloxide combinatie) en reactorkunde (selectie en ontwikkeling van de reactor) onontbeerlijk zijn om tot een optimaal grootschalig proces voor CLC te komen.

Het tweede voorbeeld van “schoon fossiel” dat ik hier wil noemen is de ontwikkeling van een nieuw reactorconcept voor de productie van ultrazuivere waterstof uit methaan (Patil, 2005). Waterstof staat in de belangstelling als toekomstige schone brandstof en zoals u weet rijden de eerste stadsbussen en auto’s op waterstof al rond in de ogen van sommigen als prelude op de waterstofeconomie. Het is op dit moment echter de vraag of die waterstofeconomie er ook echt komt en of een overschakeling van de transportsector naar waterstof als brandstof realiseerbaar is. De uitdagingen zijn enorm en liggen op het vlak van de productie, opslag en distributie van waterstof.

Ik zal mij hier beperken tot het presenteren van een nieuw reactorconcept voor de schone en energie-efficiënte productie van ultrazuivere waterstof uit methaan waarvoor met Shell een aantal patentaanvragen is ingediend. In figuur 10 is het reactorconcept schematisch weergegeven. In de reactor reageert methaan met stoom tot waterstof en CO_2 onder invloed van een geschikte katalysator. Het leeuwendeel van de geproduceerde waterstof wordt middels membranen, die zich in het centrum van de reactor bevinden, selectief afgevoerd. Het resterende (kleine) deel van de geproduceerde waterstof wordt met een U-vormig membraan selectief onttrokken en met lucht verbrand teneinde de energie te produceren die voor de (endotherme) reactie van methaan met stoom benodigd is.

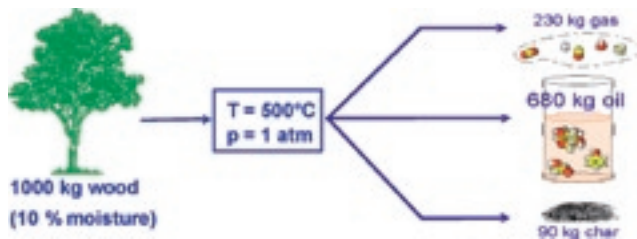
Hierdoor wordt autotherme reactoroperatie (geen externe aanvoer of afvoer van warmte) mogelijk en wordt vermenging van CO_2 met stikstof vermeden. De waterstof die geproduceerd wordt is direct geschikt voor toepassing in een brandstofcel voor de productie van elektriciteit.



Figuur 10: Wervelbedmembraan reactor voor de productie van ultrazuivere waterstof uit methaan (Patil, 2005).

3.4. Nieuwe technologie voor de omzetting van biomassa in bio-olie

De conversie van biomassa (b.v. hout of residu van rijstplanten) naar een vloeibare energiedrager (pyrolyse olie, bio-olie of groene olie) vormt een interessante optie, omdat in principe een gesloten koolstofkringloop gerealiseerd kan worden. Deze conversie kan bewerkstelligd worden door de biomassa onder uitsluiting van zuurstof zeer snel te verhitten ("flash" of snelle pyrolyse) waarbij hoofdzakelijk (circa 68% op gewichtsbasis) pyrolyse olie wordt gevormd. Daarnaast ontstaan er reactieproducten die gasvormig en vast (char) zijn (respectievelijk 23% en 9% op gewichtsbasis). In figuur 11 is het proces schematisch weergegeven.



Figuur 11: Conversie van biomassa in gas, olie en char middels snelle pyrolyse.

De uitdagingen liggen voor een deel op het vakgebied van de reactorkunde aangezien het de kunst is om speciale omstandigheden te bewerkstelligen die een optimale opbrengst aan groene olie waarborgen. Deze omstandigheden hebben geleid tot de ontwikkeling van de roterende conusreactor (zie figuur 12) waarin de biomassa, door menging met heet zand, een zeer snelle opwarming ondergaat waarbij de tijdens de pyrolyse gevormde dampen een korte en nagenoeg uniforme verblijftijd hebben.



Figuur 12: Schematische weergave (links) en werkelijke proefopstelling (rechts) van de roterende conusreactor voor de snelle pyrolyse van biomassa tot bio-olie.

Aan de uitgang van de reactor worden de gevormde pyrolysedampen gecondenseerd tot een bruine vloeistof (de bio-olie) met relatief lage viscositeit. Middels deze snelle pyrolyse is de biomassa, een vaste

stof, dus omgezet in een vloeibare energiedrager hetgeen belangrijke voordelen biedt bij het transport. De primair verkregen bio-olie dient echter verder opgewerkt te worden, hetgeen een gecombineerde aanpak vergt waarbij kennelementen uit de reactorkunde en katalyse benodigd zijn. De gevormde en opgewerkte bio-olie kan als vloeibare energiebron (zie onderstaande figuur) worden gehanteerd maar ook als bron voor de synthese van belangrijke chemische bouwstenen (synthese gas) waarbij de ontwikkeling van geschikte nieuwe katalysatoren wederom van eminent belang is.



Figuur 13: Bio-olie als groene brandstof.

In deze context dient ook het concept van de “bio-refinery” worden genoemd, waarbij middels geavanceerde conversie- en scheidingstechnologieën deze bouwstenen uit de bio-olie worden

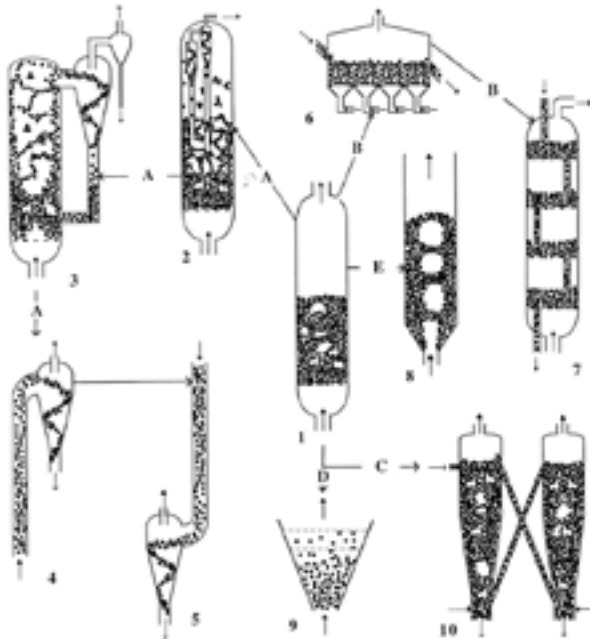
geïsoleerd. De verdere ontwikkeling van de genoemde concepten vormt voor de vakgebieden van de katalyse en reactortechnologie en scheidingstechnologie gigantische uitdagingen en vergt een multidisciplinaire aanpak.

Samenvattend kan biomassa middels thermo-chemische conversieprocessen worden omgezet in (transport)brandstoffen, warmte en energie en chemische bouwstenen. Ten aanzien van deze “bio-route” is het van belang dat interferentie met de voedselketen wordt voorkomen, hetgeen inhoudt dat uitsluitend biomassa residu wordt gebruikt als grondstof.

3.5. Modellering van meerfasenreactoren

In processen voor de grootschalige productie van energiedragers en grondstoffen in de petrochemische industrie worden veelal wervelbed (en andere meerfasen) reactoren toegepast vanwege de vele unieke eigenschappen die deze reactoren bezitten, zoals de hoge mobiliteit van de deeltjes en de zeer goede warmteoverdracht naar ondergedompelde lichamen. Wervelbedreactoren treffen we aan in een groot aantal verschillende uitvoeringsvormen waarvan de belangrijkste in figuur 14 zijn weergegeven. De afmetingen van deze reactoren zijn zeer groot: wervelbedden die bijvoorbeeld worden toegepast bij het opwerken van teerzanden hebben een diameter

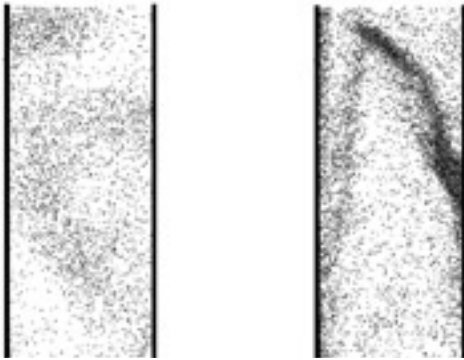
van 20 m en een hoogte van 40 m waardoor we terecht over de “kathedralen” van de procesindustrie kunnen spreken.



Figuur 14: De verzameling van gas-vast reactoren die tot de familie van wervelbedreactoren behoren.

Een belangrijke eigenschap van wervelbedreactoren is de niet-uniforme ruimtelijke verdeling van de deeltjes (heterogene structuur), hetgeen belangrijke consequenties heeft voor de kwaliteit van het contact tussen de continue gasfase en de gedispergeerde deeltjesfase. Naarmate de deeltjes meer uniform zijn verdeeld over de beschikbare ruimte, wordt het contact tussen beide fasen beter (intensiever) bij gegeven procesomstandigheden.

Computersimulaties zijn bij uitstek geschikt om inzicht te krijgen in het ontstaan van de heterogene structuur en om te kwantificeren in welke mate de effectiviteit van de reactor nadeling wordt beïnvloed door deze structuur. Zo is bijvoorbeeld op basis van discrete deeltjessimulaties vastgesteld dat niet-ideale botsingen tussen de deeltjes een belangrijke rol spelen bij de totstandkoming van de heterogene structuur. In figuur 15 is als voorbeeld een resultaat weergegeven van een discrete deeltjes simulatie van een “riser” reactor. Dit type reactor wordt op zeer grote schaal gebruikt voor het katalytisch kraken van koolwaterstoffen met als doel de grootschalige productie van brandstoffen. In dit proces vormen de deeltjes de voor het kraakproces benodigde katalysator en een goed contact tussen de fasen (uniforme verdeling van de deeltjes) is van groot belang voor de conversie en selectiviteit van het kraakproces zoals kwantitatief aangetoond door Kuipers et al. (1998).



Figuur 15: Discrete deeltjes simulatie van een riser met ideale deeltjes (links) en niet-ideale deeltjes (rechts).

Het bovenstaande voorbeeld maakt duidelijk dat kennis (begrijpen van de verschijnselen) en kunde (kwantitatief kunnen voorspellen) ten aanzien van de stromingsverschijnselen in meerfasenreactoren van zeer groot belang is om tot verbeterde ontwerpen en procesvoering te kunnen komen. Hierbij is een multidisciplinaire aanpak vereist waarbij kennis uit de vakgebieden van de numerieke stromingsleer, materiaalkunde, reactorkunde en katalyse gecombineerd moeten worden.

4. Samenvatting en conclusies

De toekomstige voorziening van de mensheid met energie en grondstoffen vormt een gigantische uitdaging, waarbij multidisciplinaire samenwerking essentieel is om tot echte doorbraken en oplossingen te komen. Hierbij is veel ruimte en aandacht voor fundamenteel onderzoek een noodzakelijk ingrediënt in de aanpak. Er is geen reden tot pessimisme, wel is het zaak om nu middels “concerted action” met enige voortvarendheid tot goede technologische oplossingen te komen.

De bundeling van de onderzoekscapaciteit aan de drie technische universiteiten (3TU.Federatie) op het gebied van *sustainable energy* vormt een belangrijk winstpunt om deze uitdaging op te pakken en langdurige (“duurzame”) investering in onderzoek te bevorderen. Een belangrijk aspect hierbij vormt langdurige (“duurzame”) investering in onderzoek en het opleiden van ingenieurs en gepromoveerde onderzoekers van voldoende hoge kwaliteit en in voldoende volume. Dit zijn (zeer) kritische, en in mijn ogen de belangrijkste, randvoorwaarden. Energie staat ook, naast een aantal andere maatschappelijke thema’s, op de onderzoeksagenda van de recent gevormde technologische driehoek bestaande uit 3TU, de GTI’s en TNO en zal krachtige en broodnodige samenwerkingsverbanden genereren om deze thema’s succesvol te bewerken. Het is

de taak van de overheid om deze verbanden krachtig te ondersteunen, waardoor we in het brandpunt van energie van problemen naar oplossingen bewegen.

5. Referenties

Hirsch, R.L., Bezdek, R. en Wendling, R., 2006, Peaking of world oil production and its mitigation, AIChE Journal, 52, 2-8.

Kohlbrand, H.T., 2007, Energy today and process technology in the future, invited contribution at Energy and Resources symposium, April 13, 2007, Twente University.

Kuipers, J.A.M., Hoomans, B.P.B. en van Swaaij, W.P.M., 1998, Hydrodynamic models of gas-fluidized beds and their role for design and operation of fluidized bed chemical reactors, plenary paper, proceedings of Fluidization IX Conference, 15-30, Durango, USA.

Milkov, A.V., 2004, Global estimates of hydrate-bound gas in marine sediments: how much is really out there ?, Earth-Science Reviews 66, 183-197.

Patil, C.S., 2005, Membrane reactor technology for ultrapure hydrogen production, proefschrift Universiteit Twente.

6. Dankwoord

Hierbij wil ik de IMPACT-medewerkers bedanken voor hun inbreng en suggesties die hebben bijgedragen aan het tot stand komen van dit manuscript en de afbeeldingen.



Universiteit Twente
de ondernemende universiteit

Postbus 217, 7500 AE Enschede, Telefoon: 053 489 2212, www.utwente.nl

