

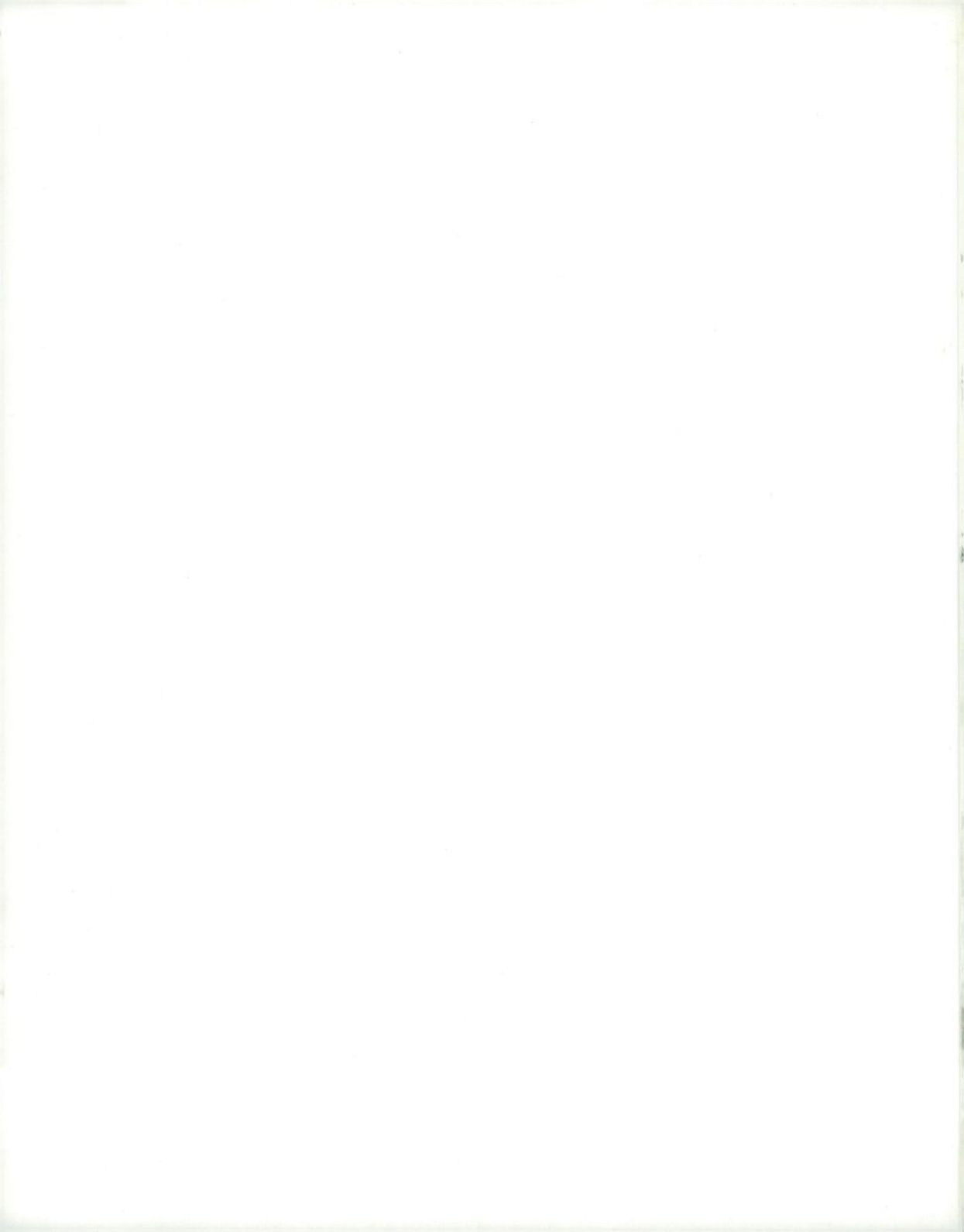


**DTO SLEUTEL**

# CHEMIE

**ZON EN BIOMASSA: BRONNEN VAN DE TOEKOMST**

INTERDEPARTEMENTAAL ONDERZOEKPROGRAMMA DUURZAME TECHNOLOGISCHE ONTWIKKELING







## **HOE KUNNEN WE ECONOMISCHE GROEI EN DUURZAAMHEID MET ELKAAR RIJMEN?**

EN WELKE ROL KAN TECHNOLOGIE DAARBIJ SPELEN? HET INTERDEPARTEMENTAAL ONDERZOEK-PROGRAMMA DUURZAME TECHNOLOGISCHE ONTWIKKELING (DTO) HEEFT DEZE VRAGEN BEANTWOORD, DOOR EEN GROOT AANTAL SLEUTELPROJECTEN OP TE ZETTEN. DAARUIT BLIJKT DAT DUURZAAMHEID NIET ALLEEN EEN SCHONE WENS IS; HET LEVERT OOK NIEUWE KANSEN OP IN HET HIER EN NU.

De beste alternatieven voor het eindige gebruik van fossiele grondstoffen zijn biomassa en fotonvoltaïsche zonne-energie. Hiermee kunnen we methanol maken, dat als intermediaire stof het beginpunt kan zijn van de energievoorziening en een 'groene' chemie. Voor de sterke Nederlandse chemische sector liggen hier belangrijke kansen.

Om een duurzame chemie tastbaar te maken, heeft het interdepartementaal onderzoek-programma Duurzame Technologische Ontwikkeling (DTO) een sprong in de tijd gemaakt. Stel dat we over vijftig jaar geen gebruik meer kunnen of willen maken van fossiele grondstoffen; welke bijdrage kan de chemie dan leveren om op een duurzame manier te voorzien in de vraag naar energie en basisstoffen voor de industrie? Vanuit een duurzaam toekomst-beeld is vervolgens aangetoond welke kansen er op korte termijn bestaan voor nieuwe technologieën en systemen.

In dit boek wordt de bijzondere werkwijze van DTO beschreven en geïllustreerd met voorbeelden. Dit boek vormt daarmee een handreiking aan bedrijven en bestuurders die zich willen voorbereiden op een duurzame toekomst.

Het DTO-programma is in 1993 van start gegaan en in 1997 afgesloten. Het programma is ingesteld door de volgende vijf ministeries: ECONOMISCHE ZAKEN, LANDBOUW, NATUURBEHEER EN VISSERIJ, ONDERWIJS, CULTUUR EN WETENSCHAPPEN, VERKEER EN WATERSTAAT, VOLKSHUISVESTING, RUIMTELIJKE ORDENING EN MILIEUBEHEER.

DAARNAAST HEBBEN DE VOLGENDE ORGANISATIES FINANCIËEL BIJGEDRAGEN AAN HET DEELPROGRAMMA CHEMIE: AKZO-NOBEL, DSM, SHELL, SEP, WILLEMS & V.D. WILDENBERG.

#4

**DTO SLEUTEL**

# CHEMIE

**ZON EN BIOMASSA: BRONNEN VAN DE TOEKOMST**

INTERDEPARTEMENTAAL ONDERZOEKPROGRAMMA DUURZAME TECHNOLOGISCHE ONTWIKKELING



CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG: DTO SLEUTEL CHEMIE; ZON EN BIOMASSA: BRONNEN VAN DE TOEKOMST  
Interdepartementaal Onderzoekprogramma Duurzame Technologische Ontwikkeling (DTO)  
ISBN 90-71594-89-5 • NUGI 661 / 837 • trefw.: duurzame ontwikkeling, chemie

© DTO / UITGEVERIJ TEN HAGEN & STAM BV, 1997

De teksten in deze uitgave zijn vrij van auteursrecht. Overname en reproductie is toegestaan, mits onder vermelding van titel, auteur en uitgever:  
DTO SLEUTEL CHEMIE; ZON EN BIOMASSA: BRONNEN VAN DE TOEKOMST • Interdepartementaal Onderzoekprogramma Duurzame Technologische Ontwikkeling (DTO)  
Uitgeverij ten Hagen & Stam, Den Haag, 1997.

*Gelieve bij overname van teksten hiervan melding te maken bij: Uitgeverij ten Hagen & Stam b.v. • Techniek & Natuurwetenschappen •  
Postbus 34 • 2501 AG Den Haag • telefoon: 070-3046171 • fax: 070-3045808*

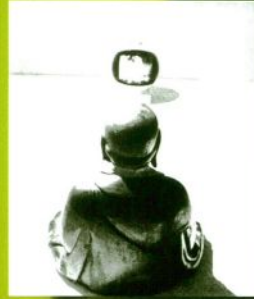
Reproduction of the texts in this book is permitted, provided title, author and publisher are given proper credits. Please give notice to the publisher (ten Hagen & Stam b.v.) if you plan on using (parts of) this text.

*De auteur en de uitgever hebben geprobeerd om de juiste beeldverwijzingen en rechthebbers te vermelden en om toestemming te krijgen voor de reproductie van de afbeeldingen.*

*Omdat sommige afbeeldingen niet te traceren waren, zou de uitgever graag de informatie ontvangen van de betreffende rechthebbers die niet in deze lijst vermeld staan.*  
*Verbeteringen zullen worden rechtgezet in volgende uitgaven.* p.2: Loopbrug tussen de TNO gebouwen in Delft; Cas Oorthuys/Nederlands Fotoarchief • p.4: Nam June Paik • p.7: Ox-Chair;  
Hans J. Wegner • p.12: Landbouwniversiteit Wageningen • p.22: Mike Blank/Tony Stone Images • p.28: AP Photo/Don F. Figer, UCLA, NASA • p.32: Babet Galis, Galis Architectenburo bna,  
Vera Galis, beeldend kunstenaar • p.56: TNO; Cas Oorthuys/Nederlands Fotoarchief • Themafoto's: Henk Elenga

## **INHOUD**

<b>INLEIDING</b>	<b>5</b>
<b>HET PROGRAMMA DTO</b>	<b>7</b>
<b>STAP 1: DE CHEMIE VAN VANDAAG</b>	<b>13</b>
<b>ANIMO VOOR LANGE TERMIJN</b> INTERVIEW MET DR. E. VAN SPIEGEL	<b>16</b>
<b>STAP 2: DE CHEMIE VAN DE TOEKOMST</b>	<b>19</b>
<b>STAP 3: OP ZOEK NAAR KANSEN</b>	<b>23</b>
<b>DUURZAAMHEID ALS CONCRETE UITDAGING</b> INTERVIEW MET PROF. DR. B. ZWANENBURG	<b>26</b>
<b>STAP 4: VIJF BOUWSTENEN VOOR EEN DUURZAME CHEMIE</b>	<b>29</b>
<b>STAP 5: OPZET VAN EEN R&amp;D AGENDA</b>	<b>33</b>
<b>EEN GIGANTISCHE OMSCHAKELING DIE ER HOE DAN OOK KOMT</b> INTERVIEW MET MR. DR. P. W. KWANT	<b>36</b>
<b>DE SEP WIL MEER STROOM EN MINDER BRANDSTOFFEN</b> INTERVIEW MET IR. G. PEPPINK	<b>40</b>
<b>FIJNCHEMIE ALS KRAAMKAMER VOOR NIEUWE TECHNOLOGIE</b> INTERVIEW MET DR. IR. A.A.H. DRINKENBURG	<b>46</b>
<b>STAP 6/7: DE OVERDRACHT VAN RESULTATEN</b>	<b>49</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>50</b>
<b>SAMENVATTING</b>	<b>53</b>
<b>COLOFON</b>	<b>56</b>





INLEIDING

2040

**BEDREIGING OF UITDAGING?** Dag na dag vragen meer men-

sen om meer welvaart. Productie en consumptie nemen hand over hand toe. De samenleving vraagt om meer voeding, meer water, meer mobiliteit en meer consumptieartikelen. Leidt deze groei tot verdere en blijvende aantasting van het milieu? Gaan brandstoffen straks weer op de bon omdat er tekorten ontstaan?

2039

Gelukkig is er een andere weg. We hoeven groei niet als een bedreiging te zien. Het kan een drijfveer zijn voor innovaties. Een drijfveer om systemen, technologieën en gebruikspatronen te vernieuwen. De chemie vervult daarbij een sleutelrol. De chemie kan een synthese tot stand brengen tussen welvaartsstijging en duurzaamheid.

2038

In deze publicatie wordt het beeld van een duurzame chemie uitgewerkt. Een chemie die voorziet in de vraag naar basisstoffen voor productieprocessen en energiedragers op een manier waarbij kringlopen zijn gesloten. Zonder emissie van afvalstoffen en zonder uitputting van voorraden. Zo'n chemie is mogelijk en biedt niet alleen een aantrekkelijk perspectief voor de lange termijn, maar biedt ook een kader voor kansrijke innovaties op korte termijn.

2037

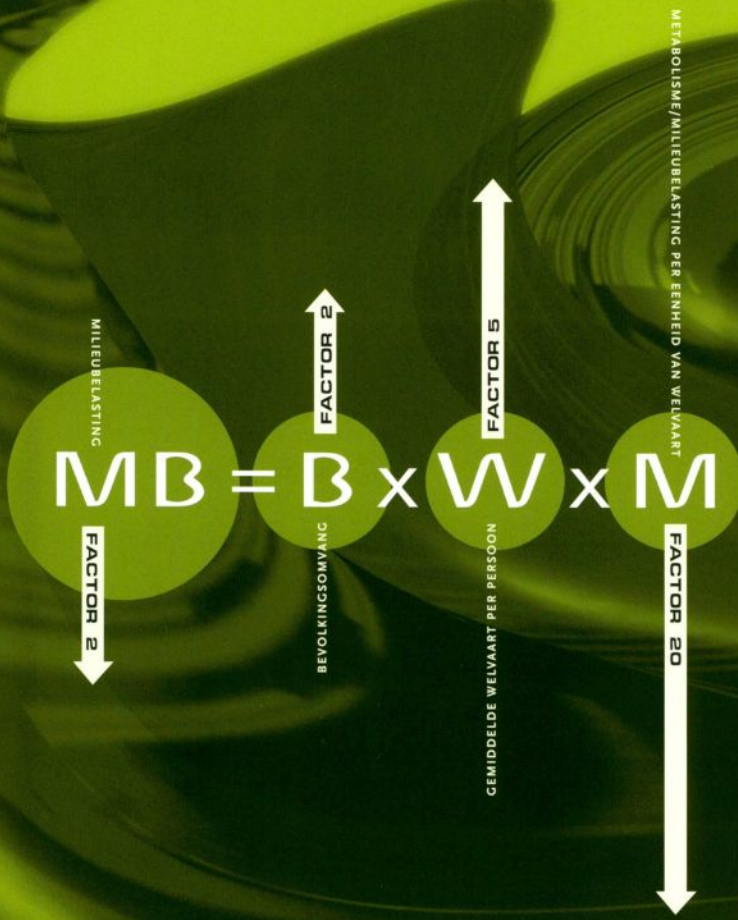
2036

2035

2034

2033

2032



## DE MOGELIJKHEDEN EN KANSEN

van een duurzame welvaartsontwikkeling zijn in kaart gebracht in het kader van het Interdepartementaal Onderzoekprogramma Duurzame Technologische Ontwikkeling (DTO). Dit programma is toegespitst op vijf basisbehoeften. Behalve om een groene chemie waarmee we kunnen voorzien in basisstoffen voor de industrie, gaat het om voeden, huisvesten, water en verplaatsen.

### FACTOR 20

HOE GROOT IS DE BELASTING DIE WE UITOEFENEN OP DE MILIEUGEBRUIKSRUIMTE? DE AMERIKAANSE BIOLOOG EN MILIEUESKUNDIGE BARRY COMMONER HEEFT IN 1972 DE MILIEUBELASTING (MB) OMSCHREVEN ALS HET PRODUCT VAN DRIE FACTOREN.

DE WERELDBEVOLKING (B) ZAL OVER VIJFTIG JAAR NAAR SCHATTING TWEE MAAL ZO GROOT ZIJN ALS NU. DE WELVAART (W) PER PERSOON ZAL DAN GEMIDDELD VIJFMAAL ZIJN GESTEGEN. WILLEN WE DE TOTALE MILIEUDRUK HALVEREN, DAN VOLGT DAARUIT DAT HET METABOLISME (M) MET EEN FACTOR TWINTIG MOET WORDEN TERUGGEBRACHT.

### HET JAAR 2050 IS HET ORIËNTATIEPUNT

van het DTO-programma Chemie\*. Dat is twee generaties na nu. Tegen die tijd is de bevolking in Nederland gegroeid tot ruim zeventien miljoen. Op wereldschaal is de bevolking gegroeid tot negen à twaalf miljard mensen. Tevens zal het welvaartspeil flink zijn gestegen. Met name de welvaartsstijging in landen van Afrika, Latijns Amerika en Azië draagt bij aan een sterke mondiale groei. Wanneer we een rechtvaardige verdeling van de welvaart over de wereld nastreven, dan leidt dat tot een zeer sterke toename van productie en consumptie. Het is evident dat de technologieën en systemen van vandaag hier niet tegen zijn opgewassen.

### REDUCTIES MET EEN FACTOR 20

Dat is het doel van het DTO-programma. Dat wil zeggen: twintig keer minder milieubelasting per eenheid van welvaart. Reducties in die orde van grootte zijn noodzakelijk omdat de voorraden grondstoffen en fossiele brandstoffen nu eenmaal uitputtelijk zijn en het vermogen van het ecosysteem om verontreinigingen te incasseren beperkt is. Op sommige punten zijn de grenzen nu al in zicht. Het is de uitdaging om te schetsen hoe economische en demografische groei mogelijk zijn terwijl tegelijk de totale milieudruk omlaag gaat. De benodigde reducties kunnen we niet simpelweg bereiken met bestaande systemen en technologieën. Er is een omslag nodig naar nieuwe grondstoffen en materialen, andere productietechnieken en nieuwe systemen.

**TECHNOLOGIE DIENT ALS INGANG** om de reducties te bewerkstelligen. Technologie is echter geen doel op zich, maar een hulpmiddel om te voorzien in menselijke behoeften. Technologische oplossingen hebben alleen kans van slagen als die een passend antwoord vormen op maatschappelijke ontwikkelingen en het zijn vaak structurele en culturele factoren die duurzaamheid in de weg staan. In deze publicatie staan technologische innovaties daarom niet op zichzelf, maar worden ze beschreven in relatie tot culturele en structurele ontwikkelingen.

\* Het DTO-Programma Chemie is gericht op de situatie in 2050. Daarmee wijkt het programma af van andere DTO-programma's die zich voor het merendeel richten op het jaar 2040.

HET DTO-PROGRAMMA IS IN 1993 VAN START GEGAAN EN IS IN 1997 AFGESLOTEN. HET PROGRAMMA IS EEN INITIATIEF GEWEEST VAN DE VOLGENDE VIJF MINISTERIES: ECONOMISCHE ZAKEN • LANDBOUW, NATUURBEHEER EN VISSERIJ • ONDERWIJS, CULTUUR EN WETENSCHAPPEN • VERKEER EN WATERSTAAT • VOLKSHUISVESTING, RUIMTELIJKE ORDENING EN MILIEUBEHEER.

De resultaten van de vijf deelprogramma's zijn in aparte publicaties beschreven. Deze publicatie gaat over het deelprogramma Chemie. Aan het DTO-programma is een bijdrage geleverd door zeer veel belanghebbenden en deskundigen afkomstig van bedrijfsleven, wetenschap, overheid en maatschappelijke organisaties. De namen van degenen die een bijdrage hebben geleverd aan het deelprogramma Chemie zijn in de colofon op pagina 56 van deze publicatie vermeld.



## VANUIT DE TOEKOMST OP WEG

Welke innovaties zijn nodig om een duurzame ontwikkeling op gang te brengen en zo mogelijk te versnellen? Welke knelpunten zijn er? Welke oplossingen zijn haalbaar en langs welke route kunnen we die implementeren? Om deze vragen op een systematische manier te beantwoorden, is tijdens het DTO-programma een nieuwe werkwijze ontwikkeld, die is samengevat in een stappenplan. In deze publicatie kunt u lezen hoe binnen het DTO-programma Chemie aan dat stappenplan gevolg is gegeven. De werkwijze is niet alleen voor het DTO-programma ontwikkeld, maar kan ook als leidraad dienen voor andere bedrijven, maatschappelijke organisaties en overheden die zich oriënteren op de toekomst en daartoe een innovatiestrategie voor de lange termijn ontwikkelen.



### VIER ELEMENTEN ZIJN KENMERKEND VOOR DE DTO-AANPAK:

Oplossingen voor de lange termijn bepalen de richting voor maatregelen op korte termijn. We gaan vanuit een visie op de toekomst op zoek naar mogelijkheden en kansen. Het zijn daardoor niet de huidige kansen en bedreigingen die het onderzoek sturen, maar toekomstige behoeften en doelstellingen.

De technologie vormt de ingang van het programma, maar worden niet los gezien van culturele en structurele factoren. Culturele factoren bepalen de noodzaak en de acceptatie van de technologie. Structurele factoren bepalen hoe de technologie kan worden ingebed en gerealiseerd.

De ontwikkeling van draagvlak is cruciaal, want dat biedt een basis om op verder te gaan. Een goed draagvlak ontstaat door oplossingen tot stand te brengen in samenwerking en in samenwerking met iedereen die uiteindelijk met de ontwikkelde plannen te maken krijgt.

Creativiteit en een heldere toekomstvisie ontstaan niet in een keer. De werkwijze die DTO heeft ontwikkeld is dan ook niet lineair, zoals het stappenplan wellicht doet vermoeden, maar iteratief. Dat wil zeggen dat regelmatig een stap terug wordt gezet wanneer zich nieuwe inzichten aandienen.

## DTO IN ZEVEN STAPPEN

**STAP 1: STRATEGISCHE PROBLEEMORIËNTATIE** Een visie op duurzaamheid vormt de ruggengraat van het programma. Binnen het DTO-programma gaan we uit van economische en demografische groei zonder uitputting van grondstofvoorraden, zonder aantasting van biodiversiteit en zonder accumulatie van afvalstoffen. Een consequentie van die keuze is, dat reducties van de milieubelasting met een factor twintig of daaromtrent nodig zijn.

Om de huidige onduurzaamheden en de benodigde trendbreuken op het spoor te komen, is een brede en fundamentele analyse nodig: een strategische probleemoriëntatie. Het gaat immers niet om het verhelpen van lokale of specifieke knelpunten, maar om een totaalaanpak, waarbij sociale, culturele en technologische dimensies elkaar raken.

De strategische probleemoriëntatie is geen bureauwerk. Een essentiële bijdrage wordt geleverd door een brede groep betrokkenen: belanghebbenden en deskundigen afkomstig uit meerdere disciplines.

**STAP 2: SCHETS VAN EEN DUURZAME TOEKOMST** Een realistische en consistente schets van de wereld van morgen vormt de kapstok voor innovaties. De tweede stap van het DTO-programma bestaat daarom uit de ontwikkeling van zo'n toekomstschets. Die schets is bedoeld als richtinggevend streefbeeld. Een schets in houtskool. De vragen die bij de ontwikkeling van die schets centraal staan, zijn: hoe ziet de samenleving er over vijftig jaar uit, welke behoeften kent die samenleving en hoe kan de technologie behulpzaam zijn om daar op een duurzame manier in te voorzien?

Vijftig jaar vooruit denken mobiliseert creativiteit, smooit een aangeboren neiging tot extrapoleren en biedt de mogelijkheid om los te komen van actuele beperkingen. Binnen de DTO-programma's is de creativiteit op verschillende manieren extra geprikkeld. Bijvoorbeeld tijdens brainstormsessies en workshops met deelnemers afkomstig uit verschillende disciplines, in interviews met wetenschappers in binnen- en buitenland en met uitnodigingen aan specialisten om in een essay hun persoonlijke visie weer te geven. De toekomstschets is daarmee een beeld dat door meerdere partijen wordt gedragen.

## ONTWIKKELING LANGE TERMIJN VISIE



# ONTWIKKELING LANGE TERMIJN VISIE



**STAP 3: BACKCASTING** Tussen de werkelijkheid van vandaag en de schets van de toekomst loopt een denkbeeldige ontwikkelingslijn. Het beoogde eindpunt van die lijn hebben we in stap 2 geformuleerd. Backcasting is een methode om de ontwikkelingslijn in omgekeerde richting langs te lopen en daarmee innovaties te identificeren die noodzakelijk zijn om het eindpunt te bereiken. Dat kunnen technologische innovaties zijn, maar ook culturele of structurele. Ook backcasting vergt, net als de ontwikkeling van een toekomstschets, de inbreng van betrokkenen afkomstig uit meerdere organisaties, bedrijven en disciplines. En ook in deze stap zijn brainstormsessies, workshops en verzoeken om essays goede middelen om die inbreng te genereren. Het einddoel van dit deel van het programma is een kritische selectie van kansrijke innovaties die tot stand zijn gekomen in samenspraak met alle betrokken partijen.

# ONTWIKKELING KORTE TERMIJN AANPAK



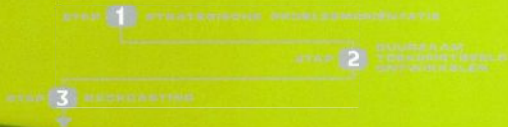
**STAP 4: DEFINITIEFASE** De geselecteerde ideeën worden verder onderzocht. We bepalen welke resultaten kunnen worden bereikt met de beschreven oplossingen, welke structurele, technologische en culturele maatregelen noodzakelijk zijn en welke bedrijven of instellingen in staat zijn om de ideeën verder te ontwikkelen. Gespecialiseerde bureaus, instituten en universiteiten kunnen de aangedragen oplossingen concreteriseren en op hun haalbaarheid analyseren. Het einddoel van deze stap is een gemotiveerde keuze voor de meest kansrijke opties.

**STAP 5: UITWERKING** Het beoogde eindresultaat van het DTO-programma is een illustratie van de technologie, bijvoorbeeld in de vorm van een demonstratieproject of in de vorm van *Research & Development* programma's om de gevonden oplossingen uit te werken en de benodigde trendbreuken te bewerkstelligen. De analyse die heeft geleid tot de keuze voor kansrijke opties in stap 4, wordt daarom in deze vijfde stap verder onderbouwd. De voorgestelde oplossingen worden gespecificeerd en voorzien van een ontwikkelingsplan met een tijdpad. Het is de bedoeling dat de uitwerking tot de verbeelding spreekt van een grote groep belanghebbenden; een illustratie waaraan iedereen kan zien welke acties nodig zijn om op termijn een duurzame technologie te realiseren.

## UITVOERING



## ONTWIKKELING LANGE TERMIJN VISIE



## ONTWIKKELING KORTE TERMIJN AANPAK

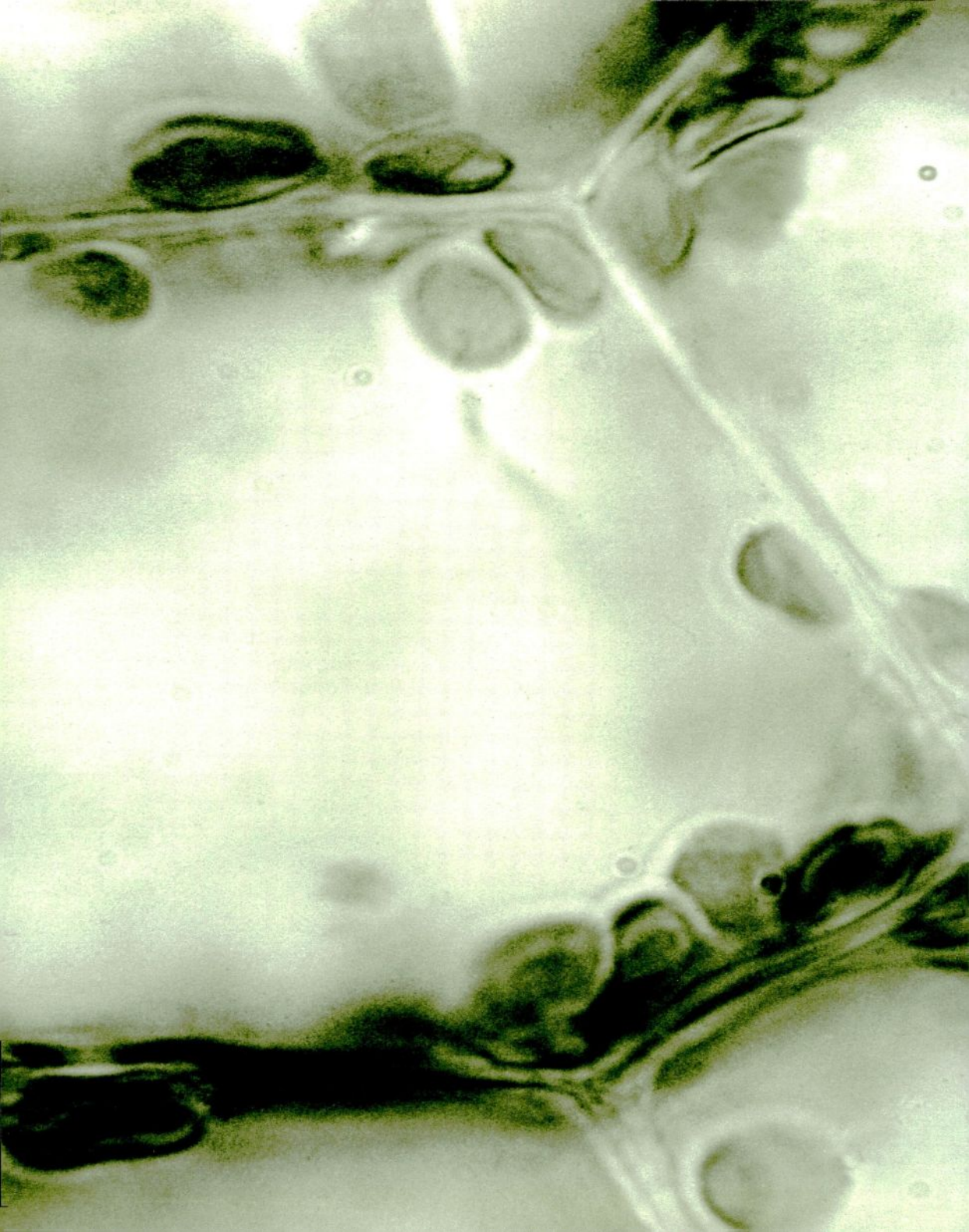


**STAP 6: SAMENWERKING EN INBEDDING** De ontwikkeling van draagvlak heeft als een rode draad door het gehele DTO-programma gelopen. Het eindresultaat van het programma is dan ook meer dan het idee van een paar mensen. De samenwerking met kennisinstellingen, overheden, bedrijven en maatschappelijke organisaties garandeert een zekere inbedding. Voor vrijwel alle onderdelen van het programma zijn partners gevonden die bereid en in staat zijn om in onderlinge samenwerking de innovaties verder te brengen. Er zijn nieuwe allianties gevormd, die in deze stap van het programma worden geformaliseerd. De deelnemende partners nemen de verantwoordelijkheid voor de uitvoering van de demonstratieprojecten en de ontwikkelingsprogramma's over.

## UITVOERING



**STAP 7: REALISATIE EN IMPLEMENTATIE** Het einddoel van het DTO-programma is uiteraard dat de ontwikkelde duurzame technologie werkelijkheid wordt en tastbare resultaten oplevert. De fundamentele werkwijze, de betrokkenheid van een groot aantal partijen en de voortdurende oriëntatie op de lange termijn vormen goede uitgangspunten voor innovaties met een duurzaam resultaat.





ONTWIKKELING LANGE TERMIJN VISIE

## STAP 1 STRATEGISCHE PROBLEEMORIËNTATIE



# DE CHEMIE VAN VANDAAG

CHEMIE IS EEN ESSENTIËLE FACTOR IN DE SAMENLEVING.

CHEMIE STAAT AAN DE BASIS VAN DE ENERGIEVOORZIENING EN VAN DE LEVENSCYCLUS VAN TAL VAN CONSUMPTIEARTIKELEN.

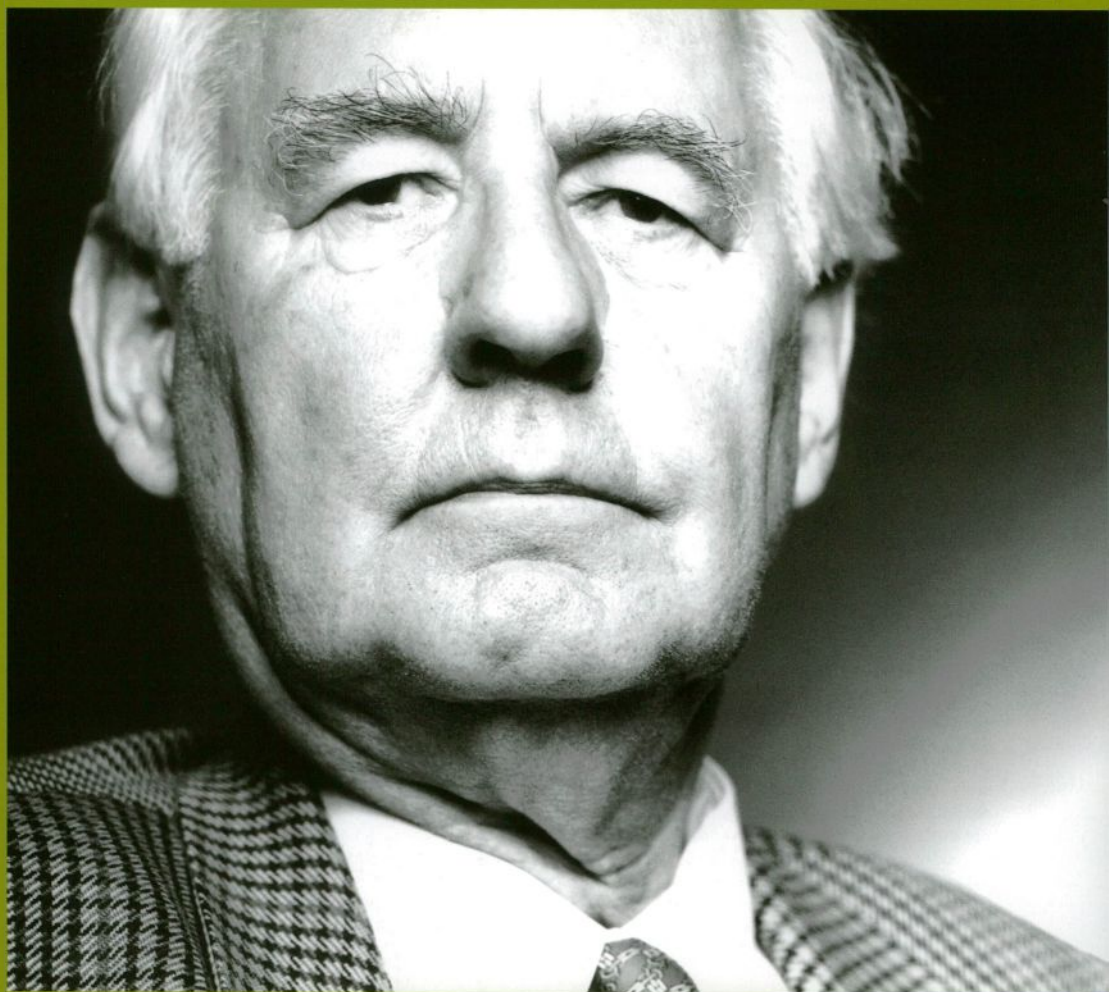
DE HEDENDAAGSE CHEMIE IS ECHTER NIET DUURZAAM. WE MAKEN GEBRUIK VAN EINDIGE GRONDSTOFFEN, MET NAME KOLEN, OLIE EN GAS. PRODUCTIEPROCESSEN, VOORAL IN DE FIJNCHEMIE, ZIJN NIET ERG EFFICIËNT. RENDEMENTS-VERBETERINGEN ZIJN IN DE AFGELOPEN JAREN GROTENDEELS INGEHAALD DOOR PRODUCTIEVERHOGINGEN WAARDOOR VAN EEN ONNODIGE MILIEUBELASTING SPRAKE BLIJFT.

DE VRAAG IS DAAROM:

**BIEDT DE CHEMIE** mogelijkheden om duurzaamheid en welvaart te combineren? Die vraag is in gesprekken voorgelegd aan circa vijftig mensen binnen de chemische industrie, brancheorganisaties, technologische instituten, universiteiten, adviesbureaus en medefinancierende ministeries. Het resultaat van de gesprekken gaf een beeld van de 'state of the art' van de chemische sector en van relevante ontwikkelingen. Tegelijk is een indruk ontstaan van de mogelijke bijdrage die de geconsulteerde partijen aan het DTO-programma Chemie zouden kunnen leveren. Enkele geïnterviewden zijn uitgenodigd om in een begeleidingsgroep van het programma plaats te nemen.

## ANIMO VOOR

"HET IS HEEL UNIEK DAT HET IS GELUKT OM MET BETREKKELIJK WEINIG GELD GROTE MULTINATIONALE  
BEDRIJVEN TE INTERESSEREN VOOR EEN VER WEG GELEGEN DOEL." DAT CONCLUDEERT EGBERT VAN SPIEGEL  
ALS HIJ DE RESULTATEN VAN HET DTO-PROGRAMMA TEGEN HET LICHT HOUDT: "DAT WAS TIEN JAAR GELEDEN  
ABSOLUUT UITGESLOTEN. NU IS ER EEN VEEL GROTERE NEIGING OM CONTACTEN TE ONDERHOUDEN EN OM  
DINGEN IN PUBLIEK-PRIVATE SAMENWERKING TE DOEN."



# LANGE TERMIJN

"Toen ik nog directeur-generaal wetenschapsbeleid was, heb ik eens een poging gedaan om de grote chemische bedrijven bij elkaar te krijgen om een topinstituut *avant la lettre* op te richten. En dat is mij niet gelukt omdat ik de eis stelde 'jullie spreken met één mond'." Nu ligt dat volgens Van Spiegel anders doordat bedrijven elkaar nodig hebben rond doelstellingen voor de lange termijn. Duurzaamheid is in dit verband steeds meer een sleutelbegrip aan het worden voor technologische innovaties. "Die rekenrij van DTO met die factor twintig is naar mijn idee vrij dubieus, maar het geeft een duidelijke richting aan en daar gaat het om. Het gaat om drastische vermindering van milieubelasting, om stringente

**"DE WEDLOOP OM DE TECHNOLOGIE IN DE WERELD IS ENORM EN BEDRIJVEN ZIJN ZICH DAAR STEEDS BETER VAN BEWUST."**

DR. E. VAN SPIEGEL IS VOORZITTER VAN DE KLANKBORDGROEP DTO EN VOORMALIG DIRECTEUR-GENERAAL WETENSCHAPSBELEID

energiebesparing. Je stelt eisen, je schetst een achtergrond en je wilt een ontwikkeling in gang zetten waar perspectief in zit." Bedrijven blijken in dergelijke ambitieuze doelstellingen voor de lange termijn geïnteresseerd te zijn. "Die gaan niet lachen over duurzaamheid of over biomassa en dat soort zaken. Dat is in de afgelopen jaren heel erg veranderd."

## GLOBALISERING

De drang tot samenwerking en tot het formuleren van doelstellingen voor de lange termijn wordt volgens Van Spiegel sterk aangewakkerd door globalisering. "Men is bang ergens op grandioze wijze de boot te missen, doordat men te weinig doet aan lange-termijnontwikkeling, dat men toch te kort op de markt zit. En er is een enorme productie van kennis in de hele wereld. Het is niet zo dat de knappe jongens alleen maar bij Philips zitten. Je vindt net zulke knappe jongens in Taiwan of in Korea. Echte kennis wordt net zo goed in India ontwikkeld. Kijk in Singapore naar de oplossingen die men treft op het gebied van transport en verkeer: één en al high-tech. De wedloop om de technologie in de wereld is enorm en bedrijven zijn zich daar steeds beter van bewust." Om sterker te staan in de mondiale krachtsverhoudingen gaan bedrijven steeds vaker nieuwe samenwerkingsverbanden aan; met elkaar, met de wetenschap, met de overheid en met maatschappelijke organisaties: "Al die grote companies kijken heel goed om zich heen waar interessante groepen zitten. De farmaceutische

industrie let op al die kleine biotechnologiegroepjes, die lang niet allemaal boven de horizon uitkomen omdat het heel moeilijk is om met nieuwe producten te komen. Je hoeft alleen maar op de beurs te kijken naar de speculaties met aandelen van die kleine high-tech-bedrijfjes en je weet hoe laat het is." Ook met diverse universiteiten in de wereld zoekt het bedrijfsleven steeds meer samenwerking, "omdat je daar veel eerder bij het jonge talent bent en bij de laatste stand van de wetenschap, niet per se omdat ze zo'n knappe professor hebben gehad, maar gewoon omdat ze les hebben gehad uit de nieuwste leerboeken. Je kunt geen mensen meer 25 jaar aan hetzelfde onderwerp laten werken. Daar heb je niet zoveel meer aan want de wereld schuift onder je voeten door."

## PRE-COMPETITIEF

Publiek-private samenwerking is de nieuwe trend. Daarbij gaat het om wisselwerking in een pre-competitief stadium, wanneer er nog geen directe onderlinge concurrentie bestaat. En juist duurzaamheidsdoelstellingen voor de lange termijn lenen zich uitstekend voor dergelijke samenwerkingsverbanden: "Tot nu toe was de trend dat fundamenteel onderzoek een taak is van de overheid, die daar dus ook maar voor moest betalen. Nu zie je dat de publieke en de private kant van het researchbestel in toenemende mate de weg zoeken om tot langdurige verbanden te komen." En ook maatschappelijke organisaties, zoals milieugroeperingen, schuiven daarbij aan. "Je ziet dat Vereniging Milieudefensie nu met een voorstel komt voor Schiphol. Dat biedt uitdagingen. Constructief, maar ook spits, leuk, origineel. Kijk ook naar Greenpeace. Wat zij met Shell hebben uitgehaald is sterk vernieuwend. Daar moet je niet gering over denken. Ook dat is innovatie. Het geeft een enorme impuls en het opent nieuwe perspectieven. Innovatie is niet alleen iets technisch. Je kunt ook innovaties in organisatorische of sociale zin hebben."

Verschillende DTO-projecten laten volgens Van Spiegel heel goed zien dat er bij het bedrijfsleven veel animo bestaat voor een brede aanpak, waarbij doelstellingen voor de lange termijn centraal staan: "Kijk naar het Chemieproject. De researchleiders van Akzo, Shell en DSM zitten opeens met elkaar om tafel. Kijk naar het Voedenproject, dat vindt z'n weg in het Technologisch Topinstituut. Die mensen pikken het op, ze vinden het interessant want ze zien daar openingen en kansen in. Het is concreet geworden en het past bij de problematiek waar ze dagelijks mee bezig zijn. Het past ook binnen hun research-beleid voor de korte en de lange termijn. En ze doen allemaal een duit in het zakje. Als je daar als overheid ook aan bijdraagt, ben je zó in staat er iets moois uit te laten opbloeien."

*David Jones*

*Blue  
20*

*11  
202-5*



**PETROL**  
**CAPACITY 5 LITRES**  
**DO NOT OVERFILL.**  
HIGHLY FLAMMABLE. DO NOT SMOKE.  
KEEP CONTAINER AWAY FROM SOURCES OF  
IGNITION. DO NOT STORE IN DIRECT SUNLIGHT.



# DE CHEMIE VAN DE TOEKOMST

OOK OVER VIJFTIG JAAR WILLEN WE ONS KUNNEN  
KLEDEN, VOEDEN, HUISVESTEN, VERPLAATSEN EN

IS ER VRAAG NAAR BASISSTOFFEN VOOR ALLERLEI  
PRODUCTIEPROCESSEN. BOVENDIEN VRAGEN NIET  
ALLEEN DE INWONERS VAN (RIJKE) WESTERSE  
LANDEN OM WELVAART, MAAR IN TOENEMENDE  
MATE OOK INWONERS VAN DE HUIDIGE ONT-  
WIKKELINGSLANDEN. MAAR WE LEVEN DAN WEL  
IN EEN WERELD MET TWEE KEER ZOVEEL MENSEN  
EN EEN AANMERKELIJK HOGER ENERGIEVERBRUIK.

## EEN REALISTISCHE EN CONSISTENTE SCHETS

van de toekomst geeft de randvoorwaarden aan waar de chemie van de toekomst aan moet voldoen. We moeten streven naar een chemie die op een duurzame manier voorziet in een stijgende vraag naar grondstoffen voor producten. Een dergelijke schets wordt in dit hoofdstuk gepresenteerd.

Deze schets is onder andere gebaseerd op een bijeenkomst met een panel van zeven wetenschappers met een visie op een duurzame toekomst. Hen was gevraagd een inschatting te maken van demografische en economische ontwikkelingen in de komende vijftig jaar, om op basis daarvan meer te kunnen zeggen over de producten waar in de toekomst behoefte aan is en over de manier waarop in die behoeften zou kunnen worden voorzien.

## DUURZAME GROEI

### ONSTUITBARE GROEI

**MET VRIJ GROTE ZEKERHEID** mogen we aannemen dat de wereldbevolking in de komende jaren zal blijven groeien. De schattingen over deze groei variëren nogal. De Wereldbank verwacht halverwege de volgende eeuw een wereldbevolking van maar liefst twaalf miljard mensen. Maar ook lagere schattingen, zoals recente schattingen van de Verenigde Naties komen nog altijd uit op acht miljard mensen in 2050. Vooral in de landen van Zuid-Azië en Afrika zal zich een enorme bevolkingsgroei voordoen.

**NIET ALLEEN DE BEVOLKING GROEIT** maar ook het gemiddelde bruto nationaal product in de wereld. Nu is de welstand per inwoner in noordelijke landen ongeveer het tienvoudige van die in zuidelijke landen. Wanneer we die verschillen in de loop van de volgende eeuw enigszins willen nivelleren, moeten de huidige ontwikkelingslanden aanzienlijk meer ruimte krijgen om zich verder te ontplooiën. Economische groei wordt in belangrijke mate gestimuleerd door het opheffen van handelsbelemmeringen. In 2050 zal het gemiddelde bruto nationaal product daardoor een veelvoud zijn van het huidige.

**DE CONSUMPTIE IN 2050** zal als gevolg van de economische groei eveneens fors zijn toegenomen. Meer mensen zullen vaker en verder reizen. Ook de behoefte aan graan zal waarschijnlijk sterker stijgen dan de wereldbevolking. Net als de vraag naar kleding, huisvesting en (huishoudelijke) apparaten. Het wereldenergiegebruik zal hierdoor flink stijgen. Okkerse & Van Bakkum (1992) rekenen op een toename met een factor twee of drie.

**OM DUURZAAMHEID TE BEREIKEN** moeten we zoeken naar methoden om op een andere manier in de vraag te voorzien. Dat wil zeggen: zonder uitputting van grondstofvoorraden, zonder accumulatie van verontreinigende stoffen en zonder aantasting van natuurlijke systemen.

Voor 2050 gaan we daarom uit van een energievoorziening die meer dan nu gebaseerd is op rechtstreekse benutting van zonne-energie en benutting van energievoorraden in de atmosfeer (bijvoorbeeld wind), de hydrosfeer (bijvoorbeeld waterkracht) en de biosfeer (bijvoorbeeld biomassa). Deze voorraden worden in korte tijd door de natuur aangemaakt. Zolang we het verbruik in balans houden met de (natuurlijke) aanwas, worden geen voorraden uitgeput en is de koolstofkringloop rond. De mogelijkheden om deze energiestromen te benutten, lijken in ruime mate aanwezig.

**DE CHEMISCHE INDUSTRIE** zal zich samen met de energiesector meer en meer baseren op andere grondstoffen. Biomassa is een voor de hand liggend alternatief.

Kolenvergassingsinstallaties kunnen op biomassa worden omgeschakeld en koolstofverbindingen die in biomassa zijn vastgelegd, kunnen in principe aan de basis staan van dezelfde producten als welke de huidige chemische industrie maakt op basis van fossiele grondstoffen. Zo kunnen kunststoffen net zo goed uit plantaardig materiaal worden gemaakt als uit aardolie. Daarnaast heeft biomassa een aantal specifieke eigenschappen en moleculen die via synthetische weg moeilijk te maken zijn.

**KUNSTSTOFFEN OP BASIS VAN BIOMASSA** kunnen een veel bredere toepassing krijgen dan nu. Het is denkbaar dat, bijvoorbeeld in de bouw, kunststof niet alleen gebruik wordt voor leidingen en goten, maar dat vrijwel een compleet huis van bio-kunststof wordt gemaakt. Hiermee wordt het gebruik van niet-vernieuwbare grondstoffen vermeden. Ook voor mobiele toepassingen kunnen bio-kunststoffen van pas komen. Een kunststof auto is lichter en daarmee zuiniger. In het afvalstadium kunnen goed gedefinieerde kunststofstromen als product worden hergebruikt. Andere stromen worden, net als afvalhout en ander organisch materiaal, verwerkt tot olie of gas.

**ER ZULLEN IN 2050 ANDERE CHEMISCHE PROCESSEN** worden gebruikt. Een aantal basistechnieken, zoals destillatie, extractie en kolomscheiding zullen ook in 2050 nog worden gebruikt, maar zijn efficiënter dankzij een grotere inzet van sensoren en computersystemen. On-line analyse is in 2050 de norm, monsteranalyse in een laboratorium de uitzondering. Op de tweede plaats zal een aantal energie-intensieve processen, bijvoorbeeld de ammoniakproductie, zijn vervangen door processen die minder energie vergen. Het gebruik van katalysatoren, al dan niet geïnspireerd op enzymen in de natuur, maakt dit mogelijk. Een derde ontwikkeling is, dat processen in de chemische industrie veel meer dan nu aan elkaar worden gekoppeld. Wat bijproduct is van het ene proces, is grondstof voor een ander proces. Wat overblijft wordt met andere organische reststoffen verwerkt als energiegroendstof.



## **WAT IS NU DE WAARDE VAN DEZE TOEKOMSTSCHETS?**

Ziet de (chemische) wereld er in 2050 werkelijk uit zoals hier is gesuggereerd? Waarschijnlijk niet helemaal en dat is ook niet de bedoeling van deze schets. We kunnen de toekomst immers niet voorspellen. Wel zijn de geraadpleegde betrokkenen het erover eens dat dit beeld realistisch is. De schets heeft daarom waarde als oriëntatiepunt voor een zoektocht naar nieuwe technologieën en nieuwe combinaties van bestaande technologieën. De vraag die we op basis van deze schets kunnen stellen is: in welke richting kunnen we zoeken naar kansen voor een duurzame chemie? Die vraag komt in het volgende hoofdstuk aan de orde.



POSTER  
4.800

Y4800

777 Fax  
Y8250

Y4800

Y1300

Y3500

Y2200

MICROPHONE MIXER

Panasonic  
PORTABLE PLAYER

山一電気  
TEL:03-255-6999

SONY  
PORTABLE PLAYER

SONY  
PORTABLE PLAYER

STEREO  
THE WAVE

SONY  
Y880

SONY  
Y1670

SONY  
Y1250

SONY  
Y1670

SONY  
Y1670

SONY  
Y5300

SONY  
Y6380

SONY  
Y14400

SONY  
Y1670

MZ-110  
Y2250

Y1250

Y2250

SONY  
Y1670

SONY  
Y1670

GEAR  
Y14400

SONY  
Y1670

SONY  
Y14400

Panasonic  
SELECTOR  
SP-80300

Panasonic  
SELECTOR  
SP-80300





# OP ZOEK NAAR KANSEN

"CHEMICI ZIJN GEEN DOEMDENKERS", ZEGT

PROFESSOR JOOSTEN (DSM), "ER IS VEEL

INNOVATIVITEIT EN CREATIVITEIT AANWEZIG

OM KENNIS OM TE ZETTEN IN GELD". DE

UITDAGING VOOR DE CHEMIE IS OM OP

EEN DUURZAME MANIER TE VOORZIEN IN

EEN STIJGENDE VRAAG NAAR BASISSTOFFEN,

ZONDER UITPUTTING VAN VOORRADEN,

ZONDER AANTASTING VAN NATUURLIJKE

SYSTEMEN EN ZONDER ACCUMULATIE VAN

VERONTREINIGENDE STOFFEN.

## UITGAANDE VAN EEN DUURZAME TOEKOMST

zijn kansrijke ontwikkelingen voor de chemie in kaart gebracht. Dit is op twee manieren gedaan. Allereerst is door een aantal deskundigen met inzicht in actuele ontwikkelingen van de huidige chemie een serie essays geschreven. Daarin hebben zij rond enkele specifieke thema's aangegeven welke kansen er volgens hen op de lange termijn zijn. De essays zijn gepresenteerd tijdens een colloquium aan een zestigtal betrokkenen uit de wereld van industrie, wetenschap en overheid en zijn gebundeld in de DTO-publicatie "Duurzaamheid en chemie".

Daarnaast hebben circa vijftien directeuren R&D van chemische ondernemingen, hoogleraren en beleidsmakers in twee bijeenkomsten een inschatting gemaakt van de mogelijkheden van de chemie om op een duurzame manier te voorzien in de behoeften van de toekomstige samenleving. De resultaten van deze bijeenkomsten zijn gepresenteerd in de DTO-publicatie "Reactie op de toekomst".

In dit hoofdstuk wordt deze zoektocht samengevat aan de hand van vier thema's:

- NIEUWE GRONDSTOFFEN EN NIEUWE ENERGIEBRONNEN
- NIEUWE VORMEN VAN PLANTCONVERSIE
- NIEUWE PRODUCTIEPROCESSEN
- NIEUWE PRODUCTEN

## NIEUWE GRONDSTOFFEN EN NIEUWE ENERGIEBRONNEN

**BIOMASSA IS EEN GESCHIKTE GRONDSTOF VOOR DE CHEMISCHE INDUSTRIE.** Door vergassing onder het toevoegen van lucht of zuivere zuurstof wordt biomassa omgezet in een mengsel van koolmonoxide en waterstof, beter bekend als synthese gas. Onder toevoegen van extra waterstof wordt het verkregen synthese gas omgezet in methanol. Een andere mogelijkheid om biomassa te converteren is het HTU-proces, ontwikkeld door Shell. HTU staat voor Hydro Thermal Upgrading. Hierbij wordt biomassa onder hoge druk en bij een hoge temperatuur omgezet in biocrude, een product dat lijkt op ruwe aardolie. Verder is het mogelijk om biomassa te converteren via fermentatie. Hierdoor ontstaat een oplossing van ethanol in water. Door scheidingstechnieken kan hieruit zuivere ethanol worden bereid. Wanneer het fermentatieproces zich in afwezigheid van zuurstof voltrekt, ontstaat er methaan.

**DAARMEE ZIJN WE OP HET TERREIN VAN DE C1-CHEMIE** ofwel de chemie die gebaseerd is op het gebruik van basisstoffen met één koolstofatoom: koolmonoxide, kooldioxide, methaan en methanol. Bij de ontwikkeling van de C1-chemie hoeven we niet van nul af te beginnen. Vergassen van biomassa is vergelijkbaar met de vroegere productie van gas uit steenkool. De C1-chemie pakt als het ware de draad van deze steenkoolchemie weer op. Met behulp van speciale katalysatoren is het mogelijk om een breed scala aan moleculen te maken zoals etheen, propyleen, butyleen, die op hun beurt grondstof zijn voor de vervaardiging van kunststoffen, rubbers en andere producten.

**OP KLEINE SCHAAL WORDEN BIO-KUNSTSTOFFEN NU AL GEPRODUCEERD.** Een voorbeeld is biopol dat gemaakt wordt op basis van zetmeel, suiker en cellulose. Biopol wordt onder andere verwerkt in sommige shampoo-flessen (Wella) en luiers (Procter & Gamble). Het Nederlandse bedrijf Avebe produceert, uitgaande van aardappelen, een aantal bio-plastics, coatings voor de papierindustrie en verschillende soorten lijmen. Unichema produceert, uitgaande van biologisch materiaal, onder andere wasmiddelen en cosmetica.

**NAAST GRONDSTOF VOOR DE CHEMIE** is biomassa een belangrijke bron van energie. Nu al voorziet biomassa in circa vijftien procent van de wereldenergiebehoefte, zij het voor een groot deel door ongecontroleerde houtkap en zeer inefficiënt gebruik. Er zijn tal van mogelijkheden voor efficiëntieverbetering. Zo kan biomassa worden omgezet tot synthese gas en van daaruit tot methanol. Methanol kan vervolgens dienen als grondstof voor de basischemie en worden gebruikt als vloeibare brandstof.

**EEN TWEDE KANSRIJKE ENERGIEBRON IS FOTO-VOLTAÏSCHE ZONNE-ENERGIE.** De momenteel verkrijgbare zonnecellen zijn echter duur en hebben een matig rendement waardoor de prijs van opgewekte zonnestroom hoog is: vaak meer dan een gulden per kilowattuur. Maar de technologie ontwikkelt zich snel waardoor het denkbaar is dat over enkele decennia fotovoltaïsche zonne-energie concurrerend is met energie uit fossiele bronnen. Met name de mogelijkheden van nieuwe zonnecellen die worden gemaakt uit organisch materiaal, zijn veelbelovend. De chemische industrie als potentiële producent van zonnecellen kan een belangrijke bijdrage leveren aan de verdere ontwikkeling ervan.

## NIEUWE VORMEN VAN PLANTCONVERSIE

**ER IS OP AARDE VOLDOENDE RUIMTE** om voedsel voor tien miljard mensen te verbouwen en daarnaast biomassa te produceren voor *non-food* toepassingen. Als we de chemie volledig baseren op biomassa, blijft er nog genoeg over om een kwart van de wereldenergiebehoefte te dekken. Dat becijferen Okkerse en Van Bekkum in een essay voor het DTO-programma. Het beschikbare landbouwareaal kan bovendien nog worden uitgebreid door verzilte landbouwgronden opnieuw in gebruik te nemen en door gewassen voor *non-food* toepassingen te modificeren. Volgens Rozema et al (1996) is de ontwikkeling van zouttolerante gewassen voor een aantal toepassingen mogelijk.

**GEbruik VAN BIOMASSA** als grondstof voor de chemie is aantrekkelijk vanwege de duurzaamheid, maar niet vanwege de prijs. Een mogelijkheid om het prijsverschil tussen biomassa en fossiele grondstoffen te verkleinen, is om gewassen beter te benutten. Zoals we de verschillende fracties van aardolie voor specifieke toepassingen opwerken, zo kunnen we ook de fracties van de plant voor verschillende toepassingen gebruiken: geïntegreerde plantconversie, ofwel *whole crop utilisation*. Alle fracties van de plant worden daarbij benut. Een deel van de plant is geschikt voor menselijke consumptie, een ander deel als veevoer, weer een ander deel als (hoogwaardige) basisstof voor de chemie en de rest als basisstof voor energie-opwekking.

Een voorbeeld van een gewas dat in Nederland perspectieven biedt, is hennep. Hennep levert vezels, olie en hoogwaardige alfa-cellulose. De vezels zijn bruikbaar voor papier, textiel en als wapening in kunststoffen. De alfa-cellulose kunnen worden versponnen tot rayon-achtige vezels of er kan plastic van worden gemaakt. De olie is onverzadigd en leent zich voor technische toepassingen zoals coatings en thermosets. De rest van de plant is bruikbaar als energiebron.

## GESCHATTE BESCHIKBAARHEID VAN BIOMASSA

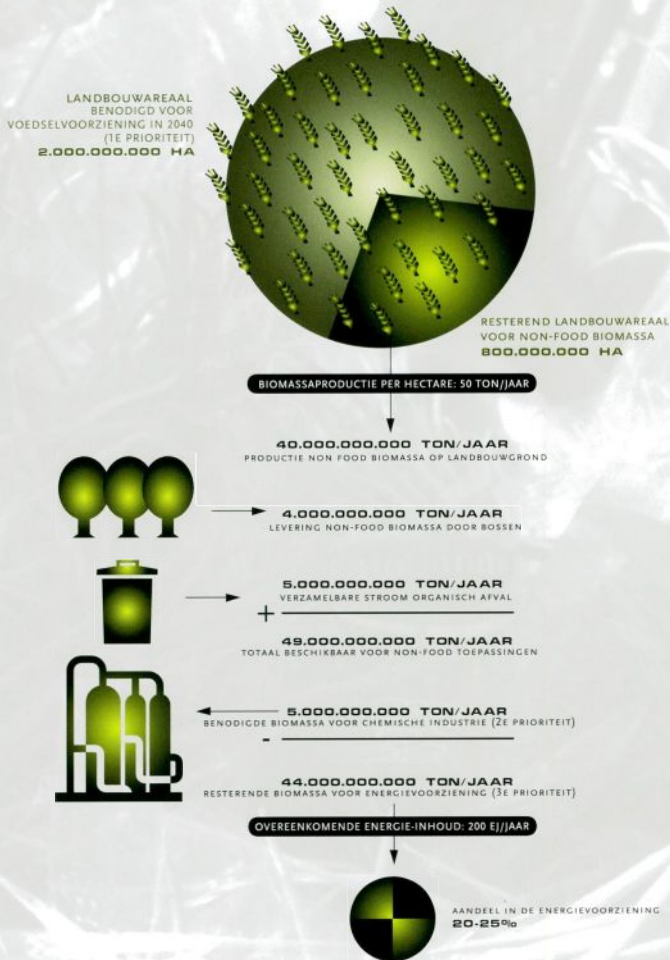
### NIEUWE PRODUCTIEPROCESSEN

ER ZIJN VEEL NIEUWE PROCES-TECHNIEKEN MOGELIJK. Een overzicht van kansrijke ontwikkelingen binnen de fijnchemie, wordt in een essay voor het DTO-programma gegeven door professor Fortuin en professor Boelhouwer. Veelbelovende technologieën zijn selectieve katalyse, biokatalyse en processen met kortere contacttijden, de toepassing van reactoren met zeer kleine variaties in verblijftijd, van reactoren voor homogene katalytische omzetting en omzettingen die versneld worden door enzymcomplexen. Traditionele hulpstoffen zoals oxidanten, kunnen vervangen worden door zuurstof. Filters en oplosmiddelen kunnen binnen het proces worden geregenereerd.

OM HET GEBRUIK VAN ENERGIE TERUG TE BRENGEN bieden hydrometallurgische processen, extractie en adsorptie mogelijkheden. Warmtewisseling binnen de chemische industrie kan worden geoptimaliseerd. Combinaties van extractie, adsorptie en membraan-technologie zijn veelbelovend. Met elektrische en magnetische velden kan de effectiviteit van dergelijke processen verder worden opgeschroefd.

### NIEUWE PRODUCTEN

PLANTEN HEBBEN SPECIFIEKE EIGENSCHAPPEN en bevatten vaak specifieke moleculen die een meerwaarde kunnen geven aan het eindproduct. Bepaalde stoffen komen in de natuur veelvuldig voor, terwijl die moeilijk of niet chemisch te synthetiseren zijn. Zo kunnen planten of micro-organismen stereospecifieke moleculen produceren, terwijl in de chemie vaak chirale mengsels worden geproduceerd. Dit is specifiek van belang bij de productie van medicijnen. Natuurlijke medicijnen zijn vaak in een kleinere dosering effectief, terwijl de productie met minder verlies gepaard gaat. Een voorbeeld is taxol, uit de taxusboom, dat werkzaam is tegen borstkanker. Met genetische sturing is het bovendien mogelijk om taxol te laten produceren door micro-organismen.



EEN HEEL ANDER VOORBEELD van een nieuw biochemisch product is een verbeterd type lijn dat geproduceerd wordt op basis van lignine uit hennep. Zetmeel uit aardappel kan worden gebruikt als absorptiemateriaal. Natuurlijke vezels kunnen worden gebruikt als wapening in lichte constructiematerialen die geschikt zijn om veel klassieke bouwmaterialen te vervangen. Nieuwe, lichte materialen doen hun entree in de voertuigtechnologie. Zetmeel en eiwitten zijn interessante grondstoffen voor kunstharzen; onverzadigde oliën zijn de basis voor een reeks natuurverven; vezels van hennep en vlas zorgen voor wapening. Ook op het gebied van kleding en voedsel kan de chemie tal van nieuwe producten voortbrengen waardoor bestaande niet-herbruikbare of niet-afbreekbare materialen zijn te vervangen.

# DUURZAAMHEID ALS

"HET IS HEEL BELANGRIJK DAT JE EEN PROGRAMMA MAAKT DAT TASTBAAR IS." ZEGT BINNE ZWANENBURG, "HET MOET HANDEN EN VOETEN HEBBEN, ZODAT MEN HET IN VERBAND KAN BRENGEN MET DE DAGELIJKSE PRAKTIJK". DE VOORNAAMSTE VERDIENSTE VAN HET DTO-CHEMIEPROGRAMMA IS DAT DUURZAAMHEID VER-  
TAALD IS IN CONCRETE PROGRAMMA'S DIE GEDRAGEN WORDEN DOOR MENSEN BINNEN INDUSTRIE EN WETENSCHAP. "JE KUNT NU IMMERS NOG NIET INVESTEREN VOOR 2040, MAAR JE KUNT WEL EEN STRATEGIE OPBOUWEN EN KIJKEN WAT JE NU WÈL ZOU KUNNEN DOEN."

*Is er bij de wetenschap voldoende bereidheid om met de industrie samen te werken?*

"Dat moet je beoordelen met aanzien des persoons. Sommige mensen vinden dat je niet al te veel met de industrie moet doen, omdat de wetenschappelijke vrijheid daarmee wordt ingeperkt. Ik hoor uitdrukkelijk niet bij die groep. Ik vind dat je als universitair onderzoeker met een rechte rug de contacten met het bedrijfsleven sterk kunt bevorderen. Wij kunnen vanuit onze eigen verantwoordelijkheid een belangrijke bijdrage leveren. We hebben veel kennis en een visie op wat er moet gebeuren. Dan is het in een goed samenspel uitstekend mogelijk om wetenschappelijke uitdagingen te vinden. Neem als voorbeeld de fijnchemie. De fijnchemie heeft als karakteristiek dat over het algemeen de hoeveelheid afval per kilogram product hoog is. De vraag is dan hoe je dat moet gaan sturen. Dat moet je niet doen door alleen nieuwe reacties uit te vinden. Je moet ook nieuwe technologieën ontwikkelen. Vroeger werkte je op het laboratorium waar dan een nieuwe reactie voor een nieuw product werd ontwikkeld. Vervolgens ging het naar de pilot-plant en werd het opgeschaald en tenslotte ging

*Is er in de afgelopen jaren iets veranderd?*

"Ik denk dat het heel sterk is veranderd. Je ziet echt een omslag omdat men nu vóór de muziek wil uitlopen in plaats van er achteraan. Men wil zelf deze discussie aangaan om te onderzoeken wat de mogelijkheden zijn voor het bedrijf. Er is een hele positieve attitude om op een zeer verantwoorde wijze bezig te zijn met de chemie. Daar is duurzaamheid er één van. Men is zeer enthousiast, men is zeer vooruitstrevend en er zijn zeer veel mensen binnen de chemie die een prima visie op de toekomst hebben. De tijd van de uitdrukking 'de chemie is toch vies, ze doen alles achter hun schutting', die tijd is echt voorbij. Vroeger was duurzaamheid altijd wat wollig. Nu is het in een concrete activiteit verpakt. Je ziet dat iedereen de weg van duurzaamheid in slaat. Die weg is lang, dat weten we, maar we kunnen wel een bestrating aanleggen, vooral ook omdat men het in verband kan brengen met de dagelijkse praktijk. Het past in het ontwikkelingswerk van de komende vijf jaar en ook in een langere termijn visie."

**"JE ZIET ECHT EEN OMSLAG OMDAT MEN NU VOÓR DE MUZIEK WIL UITLOPEN IN PLAATS VAN ER ACHTERAAN."**

PROF. DR. B. ZWANENBURG IS HOOGLEERAAR ORGANISCHE CHEMIE AAN DE UNIVERSITEIT NIJMEGEN

het in productie. Tegenwoordig is het zo dat je het hele proces van begin tot eind geïntegreerd gaat bekijken. Bij het ontwikkelen van de synthese moet je dus nadenken over de voorwaarden waaraan hij moet voldoen om hem in het groot te kunnen uitvoeren. Dat is geen toegepaste chemie, dat is heel fundamenteel."

*Is de chemische industrie bereid om in duurzame technologie te investeren?*

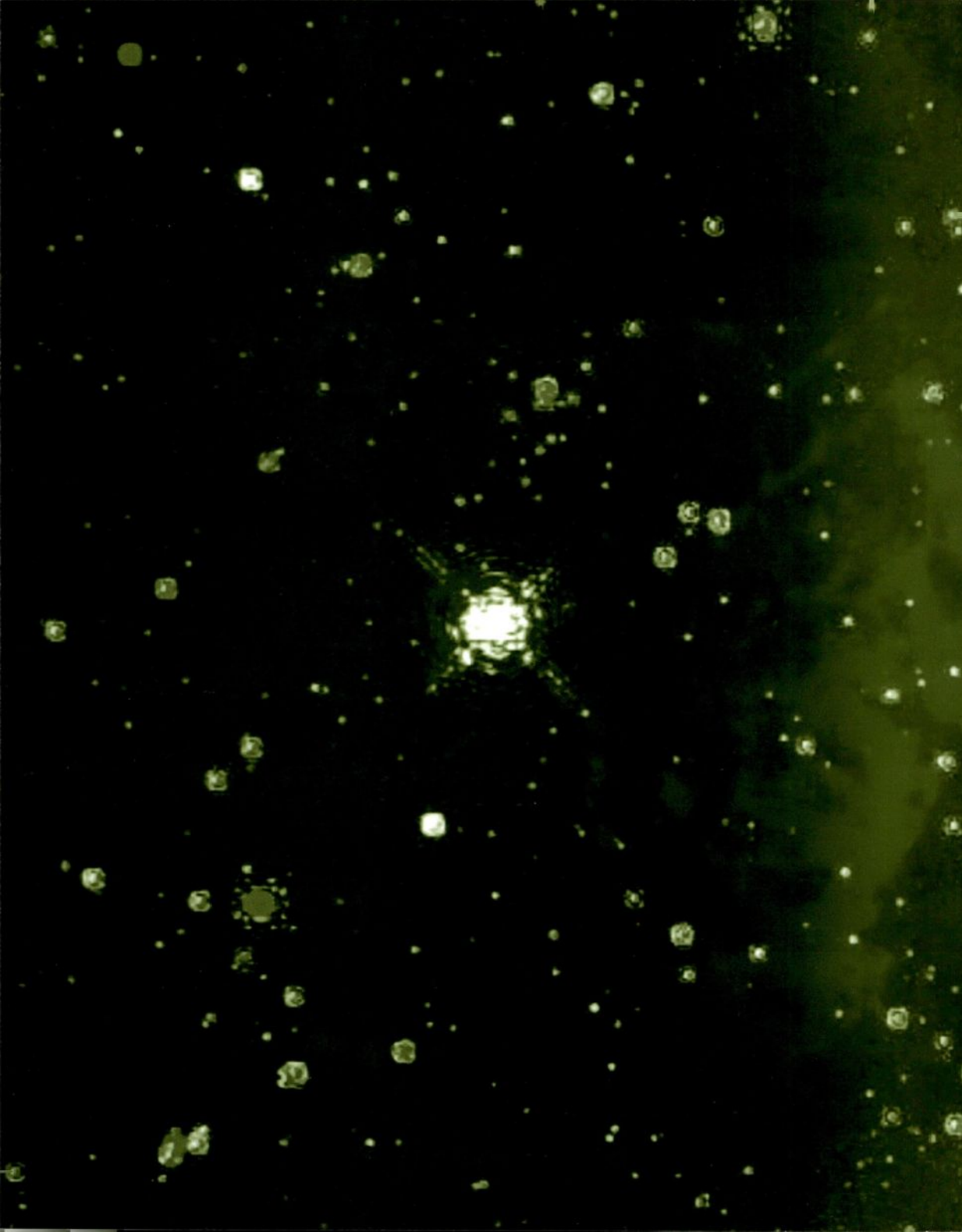
Als je op dit moment naar een bedrijf gaat en je zegt: 'jullie moeten in de komende halve eeuw zoveel investeren, want anders ben je niet duurzaam', dan kun je het wel vergeten. Je moet de mensen er naartoe laten groeien en je moet ook de alternatieven met een duurzaam karakter niet van vandaag op morgen willen realiseren. Toch kun je samen vooral door het doen van onderzoek zicht krijgen op toekomstige perspectieven. En naarmate je dat meer in kaart krijgt en ook de politieke en economische ontwikkelingen daarbij betrekt dan zie je dat men toegroeit naar een bereidheid tot investeren."

*Wat is de rol van de overheid?*

"De overheid wil de stimulering van de economie in een duurzaam kader gieten. Duurzaamheid en economie moeten samen kunnen gaan. Ik vind dat wel een goede visie. Maar je zit natuurlijk in een enorm hard spanningsveld. Zeker op Europees niveau heeft de economie nog geen belangrijke duurzaamheidscomponent. Maar dat laat niet onverlet dat je als Nederlandse overheid daarin moet investeren en onderzoekprogramma's moet ondersteunen. Je zult proeven moeten doen. Neem de PV-cel. Dat krijgen we gegarandeerd van de vloer, maar niet alleen met geld van het bedrijfsleven. We hebben nu een aantal mensen bij elkaar. Wat er ligt, is een uitstekende voedingsbodem en men kan de steun van de overheid uitstekend waarmaken. Je kunt nooit de wereld van de ene op de andere dag veranderen. Als je vraagt of het past binnen de economische kaders van vandaag is het antwoord, nee. Maar het past wel binnen de economische kaders van morgen."

# CONCRETE UITDAGING







# VIJF BOUWSTENEN VOOR EEN DUURZAME CHEMIE

EEN DUURZAME TECHNOLOGISCHE ONTWIKKELING OP LANGE TERMIJN STOND IN DE VORIGE HOOFDSTUKKEN CENTRAAL.

DOOR VANUIT DE TOEKOMST TERUG TE REDENEREN, ZIJN VIER ZOEKRICHTINGEN BEPAALD, WAAR KANSEN VOOR EEN DUURZAME CHEMIE WORDEN VERWACHT. IN HET VORIGE HOOFDSTUK ZIJN DIE ZOEKRICHTINGEN BESCHREVEN. IN SAMENSpraak MET WETENSCHAPPERS EN BETROKKENEN BIJ DE CHEMISCHE INDUSTRIE ZIJN DEZE VERDER VERKEND.

DAT HEEFT VIJF THEMA'S OPGELEVERD, DIE EEN BELANGRIJK DEEL VAN DE CHEMISCHE SECTOR DEKKEN EN DIE BOUW-

STENEN VOOR EEN DUURZAME CHEMIE VORMEN:

- FOTOVOLTAÏSCHE ZONNE-ENERGIE
- KOOLWATERSTOFFENCONVERSIE (C1-CHEMIE)
- GEÏNTEGREERDE PLANTCONVERSIE
- FIJNCHEMISCHE PROCESTECHNOLOGIE
- VEZELVERSTERKTE COMPOSIT-MATERIALEN

In dit hoofdstuk wordt de keuze van deze onderwerpen kort toegelicht.



## 1. FOTOVOLTAÏSCHE ZONNE-ENERGIE

ER IS EEN AANTAL REDENEN om vanuit de chemie aandacht te besteden aan fotovoltaïsche zonne-energie. In de eerste plaats zal door het gebruik van zonne-energie de druk op het gebruik van fossiele bronnen verminderen, waardoor de resterende voorraden kunnen worden benut voor hoogwaardige chemische omzettingen. Daarnaast is de chemie zelf producent van zonnecellen of van half-producten voor zonnecellen.

Ook binnen de chemie kan fotovoltaïsche zonne-energie van pas komen. Allereerst omdat de chemie grootgebruiker is van energie, maar daarnaast ook omdat zonnecellen het mogelijk maken om selectief energie aan chemische reacties toe te dienen. Een lange termijn optie voor de toepassing van fotovoltaïsche zonne-energie is de productie van waterstof ten behoeve van methanolproductie.

## 2. KOOLWATERSTOFFEN-CONVERSIE (C1-CHEMIE)

IN EEN ELEKTRICITEITSCENTRALE worden koolwaterstoffen slechts voor hun energiecomponent gebruikt. Afvalstoffen zijn  $\text{CO}_2$  en  $\text{H}_2\text{O}$ . Om de koolstofbalans niet te verstoren, is het mogelijk om koolwaterstoffen partieel te oxideren tot synthesegas ( $\text{CO}$  en  $\text{H}_2$ ). Dan levert de centrale niet alleen energie, maar ook grondstoffen die gebruikt kunnen worden in de chemie. Synthesegas vormt het beginpunt van de  $\text{C}_1$ -chemie. Het is ook mogelijk om koolstofdragers uit de biosfeer te gebruiken: biomassa. Dit biedt zowel voor de chemie als voor de energievoorziening kansen om de koolstofkringlopen te sluiten. Bewerking van biomassa vindt plaats in verschillende stappen, waarbij de eerste stap leidt tot  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  of  $\text{CH}_4$ . Ook deze moleculen staan aan het begin van de  $\text{C}_1$ -chemie. Een verdere ontwikkeling van de  $\text{C}_1$ -chemie in combinatie met de energievoorziening gebaseerd op biomassa is daarom van belang.



### 3. GEÏNTEGREERDE PLANTCONVERSIE

**HERNIEUWBARE GRONDSTOFFEN ZIJN GOEDE ALTERNATIEVEN** voor de energievoorziening, de fijnchemie en het grondstoffenscala voor constructiematerialen. Integraal gebruik van de plant speelt een centrale rol in een duurzame technologische ontwikkeling. Dat betekent, dat alle componenten van de plant worden benut. De specifieke biologische, chemische en fysische eigenschappen van planten kunnen daarbij aanleiding geven tot de ontwikkeling van nieuwe producten. Het is ook mogelijk om planten op hun latere toepassing met behulp van genetica aan te passen, zodat gewenste stoffen in grotere hoeveelheden en ongewenste in kleinere hoeveelheden worden aangemaakt. Met dergelijke technologieën kunnen de teelt en het gebruik van biomassa worden verbeterd.



### 4. FIJNCHEMISCHE PROCESTECHNOLOGIE

**PROCESSEN IN DE FIJNCHEMIE KUNNEN OP VEEL MANIEREN WORDEN VERBETERD.** Nu leiden deze tot een enorme verspilling van grondstoffen; vaak gaat meer dan negentig procent verloren. Met een betere procestechnologie, specifiek ontwikkeld voor de fijnchemie, lijkt het mogelijk om belangrijke efficiëntieverbeteringen te bereiken.

Daarnaast worden in de komende vijftig jaar binnen de fijnchemie grote veranderingen verwacht als gevolg van het inzetten van plantaardige grondstoffen met behulp van metabole engineering naast de meer conventionele gebieden als homogene- en bio/enzymkatalyse in combinatie met bioprosesstechnologie.

### 5. VEZELVERSTERKTE COMPOSITMATERIALEN

**VEZELVERSTERKTE COMPOSITEN WORDEN GEMAAKT** door vezels en een binder samen te voegen. De vezels verhogen de sterkte en de stijfheid van het materiaal, en de binder zorgt voor de afdichting, samenhang en spanningsoverdracht. Een veelgebruikte composiet is glasvezelversterkte polyethene.

Zowel de binder als de vezel kunnen ook van natuurlijke materialen worden gemaakt. In dat geval wordt ook wel van een bio-composiet gesproken. Bio-composieten zijn een goede aanvulling op het bestaande assortiment van constructiematerialen. Een belangrijk voordeel van bio-composieten is, dat ze in principe volledig bio-degradeerbaar zijn. Verder zijn bio-composieten aanzienlijk lichter dan bijvoorbeeld staal of beton. Dat geeft voordelen in de bouw en bij toepassing in onder andere auto's en vliegtuigen.





# OPZET VAN EEN R&D- AGENDA

DE VIJF TECHNOLOGIEVELDEN DIE IN HET VORIGE  
HOOFDSTUK ZIJN GEDEFINIËRD, ZIJN IN OPDRACHT  
VAN HET PROGRAMMABUREAU DTO UITGEWERKT DOOR  
HET BUREAU WILLEMS & VAN DEN WILDENBERG.

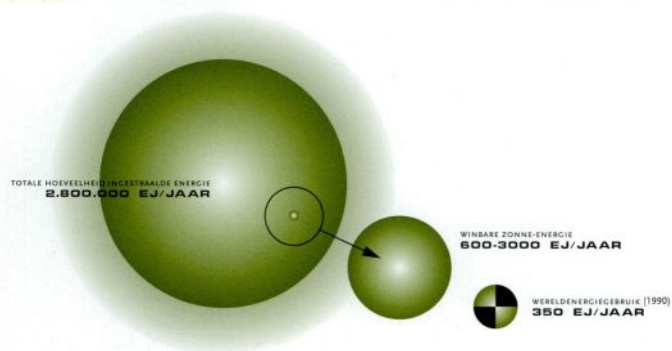
DIT BUREAU HEEFT PER TECHNOLOGIEVELD EEN INVEN-  
TARISATIE GEMAAKT VAN DE 'STATE OF THE ART' IN  
BINNEN- EN BUITENLAND. VERVOLGENS ZIJN DE ONT-  
WIKKELINGSKANSEN IN BEELD GEBRACHT, ZOWEL OP  
KORTE TERMIJN ALS OP LANGE TERMIJN. OM DIE KANSEN  
TE KUNNEN BENUTTEN ZIJN AANBEVELINGEN VOOR  
ONDERZOEK EN ONTWIKKELING GEDAAN.

**MET DE UITWERKING** zijn eerdere veronder-  
stellingen over het belang van de technologieën bevestigd.  
Op lange termijn bieden ze de mogelijkheid om op een  
duurzame manier te voorzien in de toekomstige vraag  
naar energie en basistoffen voor de productie van uit-  
eenlopende materialen en consumptieartikelen. Maar  
ook op korte termijn bieden de technologieën uitzicht  
op kansrijke innovaties.  
De resultaten zijn beschreven in het eindrapport van  
Willems & Van den Wildenberg. Dit hoofdstuk bevat  
daarvan een samenvatting.

## FOTOVOLTAÏSCHE ZONNE-ENERGIE

**DE HOEVEELHEID ENERGIE** die de zon naar de aarde straalt is duizenden malen meer dan het mondiale gebruik van energie. De hoeveelheid ingestraalde zonne-energie varieert per regio van meer dan 2.000 kWh per m<sup>2</sup> per jaar in de Sahara tot circa 1.000 kWh per m<sup>2</sup> per jaar in meer gematigde streken zoals West-Europa en Noord-Amerika. Maar zelfs daar kan zonne-energie in theorie de energie-behoefte voor een groot deel, zonet geheel dekken.

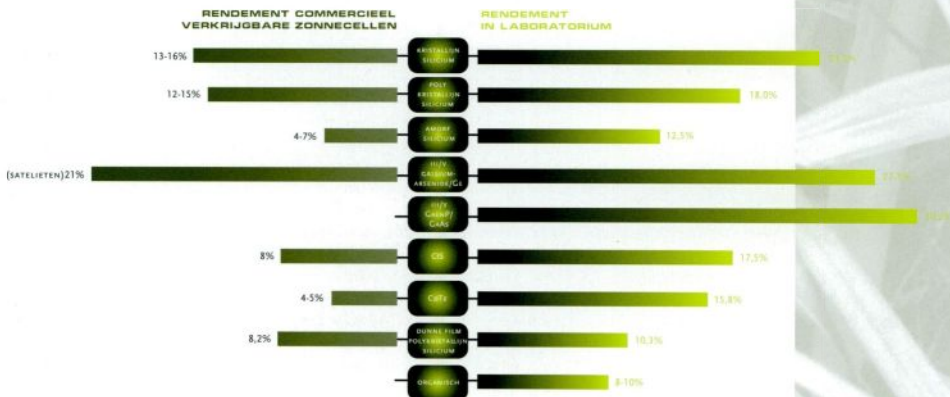
Bron: Dekkers en Van Borsum, "VERNIJWBAAR GAOEDSTOFFEN VOOR DE CHEMISCHE INDUSTRIE" IN: OPLEIDINGSREIS IN CHEMIE, DTO, 1996.  
**SCHATTING VAN DE HOEVEELHEID INGESTRAALDE ZONNE-ENERGIE IN RELATIE TOT HET MONDIALE ENERGIEGEBRUIK**  
 EJ=10<sup>18</sup> JOULE



**EEN VAN DE MEEST ELEGANTE MANIEREN** om zonne-energie te benutten, is de rechtstreekse omzetting van licht in elektriciteit met behulp van zonnecellen. Er bestaan verschillende typen zonnecellen, in verschillende stadia van ontwikkeling. Momenteel worden voornamelijk kristallijne en polykristallijne siliciumcellen gebruikt. Nieuwe generaties zonnecellen zijn de amorf siliciumcel, de dunnelaag polykristallijne siliciumcel en de organische cel. Novem en Sep, twee ondernemingen die de ontwikkeling van zonnecellen stimuleren, verwachten vooral van de laatste, de organische zonnecel, veel.

**ORGANISCHE ZONNECELLEN** zijn geïnspireerd op het fotosyntheseprocess in groene planten. De belangrijkste organische zonnecellen zijn momenteel de Grätzel-cel en de daarvan afgeleide cel van het Nederlands onderzoek-consortium, DUTCH INTERDISCIPLINARY RESEARCH GROUP ON ORGANIC CELLS. Beide cellen werken op basis van een dunne laag kleurstofmoleculen die door absorptie van fotonen aangeslagen worden en daardoor elektronen vrijmaken en doorgeven aan een halfgeleider. Doordat het halfgeleideroppervlak een nanostructuur heeft, is het effectieve oppervlak een factor 800 tot 1.000 groter dan het geometrische oppervlak. Hierdoor kan de lichtabsorberende laag veel dunner zijn dan de absorptielaag van siliciumcellen. Dit verlaagt de kans op stralingsloos verval en maakt een lagere kostprijs mogelijk. Een bijkomend voordeel is, dat organische zonnecellen op maat kunnen worden gemaakt om aan specifieke eisen te voldoen.

## VERSCHILLENDE ZONNECELLEN EN HUN RENDEMENTEN (STATE OF THE ART 1995)



## R&D-AGENDA VOOR FOTOVOLTAÏSCHE ZONNE-ENERGIE

**1. VERGELIJKEND ONDERZOEK NAAR DE EIGENSCHAPPEN VAN AMORFE SILICIUM-CELLEN EN ORGANISCHE CELLEN.** Hiermee kunnen de *competitive advantages* van beide opties in beeld worden gebracht. Met name is het belangrijk daarbij te letten op de energie-input die de vervaardiging van deze zonnecellen vergt. Ook moet fotovoltaïsche zonne-energie worden vergeleken met andere duurzame energiebronnen zoals biomassa.

**2. FUNDAMENTEEL ONDERZOEK NAAR DE WERKING EN DE PRODUCTIEMOGELIJKHEDEN VAN ORGANISCHE ZONNECELLEN.** De efficiëntie van de organische zonnecel is in theorie hoger dan die van een silicium cel. Een van de problemen van een organische zonnecel is echter de stabiliteit van te gebruiken kleurstof. Om de productie van organische zonnecellen te verbeteren, is het onder andere nodig om precies te begrijpen hoe de energieomzetting zich voltrekt en om die kennis vervolgens te benutten bij verdere ontwikkeling.

**3. ONDERZOEK NAAR DE MOGELIJKHEDEN VAN OPSLAG EN TRANSPORT VAN ENERGIE.** De beschikbaarheid van zonne-energie gaat zelden gelijk op met de vraag naar energie. Opslag en transport van energie zijn daarom van belang voor een toepassing op grote schaal.

**4. ONDERZOEK NAAR DE MOGELIJKHEDEN VAN EEN "NATTE ELEKTROCHEMISCHE CEL".** In een natte elektrochemische cel wordt een zonnecel in een elektrolyt geplaatst. Wanneer dit elektrolyt water is, kan in principe licht direct worden gebruikt om H<sub>2</sub> en O<sub>2</sub> te produceren. Op laboratoriumschaal is dit met een rendement van tien procent gerealiseerd. Toepassing in de praktijk is echter nog niet gelukt vanwege de instabiliteit van de elektrodes. Hier zijn nog belangrijke ontwikkelingen mogelijk

**5. DE ONTWIKKELING VAN EEN TOTAAL-CONCEPT VOOR FOTOVOLTAÏSCHE SYSTEMEN.** De kwaliteit van fotovoltaïsche systemen hangt niet alleen af van de kwaliteit van de zonnecellen, maar ook van de opstelling van de cellen in een paneel, de vormgeving, het elektriciteitstransport, de eventuele transformatie en koppeling op het distributienet. Verbetering van de kwaliteit en kostprijsverlaging van het gehele systeem kan onder meer nieuwe kansen bieden voor het Nederlandse midden- en kleinbedrijf.

**DE ECONOMISCHE BETEKENIS** van fotovoltaïsche zonne-energie is op dit moment nog niet erg groot. De meest grootschalige toepassingen in Nederland zijn gerealiseerd in woningbouwprojecten in Amsterdam (240 kW), Apeldoorn (230 kW) en Amersfoort (110 kW). Ook tot 2020 zal de rol van fotovoltaïsche zonne-energie zeer bescheiden blijven. Zo richt de Nederlandse overheid haar beleid op 10 PJ fotovoltaïsche zonne-energie in 2020, ofwel 0,3 procent van de nationale energievoorziening. Na 2020 zal het aandeel zonne-energie echter gestaag toenemen. Zo verwacht Shell een bijdrage van vijftien tot twintig procent aan de wereldenergievoorziening in 2050 (*Shell sustained growth scenario*).

**EEN BELANGRIJK KNELPUNT** bij de huidige implementatie van fotovoltaïsche zonne-energie zijn de hoge kosten; de kostprijs van zonnestroom is met dertig tot zestig dollarcent (*The Economist*, 1993) per kilowattuur een factor tien duurder dan de prijs van elektriciteit die wordt opgewekt met fossiele brandstoffen. Shell voorziet dat de kosten tussen 2005 en 2010 met circa zeventig procent zullen zijn gedaald. Daarmee is zonne-energie al voor veel meer toepassingen een concurrerende optie.

**OM VERDERE KOSTPRIJSVERLAGING TE BEREIKEN** is schaalvergroting nodig, maar schaalvergroting lijkt alleen mogelijk wanneer de kostprijs omlaag gaat. Deze impasse kan op twee manieren worden doorbroken. In de eerste plaats is het met pilot-projecten mogelijk om relevante marktervaring op te doen. Pilot-projecten kunnen leiden tot uitontwikkelde kansrijke autonome fotovoltaïsche systemen en dragen bij aan een zeker productievolume waar producenten van zonnecellen op kunnen voortbouwen. In de tweede plaats is een U-bochtconstructie mogelijk. Daarbij wordt fotovoltaïsche zonne-energie eerst toegepast in landen en regio's waar geen (betrouwbaar) elektriciteitsnet aanwezig is en waar autonome systemen al snel een concurrerende optie zijn. Naarmate zonne-energie op grotere schaal wordt toegepast en daardoor goedkoper wordt, komen ook andere toepassingen in beeld.

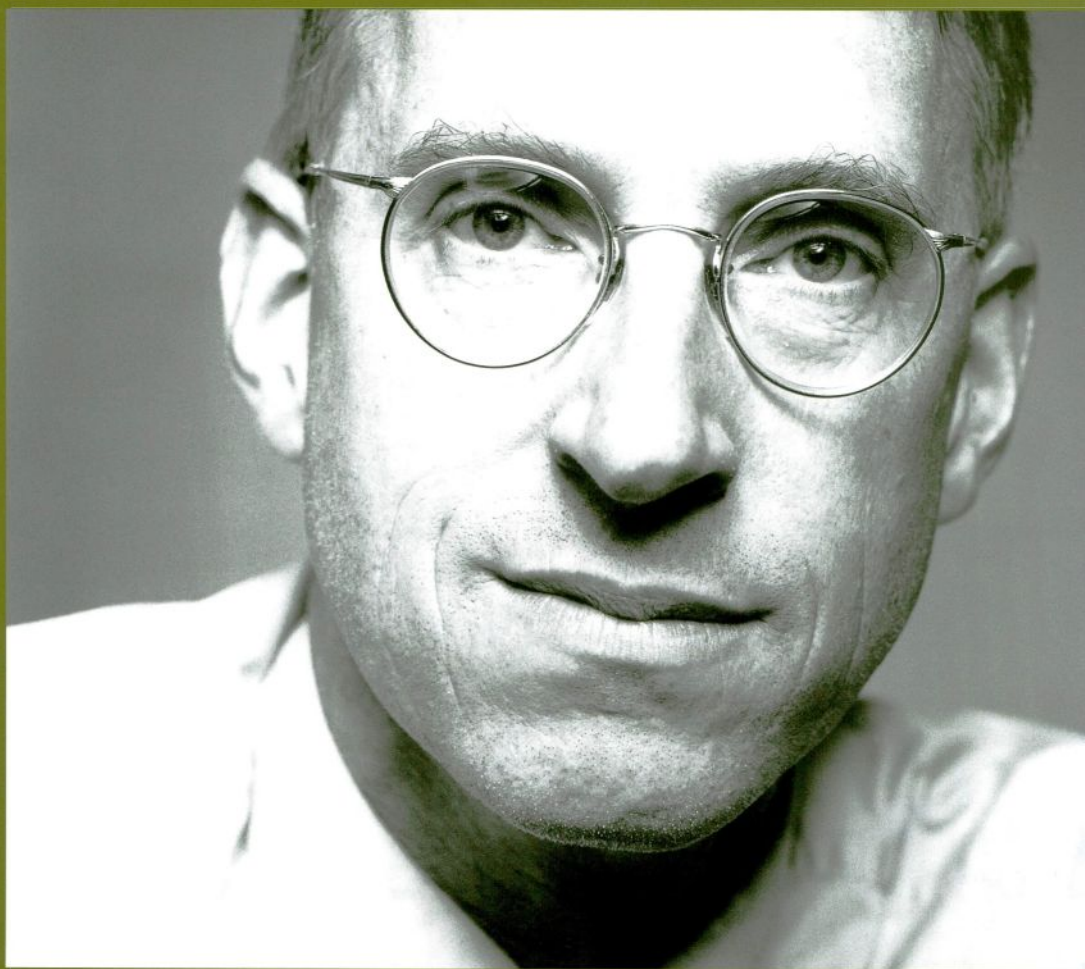
**ONDERZOEK EN ONTWIKKELING** zijn van belang om de toepassing van fotovoltaïsche zonne-energie te optimaliseren. In binnen- en buitenland wordt er door tientallen universiteiten, kennisinstellingen en bedrijven zeer veel onderzoekswerk verricht. In Nederland lopen programma's van onder andere Novem, EG-Joule, NWO en Kema die zich toespitsen op drie thema's:

- MARKTONTWIKKELING VAN HUIDIGE GENERATIE ZONNECELLEN.
- VOLGENDE GENERATIES ZONNECELLEN (AMORF SILICIUM, ORGANISCHE ZONNE-CELLEN EN DUNNE-FILM POLYKRISTALLIJN SILICIUM).
- LANGE TERMIJN STUDIES NAAR ALTERNATIEVE CONCEPTEN OP BASIS VAN HOGE RENDEMENTEN.

Naast deze lopende R&D-programma's is het voor de verdere ontwikkeling van fotovoltaïsche zonne-energie van belang om aandacht te besteden aan vijf onderwerpen die in de tabel kort zijn omschreven.

# EEN GIGANTISCHE DIE ER HOE DA

EEN GROEP MENSEN, HER EN DER UIT SHELL, KOMT VAN TIJD TOT TIJD BIJ ELKAAR OM DE NIEUWSTE ONTWIKKELINGEN OP HET GEBIED VAN "RENEWABLES" TE BESPREKEN: VERNIEUWBARE BRONNEN, ZOWEL VOOR DE ENERGIEVOORZIENING ALS VOOR DE CHEMIE. "DE BEDOELING IS OM TE KIJKEN OF HIER OP DEN DUUR EEN BUSINESS IN ZIT VOOR SHELL, DUS NAAST DE OLIE- EN CHEMIEPOTEN DIE WE AL HEBBEN" ZECT PETER KWANT. HIJ HEEFT BIJ DTO REGELMATIG DINGEN OPGEPIKT DIE VOOR DE LEDEN VAN DEZE GROEP VAN BELANG ZIJN: "DAN GAAT HET OVER TWEE HOOFDTHEMA'S UIT HET CHEMIEPROGRAMMA: HET PV-PROGRAMMA EN HET PROGRAMMA OVER BIOMASSA."



# OMSCHAKELING N OOK KOMT

## SHELL SOLAR

Al 25 jaar is Shell actief op het gebied van fotovoltaïsche zonne-energie; in Nederland is dat bijvoorbeeld te zien aan de recente naamsverandering van het Helmondse bedrijf Shell Solar BV (voorheen R&S) waar siliciumcellen worden gemaakt. De ontwikkeling daarvan is volgens Kwant nog lang niet op z'n eind: "De echte experts hoor ik steeds vaker zeggen dat er nog heel veel ruimte in het silicium zit. Er kan nog een fors stuk van de kostprijs af door gebruik te maken van nieuwe massa-productie-technieken. Dus geen fundamentele doorbraken meer, maar stug en hard doorwerken." Daarnaast scant Shell voortdurend de horizon af, op zoek naar nieuwe technologieën: "Er zijn een stuk of vijf andere technologieën waarvan we nu nog niet weten welke het gaat winnen en dat zouden we wel graag willen weten. Dus we houden goed in de gaten op welke techniek we ons op den duur moeten gaan concentreren. We doen op dat gebied zelf geen onderzoek, maar we hebben wel research-contracten met onder andere ECN en een aantal buitenlandse universiteiten. Daarmee houden we voeling met wat er gebeurt. Maar ons eigen researchgeld gaat voornamelijk zitten in de verbetering van siliciumcellen."

## CONVERSIE

De mogelijkheden van biomassa-conversie in een handzame energiedrager worden door Shell nauwlettend gevolgd. Kwant: "Er zijn allerlei apparatenfabrikanten op dit gebied actief en als die iets hebben waarvan we denken 'dat is het' dan kopen we het in." Eén van de mogelijkheden waar Kwant aan denkt, is methanol-conversie: "Het is heel belangrijk om nauwkeurig uit te zoeken hoe methanol in het totale plaatje past. Er ligt nu een voorstel om dat onderzoek aan de Universiteit van Utrecht te laten uitvoeren." Methanol-conversie betekent voor de petrochemie een omschakeling naar C1-chemie. "Een gigantische omschakeling" aldus Kwant "maar ik denk dat het er hoe dan ook gaat komen. Daarvoor is biomassa niet de enige driver. Ook de behoefte om kolen- en gasreserves bijvoorbeeld via vergassing op een meer verantwoorde manier te exploiteren leiden tot de C1-chemie. Persoonlijk vind ik biomassa de mooiste optie. Als je dat voor elkaar krijgt, kun je het eeuwenlang volhouden."

De omschakeling naar biomassa en C1-chemie vergt een periode van vele jaren, maar heeft voor Shell Chemie weinig consequenties: "De chemische poot van Shell gebruikt nafta als grondstof. Die nafta is in principe synthetisch te maken vanuit biomassa, daar hoeven geen fundamentele doorbraken meer voor te komen. Dus Shell Chemie is

**"WIL JE TEGEN 2050 EEN SUBSTANTIEEL DEEL VAN DE HUIDIGE INSTALLATIES EN APPARATEN HEBBEN VERVANGEN, DAN ZUL JE NU PLANNEN MOETEN GAAN MAKEN."**

MR. DR. P.W. KWANT IS GROUP RESEARCH ADVISOR VAN SHELL INTERNATIONAL BV

## BIOMASSA

Op het gebied van biomassa richt Shell zich vooral op aanplant- en winningstechniek: hoe kun je een bos zo goed mogelijk aanplanten en managen zodat het een maximale hoeveelheid biomassa levert? Shell legt momenteel bossen aan voor de papier-industrie en verwacht dat de kennis die daarmee wordt verworven ook van pas kan komen bij de teelt van biomassa voor de energievoorziening. Kwant: "We hebben een oppervlakte van ruim 100.000 hectare, dus zoiets als de Veluwe. Dat is vooral eucalyptusbos." Ook voor de energievoorziening is grootschalige teelt van biomassa mogelijk. Het is volgens Kwant echter nog wel een vraag of de samenleving het zonder slag of stoot zal accepteren om land voor dit soort toepassingen te gebruiken: "Ik weet niet of iedereen dat leuk zal vinden. Een houtplantage ziet er anders uit dan een mooi bos waar dood hout ligt. Hier zal echt geen dood hout liggen, want dat ligt in de kachel. Je krijgt dus een plantage met bomen die gemakkelijk geveld kunnen worden in een rotatieplan van aanmerkelijk minder dan vijftien jaar. Dat vergt nog een heel stuk maatschappelijke discussie."

eigenlijk al voortreffelijk voorbereid op duurzaamheid. Je hoeft alleen de grondstoffenstroom maar om te buigen en dat kan een heel geleidelijk proces zijn."

## 2050

Kwant zegt dat de omschakeling naar biomassa vooral voor de energie-sector een grote impact zal hebben. De installaties die er staan hebben nog een economische levensduur van tientallen jaren: "Je zult daarom nu plannen moeten gaan maken, wil je tegen 2050 een substantieel deel van de huidige installaties en apparaten hebben vervangen. De termijn van vijftig jaar die DTO aanhoudt, vind ik dus heel reëel. Ook de scenariomethode die DTO hanteert, om in alle onzekerheid over de toekomst toch een bepaald beeld te krijgen, is prima. Wij zijn zelf al tientallen jaren aan die methode verknocht. De voornaamste winst van het DTO-programma voor mij is, dat er een sfeer is ontstaan waarin je op een hele gezonde manier als industrieën onder elkaar en als industrie met de academische wereld kunt overleggen over dit soort onderwerpen. Dat was voorheen anders. We hadden wel overleg, maar meer over wetenschapsbeleid en management-achtige dingen. Nu praten we over de inhoud van technologie en over de dingen die je met technologie kunt bereiken."

## KOOLWATERSTOFFEN-CONVERSIE (C1-CHEMIE)

**HOE KUNNEN KOOLWATERSTOFFEN OPTIMAAL WORDEN GEBRUIKT?** Momenteel gebruiken we het grootste deel van de beschikbare koolwaterstoffen (uit fossiele bronnen) om deze te verbranden. Daarbij benutten we slechts de energie-inhoud, terwijl de materie-inhoud als CO<sub>2</sub>-emissie verloren gaat. Een kleiner deel van de beschikbare koolwaterstoffen gebruiken we als grondstof, voornamelijk voor de productie van kunststoffen. Een koppeling tussen de toepassing als energiebron en de toepassing als grondstof biedt zicht op het sluiten van de koolstofkringloop.

**DE CONVERSIE VAN KOOLWATERSTOFFEN TOT EEN INTERMEDIÄIRE** stof die zowel voor de energievoorziening als voor de organische chemie dienst kan doen, is daarvoor noodzakelijk. Die conversie moet bovendien niet alleen voor fossiele grondstoffen geschikt zijn, maar ook voor biomassa. Een dergelijke conversie heeft veel voordelen. In de eerste plaats is het daardoor mogelijk efficiënt gebruik te maken van de energie- en de materie-inhoud van koolwaterstoffen. In de tweede plaats maakt deze conversiestap een geruisloze overgang mogelijk naar een energievoorziening en een chemie die gebaseerd zijn op biomassa, grotendeels met behoud van de bestaande infrastructuur van transportnetten, opslagparks en distributiesystemen.

**METHANOL IS EEN GOEDE KANSHEBBER** om te dienen als energiedrager én als grondstof voor de chemie. Methanol kunnen we bijvoorbeeld toevoegen aan benzine of gasolie. Tot een zeker percentage kan dat zelfs zonder dat de verbrandingsmotor hierop hoeft te worden aangepast. Methanol is ook een geschikte brandstof voor gasturbines. Verder kan methanol worden gebruikt om waterstof te produceren waarmee, bijvoorbeeld in een brandstofcel, met een hoog rendement elektriciteit kan worden opgewekt. Op langere termijn is het mogelijk om methanol rechtstreeks als voeding voor brandstofcellen te benutten. Methanol als chemische grondstof staat aan het begin van de C<sub>1</sub>-chemie; de chemie die gebaseerd is op grondstoffen waarvan de moleculen één C-atoom bevatten. Met behulp van speciale katalysatoren is het in principe mogelijk om de gehele organische chemie hierop te baseren, inclusief de productie van de belangrijkste kunststoffen en rubbers.

**DE VERGASSING VAN KOOLWATERSTOFFEN TOT SYNTHESEGAS EN DE VERDERE OMZETTING TOT METHANOL IS NIET DE ENIGE CONVERSIEMETHODE DIE MOGELIJK IS. HIERONDER WORDEN ENKELE ANDERE METHODEN GENOEMD.**

- **PYROLYSE** WAARBIJ BIOMASSA ONDER UITSLUITING VAN LUCHT THERMISCH WORDT ONTLEED. HIERBIJ ONTSTAAT ONDER ANDERE BIO-OLIE DIE BESTAAT UIT EEN GROTE VERScheidenheid VAN CHEMICALIËN.
- **VERBRANDING** IS DE KLASSEKE METHODE OM BIOMASSA TE CONVERTEREN IN ENERGIE. DE TECHNOLOGIE IS GOED ONTWIKKELD, MAAR ONRENDABEL EN NIET MILIEUVRIENDELIJK.
- **HYDRO THERMAL UPGRADING (HTU)** IS EEN VEELBELOVEND, DOOR SHELL IS ONTWIKKELD PROCES. HIERBIJ WORDT BIOMASSA ONDER HOGE DRUK EN TEMPERATUUR IN KORTE TIJD OMGEVORMD TOT BIOCRUDE DAT VERGELIJKBARE EIGENSCHAPPEN HEEFT ALS RUWE AARDOLIE.
- **FERMENTATIE**, WAARBIJ BIOMASSA DOOR MICRO-ORGANISMEN WORDT OMGEZET IN EEN OPLOSSING VAN CIRCA TIEN PROCENT ETHANOL IN WATER. VERDERE SCHEIDING DOOR MEMBRANEN OF ZEOLIETEN KAN ZUIVERE ETHANOL OPLEVEREN.

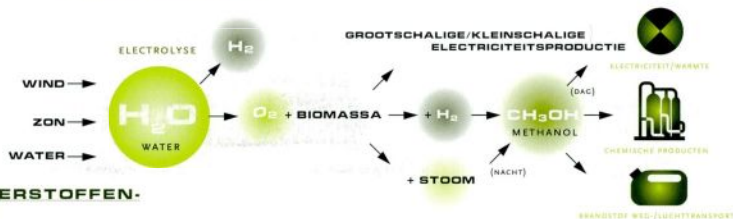
**DE PRODUCTIE VAN METHANOL** verloopt in twee stappen. In de eerste stap worden koolwaterstoffen vergast. Dat kunnen fossiele grondstoffen zijn, maar ook biomassa en organische reststoffen. Bij deze vergassing worden koolwaterstoffen onder toevoeging van de juiste hoeveelheid zuurstof omgevormd tot synthesesgas, een mengsel van CO en H<sub>2</sub>. In de tweede stap wordt synthesesgas onder toevoeging van H<sub>2</sub> omgezet in methanol met behulp van de zogenoemde 'Fischer Tropsch-technologie' volgens de vergelijking:  $CO + 2H_2 \rightarrow CH_3OH$ . Afhankelijk van de katalyse ontstaan er bijproducten zoals water, methaan, dimethylether en hogere alcoholen. Een rechtstreekse omzetting van synthesesgas tot methanol wordt in praktijk gebracht door Airproducts. Het bedrijf Methanor in Delfzijl produceert methanol op basis van synthesesgas dat gemaakt wordt uit aardgas. Methanor is een joint-venture van Akzo, DSM en het Noorse Dyno. Met een productie van circa 800.000 ton methanol per jaar bedient het bedrijf circa veertig procent van de Europese markt.

**METHANOL SPEELT EEN CENTRALE ROL** als buffer bij het opvangen van verschillen tussen vraag en aanbod op het elektriciteitsnet. De productie van synthesesgas en methanol kan namelijk worden afgestemd op de beschikbaarheid van energie. Wanneer er bijvoorbeeld veel fotovoltaïsche zonne-energie, windenergie of waterkracht beschikbaar is, kan de productie van methanol plaatsvinden onder toevoeging van O<sub>2</sub> en H<sub>2</sub> die uit elektrolyse van water worden verkregen. Wanneer deze energiebronnen niet beschikbaar zijn en er anderzijds een grote vraag is naar elektriciteit, kan synthesesgas direct in een stoom- en gasturbine (STEG) gebruikt worden voor de productie van elektriciteit en warmte. Andersom, in daluren, kan een eventueel energie-overschot benut worden om de productie van methanol onder toevoeging van stoom bij een hoge temperatuur te laten plaatsvinden.

**DE ZOGENOEMDE GROENE SYNTHES WARMTEKRACHTKOPPELING (GSWKK)** is een totaalsysteem waarin de conversie van biomassa, de toepassing van duurzame energiebronnen en de productie van methanol als intermediaire koolwaterstof zijn geïntegreerd. De GSWKK fungeert als toekomstbeeld voor verdere R&D-ontwikkelingen. Als primaire grondstof dient biomassa, ofschoon dat ook fossiele grondstoffen zouden kunnen zijn. Met behulp van lucht of zuivere zuurstof wordt synthesesgas geproduceerd. Afhankelijk van het aanbod van duurzame energie en de vraag naar elektriciteit wordt hieruit methanol geproduceerd. Methanol kan vervolgens worden gebruikt als brandstof voor warmtekrachtkoppeling, als grondstof voor de chemie, als vloeibare brandstof voor mobiele verbrandingsmotoren en, op langere termijn, als voeding voor brandstofcellen.



## GSWKK CONCEPT



Bron: Willems & de Wit (2006) 1987

### R&D-AGENDA KOOLWATERSTOFFEN-CONVERSIE (C1-CHEMIE)

**1. INTERNATIONAAL GECOÖRDINEERD ONDERZOEK NAAR DUURZAME ENERGIE.** Voortzetting van bestaande onderzoekprogramma's is van groot belang

**2. EEN SYSTEEMSTUDIE EN EEN DEMONSTRATIE-PROJECT GSWKK.** De GSWKK lijkt als concept goed aan te sluiten bij bestaande (internationale) ontwikkelingen. In een systeemstudie kan het concept verder worden uitgewerkt en onderbouwd.

**3. OPSLAGTECHNOLOGIE.** De beste manier om discrepanties tussen energievraag en energieaanbod op te vangen is waarschijnlijk opslag in een chemisch product. Methanol kan in bestaande tankparken worden opgeslagen. De opslag van waterstof moet verder worden bestudeerd.

**4. KOSTENVERGELIJKING TUSSEN ETHANOL, METHANOL, BIO-OLIE EN ANDERE ENERGIEDRAGERS.** Methanol is in veel opzichten een aantrekkelijke intermediaire koolwaterstof voor zowel de energiesector als de chemie. Of dit ook altijd de beste keuze is, zal onder andere afhangen van de kosten in verhouding tot de kosten van andere koolstofbronnen en energiedragers.

**5. STUDIE NAAR MOGELIJKHEDEN VOOR BIOMASSA-VERGASSING.** Er zijn verschillende mogelijkheden om synthesegas te produceren uit biomassa. Deze mogelijkheden moeten op verschillende aspecten met elkaar worden vergeleken om tot een optimaal systeem te komen. Bij dit onderzoek is het belangrijk aandacht te besteden aan de invoer van biomassa in de reactor en aan eventuele emissies van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en fosforverbindingen.

**6. STUDIE NAAR METHANOLSYNTHESE.** De productie van methanol uit synthesegas kan op verschillende manieren plaatsvinden. Een vroegtijdige screening van de meest interessante routes is noodzakelijk.

**7. STUDIE NAAR DE PRODUCTIE VAN WATERSTOF EN ZUURSTOF.** In het GSWKK-concept wordt voorgesteld zuurstof en waterstof te produceren door elektrolyse van water. Daarvoor bestaan ook andere mogelijkheden zoals fotokatalytische omzetting. Op lange termijn is het misschien mogelijk om foto-elektrochemische zonnecellen toe te passen. Ook hiervoor zal de beste route moeten worden bepaald door voor- en nadelen van de verschillende opties tegen elkaar af te wegen.

**8. OMZETTING VAN METHANOL IN GRONDSTOFFEN VOOR DE BULKCHEMIE** Het eindproduct van GSWKK moet als energiedrager én als grondstof voor de chemie kunnen dienen. Hierbij is het zeer belangrijk dat voor het juiste product wordt gekozen. Methanol lijkt een geschikte stof, maar uit een nadere studie zal moeten blijken of dat werkelijk zo is.

**DE GSWKK IS OM VERSCHILLENDE REDE-NEN EEN STERK CONCEPT.** In de eerste plaats biedt het een goede mogelijkheid om biomassa te benutten als energiebron én als grondstof voor de chemie. Bestaande systemen, zoals de energie-infrastructureur en bekende machines, zoals gasturbines en STEG-eenheden kunnen worden gebruikt. Daarnaast biedt de koppeling tussen de chemie en de winning van duurzame energie door middel van de GSWKK efficiënte mogelijkheden om energie in de vorm van koolwaterstoffen of waterstof op te slaan en daarmee het wisselvallige aanbod van duurzame energie te bufferen. Tot slot vereist de GSWKK geen abrupte overgang van fossiele grondstoffen naar biomassa, maar is een geleidelijke omschakeling mogelijk.

**ER ZIJN TWEE PARALLELE ONTWIKKELINGSTRAJECTEN** mogelijk om te komen tot GSWKK. De ene weg begint bij een aanpassing aan bestaande STEG- en WKK-eenheden, zodat deze naast warmte en elektriciteit ook methanol opleveren. In de Verenigde Staten is in dit verband al een demonstratieproject gestart voor de co-productie van methanol, elektriciteit en warmte op basis van fossiele brandstoffen. De tweede weg begint bij het bestaande gebruik van steenkool. Steenkool kan stap voor stap worden verdrongen door biomassa; eerst door bijstook, later door co-vergassing. In Nederland heeft de EPON hier al een begin mee gemaakt door in de centrale van Nijmegen afvalhout als bijstook te gebruiken. Houtvergassing in de Amercentrale bij Geertruidenberg is in voorbereiding. In Engeland is een demonstratieproject voor vergassing van biomassa in een elektriciteitscentrale inmiddels gestart. De twee ontwikkelingstrajecten leiden uiteindelijk samen tot de bedoelde GSWKK.

**OM DE ONTWIKKELING VAN DE GSWKK MOGELIJK TE MAKEN** moet daarnaast een aantal onderdelen van het totaalconcept verder worden uitgewerkt en onderbouwd. De samenhang tussen de deelsystemen is daarbij cruciaal. De verschillende onderdelen van het systeem zijn echter ook als op zichzelf staande technologie haalbaar.

# DE SEP WIL MEER STROOM

DE ELEKTRICITEITSPRODUCTIEBEDRIJVEN WILLEN "DOORSTROMEN NAAR DUURZAAM", ZOALS OOK DE TITEL VAN HUN BELEIDSPAN VOOR DUURZAME ENERGIE LUIDT. HET BELEID IS GERICHT OP ENERGIEBESPARENDE TOEPASSINGEN VAN ELEKTRICITEIT EN INPASSING VAN VERNIEUWBARE ENERGIEBRONNEN. DIT BELEID RESULTEERT ERIN DAT HET ELEKTRICITEITSVERBRUIK IN 2050 MET EEN FACTOR VIJF TEN OPZICHTE VAN NU IS TOEGENOMEN, TERWIJL HET FOSSIEL ENERGIEVERBRUIK MET EEN FACTOR DRIE IS TERUGGEDRONGEN. "JUIST ALS GEVOLG VAN DE LIBERALISERING VAN DE ENERGIEMARKT EN DE LAGE AARDGASPRIJZEN IS ER EEN STERKE FOCUS OP DE HELE KORTE TERMIJN" ZEGT GERARD PEPPINK, "IK DENK DAAROM DAT HET HEEL GOED IS OM DIE SPRONG IN DE TOEKOMST TE MAKEN, AL WAS HET ALLEEN MAAR UIT HET OOGPUNT VAN BEWUSTWORDING."

*Hoe kunt u een stijgend elektriciteitsverbruik combineren met een dalend verbruik van fossiele brandstoffen?*

"Nederland is een gasland. En aardgas wordt nu heel makkelijk ingezet voor het bereiden van water op lage temperatuur. Ruimteverwarming volstaat met een temperatuur van 25 graden, maar wat doen we? We maken met een gasvlam van 1800 graden water van 90 graden om ons huis te verwarmen. Deze grote temperatuurverschillen duiden op een enorme degradatie van de kwaliteit van energie. Ook in de industrie is een grote vraag naar energie van betrekkelijk lage temperaturen. Je kunt die warmte heel efficiënt opwekken met een elektrische warmtepomp. Dat pakt vele malen gunstiger uit dan de beste HR-ketel. In plaats van een theoretisch maximaal rendement van honderd procent, kun je met een elektrische warmtepomp 200 tot 300 procent bereiken doordat je een deel van de omgevingswarmte meeneemt. Daarnaast kun je denken aan

*In het DTO-programma is een beeld uitgewerkt van groene synthese warmtekrachtkoppeling. Past dat beeld bij de ontwikkelingen binnen de elektriciteitssector?*

"Ja, dat denk ik wel. De technologie is al behoorlijk ver gevorderd. Wij zijn bijvoorbeeld bezig met het bijstoken van biomassa bij huidige centrales. In de centrale van Nijmegen wordt hout verpoederd zodat het in een zeer korte verblijftijd in de vuurhaard kan verbranden. Die verpoederding vergt echter veel energie en daarom werken we nu ook een speciale verbrandingstechniek uit met een zogenoemde Torbed-reactor. Dat is een bepaald type wervelbed-installatie waarin hout in grotere stukken kan verbranden. We zijn ook aan het studeren op vergassing. Er zijn proeven gaande met het verwerken van paperslib en rioolwaterzuiveringslib. Verder zijn we aan het studeren of we in de kolenvergassingsinstallatie in Buggenum bij Roermond ook andere stoffen kunnen vergassen. Dit allemaal met het oogmerk om kolen in toenemende mate te vervangen door biomassa."

## **"RUIMTEVERWARMING VOLSTAAT MET EEN TEMPERATUUR VAN 25 GRADEN, MAAR WAT DOEN WE? WE MAKEN MET EEN GASVLAM VAN 1800 GRADEN WATER VAN 90 GRADEN OM ONS HUIS TE VERWARMEN."**

IR. G. PEPPINK, HOOFD ENERGIE EN MILIEU TECHNOLOGIE, AFDELING PLANNING EN ONDERZOEK SEP

geavanceerde elektrotechniek om te voorzien in de vraag naar warmte op hoge temperatuur, ver boven de 500 graden. Dan kun je denken aan inductieovens, infraroodverwarming, ultraviolet, electrobeam,... er zijn allerlei technologieën mogelijk die in Nederland nog nauwelijks ingang hebben gevonden. Dit in tegenstelling tot het buitenland. Wij willen in toenemende mate aandacht vragen voor de mogelijkheden van elektriciteit. Uiteraard ook met een commerciële doelstelling van marktvergroting, daar maken we geen geheim van. Maar daarnaast leg je met elektriciteit als energiedrager de basis voor een duurzame energievoorziening."

*Welk belang kent u aan fotovoltaïsche zonne-energie toe?*

"Op de lange termijn biedt het de beste perspectieven. Op dit moment zijn de kosten nog te hoog voor een grootschalige toepassing, maar de ontwikkelingen gaan heel hard en we verwachten dat er op een termijn van tien tot twintig jaar na nu, kostprijzen mogelijk zijn van 500 tot 700 gulden per kilowatt piekvermogen. Dat zou dan een stroomprijs in beeld brengen die dan zeker kan concurreren met fossiele brandstoffen. Volgens ons kan er rond 2020 een omslagpunt liggen."

*Bij groene synthese warmtekrachtkoppeling gaat het niet alleen om de opwekking van warmte en elektriciteit, maar ook om de productie van grondstoffen voor de chemische industrie. Hoe denkt u over die koppeling?*

"Dan denk je niet meer aan kleine vergassers bij bestaande elektriciteitscentrales, maar aan grote biomassa conversie-installaties zo dicht mogelijk bij een zeehaven. Je kunt dan op grote schaal biomassa in bulkcarrier aanvoeren. En dan kun je zo'n plant combineren met een industrieel complex. Technisch zijn er ontwikkelingslijnen die daar op uit kunnen komen. Dat ziet er wel goed uit. Daarvoor moeten ook politieke en bestuurlijke barrières worden geslecht. Tot nu toe is iedereen te veel voor zichzelf bezig om tot bedrijfsoptimalisatie te komen. We zijn met de overheid in gesprek om dat breder te bekijken, zodat je op een grotere schaal met elkaar naar een totaaloptimum kunt streven. Je praat dan over zaken als een energieprestatienorm voor een hele locatie en verhandelbare emissierechten. In heel rudimentaire vorm zijn die er, maar het vergt nog veel overleg om het uit te werken. Maar als het lukt, kun je daarmee een politiek-bestuurlijke basis leggen op grond waarvan een chemisch concern en een elektriciteitsbedrijf elkaar in zo'n industriële omgeving zouden kunnen vinden om in de vorm van een joint-venture zoiets als groene synthese warmtekrachtkoppeling te realiseren."

# EN MINDER BRANDSTOFFEN



## GEÏNTEGREERDE PLANTCONVERSIE

GEÏNTEGREERDE PLANTCONVERSIE IS EEN VERZAMELNAAM voor technieken die erop gericht zijn om nuttige producten uit biomassa te maken met een hoge toegevoegde waarde. Het is een mogelijkheid om enerzijds het prijsverschil tussen biomassa en fossiele grondstoffen te verkleinen en anderzijds de specifieke eigenschappen van verschillende onderdelen van de plant beter te benutten. Er zijn in dit verband vijf invalshoeken mogelijk.

- In de eerste plaats kan de plant opgesplitst worden in z'n nuttige fracties, waardoor de gehele plant tot grondstof dient voor allerlei toepassingen. Hierdoor krijgt de plant als geheel een grotere waarde en wordt het gebruik van biomassa economisch aantrekkelijker. Een voorbeeld hiervan is de verwerking van suikerbiet tot suiker, ethanol en veevoer en het gebruik van bijproducten door verbranding of vergassing voor de productie van energie.
- Sommige onderdelen van de plant kunnen in onbewerkte vorm worden gebruikt. Een voorbeeld is het gebruik van zaden, pitten en vezels als schokwerend materiaal; een alternatief voor polystyreenschuim.
- Een derde technologie is cascadering. Hierbij worden materialen na de levenscyclus van een product herwonnen en gebruikt voor andere, minder hoogwaardige toepassingen. Uiteindelijk, als laatste stap, kunnen de reststoffen worden gebruikt als grondstof voor energie-opwekking.
- Sommige planten lenen zich voor nieuwe concurrerende toepassingen waarbij specifieke stoffen in de plant zorgen voor betere producteigenschappen dan wanneer hetzelfde product wordt gemaakt op basis van fossiele grondstoffen. Met behulp van genetische sturing is het bovendien mogelijk een plant zodanig te kweken, dat de gewenste stoffen in een hogere concentratie worden aangemaakt.
- Tot slot kan de conversie van biomassa tot grondstoffen worden verbeterd door organische reststoffen als biomassa te hanteren. Een goed voorbeeld is het (hoogwaardig) vergassen van gft-afval in plaats van het (laagwaardig) verbranden ervan.



DE BESTE KANSEN VOOR TOEPASSING VAN BIOMASSA liggen in de eerste decennia met name op terreinen waar de petrochemie niet automatisch in het voordeel is. Hierbij kunnen we denken aan producten die minder schadelijk zijn voor het milieu, specifieke, hoogwaardige producten met een complexe structuur, scheiding en valorisatie van organische afvalstromen en genetische sturing van landbouwgewassen. Concrete producten zijn bijvoorbeeld biologische luiers, vlasvezelversterkte bumpers en bioplastics voor uiteenlopende toepassingen. De ontwikkeling van dergelijke niches kan dienen als hefboom voor grootschalige toepassingen. Tegelijk met deze niches zal de teelt van non-food biomassa verder moeten worden ontwikkeld.

OP LANGE TERMIJN ligt een combinatie van technologieën voor de hand, waarbij biomassa naast fossiele brandstoffen wordt toegepast. Het is niet realistisch te veronderstellen dat bestaande voorraden fossiele brandstoffen volledig ongebruikt zullen blijven. Anderzijds is het voor de chemische industrie van groot belang om meerdere technologieën tot ontwikkeling te brengen.

Ondanks de voordelen van geïntegreerde plantconversie, zijn er echter ook belangrijke knelpunten die een doorbraak zeker in het eerste decennium van de volgende eeuw nog in de weg zullen staan. Zo zijn de beschikbaarheid van biomassa en een gegarandeerde, constante kwaliteit ervan punten van onzekerheid. Verder speelt de maatschappelijke acceptatie van grootschalige biomassateelt in monoculturen en genetische sturing bij geïntegreerde plantconversie een belangrijke rol. Voor enkele technologische knelpunten is een aanzet gegeven tot een R&D-programma.

## R&D-OPTIES GEÏNTEGREERDE PLANTCONVERSIE

### 1. OPTIMALISATIE KETENTECHNOLOGIE

De hele keten van gewasteelt tot en met conversie moet in beeld worden gebracht. De processen om uit een gevarieerd aanbod van biomassa grondstoffen voor de chemische industrie te produceren, moeten worden ontwikkeld.

### 2. STUDIE GEWAS-ANALYSE

Uit een vergelijkend onderzoek zal moeten blijken welke gewassen interessant zijn voor geïntegreerde plantconversie. In Nederland lijken er kansen te bestaan voor de teelt van aardappel en hennep.

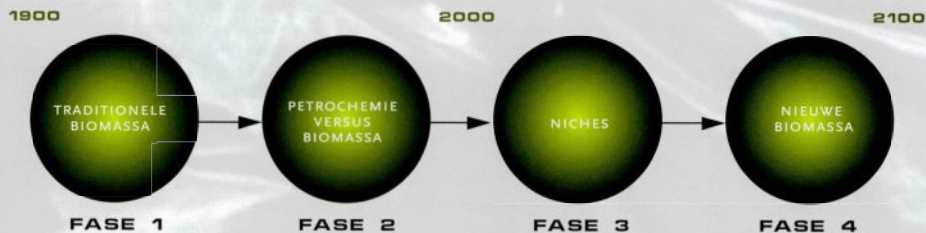
### 3. ONDERZOEK NAAR GEWAS-APPLICATIES

Nadat applicaties van biomassa, zoals vezels voor composieten, biopolymeren en dergelijke verder zijn ontwikkeld, kan worden bepaald welke gewassen en welke (genetische) technologieën de vereiste grondstoffen kunnen leveren.

### 4. VALORISATIE VAN ORGANISCH AFVAL

Om meer te kunnen doen met organische reststoffen is er behoefte aan nieuwe moleculaire scheidingstechnieken, nieuwe gewasscheidings-technologieën en genetische technologieën om organische afvalstoffen eenvoudiger te kunnen verwerken.

## ONTWIKKELINGSTRAJECT GEÏNTEGREERDE PLANTCONVERSIE (GPC)



**FASE 1: TRADITIONELE BIOMASSA:** Toen de petrochemische industrie nog niet ontwikkeld was, was de belangrijkste grondstof biomassa.

**FASE 2: PETROCHEMIE:** De huidige situatie wordt gedomineerd door de petrochemie. Het gebruik van biomassa is nog steeds hoog, bijvoorbeeld in ontwikkelingslanden en voor bepaalde toepassingen zoals constructiehout.

**FASE 3: NICHES:** Er is al een groot aantal voorbeelden van niches waarin biomassa een toegevoegde waarde heeft (kleiduiven, frietbakjes, etc.). Dit zal toenemen. Tegelijkertijd zal de landbouw als geheel moeten worden ontwikkeld (o.a. landbouw optimalisatie). Door de ontwikkeling van deze niches zullen er problemen opkomen die gepaard gaan met de omschakeling naar biomassa.

**FASE 4: GROOTSCHALIGE BIOMASSA, 2 MOGELIJKHEDEN:**

1. *actief:* grootschalige GPC in 2050 wordt tot doel gesteld
2. *passief:* gebruik delfstoffen tot economisch niet meer aantrekkelijk; rond 2050 lijkt dat dichtbij te komen alhoewel dat ook niet zeker is door:
  - recycling, verregaande dematerialisatie van energie, nieuwe bronnen en efficiency
  - bevolkings- en welvaarts-groei stuwt vraag weer op aan de andere kant.

# FIJNCHEMIE

PRODUCTIEPROCESSEN IN DE FIJNCHEMIE LEVEREN IN HET ALGEMEEN BEHOORLIJK WAT AFVAL OP. DE OORZAAK DAARVAN IS DAT DEZE PROCESSEN TAMELIJK GECompliceerd ZIJN; ZE VERLOPEN IN MEERDERE PROCESSTAPPEN EN IEDERE STAP HEEFT ZO Z'N EIGEN RENDEMENT. BOVEDIEN ZIJN IN DE FIJNCHEMIE DE PRODUCTIEVOLUMINA, DE PRODUCTIETIJD EN DE 'TIME-TO-MARKET' KLEIN. "DAT BETEKENT DAT JE VEEL MINDER ZORG KUNT BESTEDEN AAN PROCESSEN IN DE FIJNCHEMIE DAN IN DE GROTE CHEMIE" ZEGT BART DRINKENBURG, "MAAR, ER IS RUIMTE VOOR ONTWIKKELING EN DIE RUIMTE WILLEN WE GRAAG BENUTTEN."



# ALS KRAAMKAMER VOOR NIEUWE TECHNOLOGIE

*Wat moet er gebeuren om procesverbetering in de fijnchemie door te voeren?*

"In de organisatie van de procesontwikkeling moet je dingen verbeteren. De hele zaak begint nu wat in een stroomversnelling te komen omdat de agglomeraties sterker worden. Veel kleine fabrieken gaan op in een groter verband en dat brengt met zich mee, dat je daar meer sterkte hebt om naar nieuwe technologie te kijken. En dat heeft zowel een economisch als een milieurendement. Er is ruimte voor ontwikkeling en die ruimte willen we graag benutten. Er wordt veel nieuwe technologie ontwikkeld met andere productiewijzen, met een andere chemie en met een andere combinatie van chemie en technologie. Op dit punt is de fijnchemie in het voordeel ten opzichte van de grote chemie. In de fijnchemie heb je de mogelijkheid om op een bescheiden schaal nieuwe technologie te introduceren. Als je dat in de grote chemie wilt doen, dan duurt dat heel lang, want dan moet je zoiets eerst helemaal doorontwikkeld hebben.

Daar komt bij dat het inzicht de laatste jaren is gegroeid, dat je de fijnchemie kunt beschouwen als een kraamkamer voor nieuwe technologie. Het is niet meer dat de fijnchemie meerijdt op de ervaringen in de grote chemie. Nee, je kijkt specifiek naar een eigen fijnchemische procestechologie. En het uitstralings-effect is uiteindelijk groter dan alleen de fijnchemie, dat kan zich ook tot de grote chemie uitstreken."

*In het DTO-programma zijn verschillende nieuwe technologieën uitgewerkt, bijvoorbeeld modulaire procestechologie. Is dat idee kansrijk?*

"Het gebeurt op dit ogenblik al. Kijk maar naar multi-purpose installaties en multi-product plants. Op dit ogenblik zijn dat alleen nog vrij eenvoudige dingen. Bij reactoren bijvoorbeeld gaat het vooral om vloeistof-batch reactoren vanaf een bepaalde grootte. Die zijn dan netjes uitgevoerd bijvoorbeeld in emaille. Daar kan wel van alles en nog wat in, dus in die zin voldoet het aan de eisen, maar je zit vast aan één bepaalde geometrie en aan één type van uitvoering, namelijk batch-processing. Ik denk wel dat het mogelijk is om op dat idee voort te bouwen met een hele nieuwe laag technologie

**"WE HEBBEN NU BEHOORLIJK WAT MENSEN BIJ  
ELKAAR EN WE HEBBEN EEN RICHTING BEPAALD  
WAAR WE NAAR WILLEN KIJKEN: EEN KLASSE VAN  
PRODUCTIEPROCESSEN WAAR EEN HOOP OP TE  
VERBETEREN VALT EN DIE EEN GEMEENSCHAPPELIJKE  
BASIS HEBBEN IN DE BEDRIJVEN"**

DR. IR. A.A.H. DRINKENBURG IS HOOGLEERAAR PROCESONTWIKKELING AAN DE TU EINDHOVEN  
EN TECHNOLOGY MANAGER RESEARCH BIJ DSM

die wat fijnzinniger van aard is. Denk aan het werken met katalysatoren en het werken met membraamtechnologie. Als je dat soort technieken niet op één plaats maar ook op meer plaatsen kunt gebruiken en je kunt de capaciteit vergroten of verkleinen door meer of minder modules te plaatsen, dan is dat een belangrijke kostprijsverlagende factor. In de grote chemie praat je over *economy of scale* ofwel: 'in het groot wordt het vanzelf goedkoop'. In de fijnchemie gaat dat niet op, maar je kunt dat misschien wel met modulaire technologie bereiken."

*Een andere veelbelovende optie is de fabriek als een pipeless plant. Ziet u daar ook mogelijkheden voor?*

"In Japan wordt daar heel stevig aan gewerkt, maar ook in Europa. De eerste toepassingen zie je in de verffabriek. Je hebt daar te maken met een taai vloeistof die lastig te verpompen is. Je moet steeds alles schoonmaken en dergelijke, dus daar is een pipeless plant het hardst nodig. Gaandeweg ga je meer van zo'n systeem leren en kun je het ook op moeilijker zaken toepassen. Dus dan zie je een introductie in de fijnchemie. Je kunt nog verder kijken naar de ontwikkeling in de auto-industrie; dat je een lijn hebt met robotstations. Zo'n concept is ook in de fijnchemie voorstelbaar en die kant zie je het opgaan. Waar het precies op uitkomt kun je moeilijk zeggen, maar dat die ontwikkeling gaande is, dat is heel duidelijk."

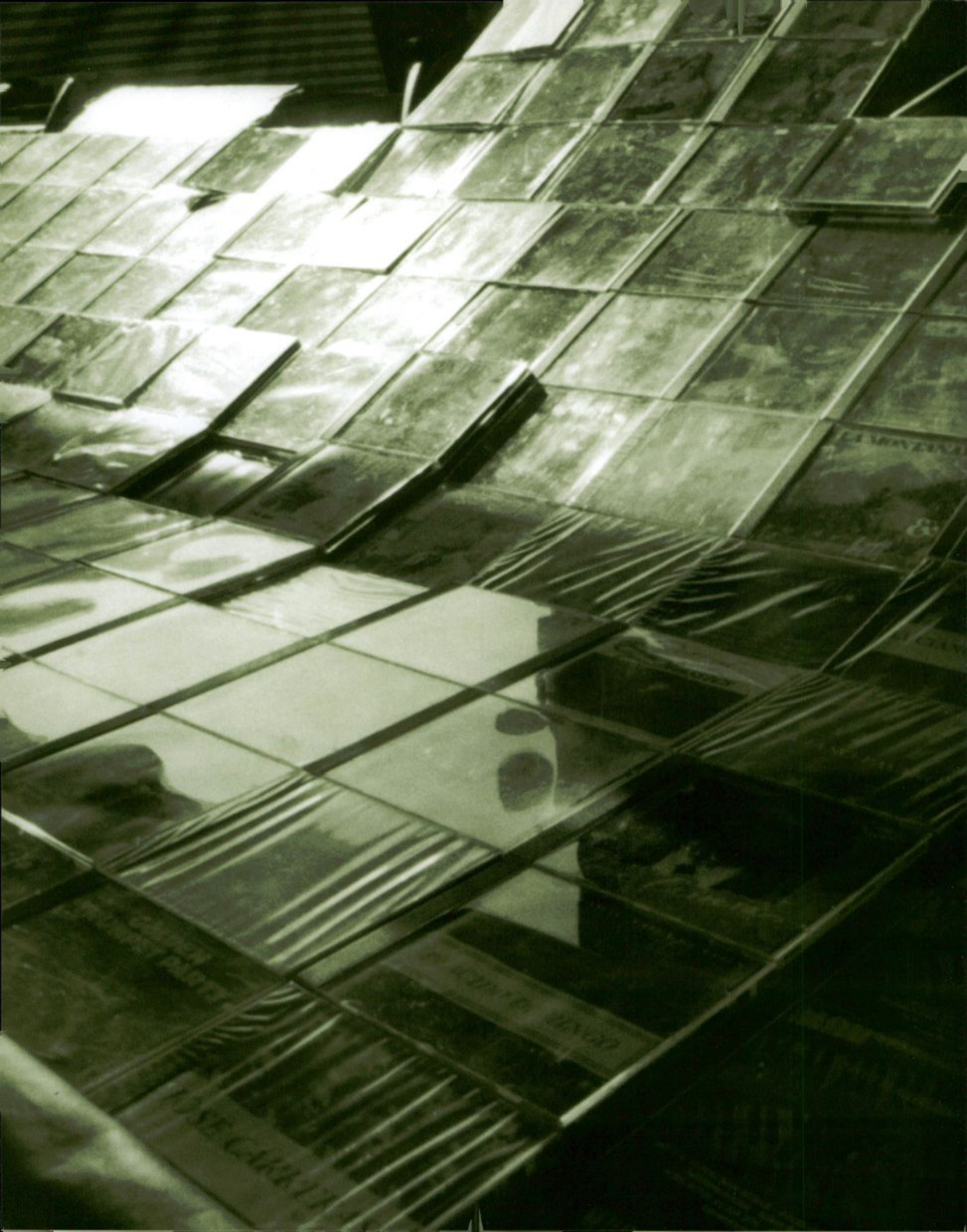
*DTO heeft als lange-termijnerspectief een vermindering van de verliezen met een factor twintig. Is dat binnen de fijnchemie met dergelijke technologieën haalbaar?*

"Ik denk dat het niet onmogelijk is. Ik heb er best fiduciair in dat we daar kunnen komen."

*En daar heeft u veertig of vijftig jaar voor nodig?*

"Het is niet iets wat morgen klaar is. Je moet in de gaten houden dat het gaat om het organiseren van nieuwe technologie. Het is niet een kwestie van we slaan een paar palen de grond in we zetten er een nieuwe installatie op. Maar veertig of vijftig jaar hebben we niet nodig. We hebben nu behoorlijk wat mensen bij elkaar en we hebben een richting bepaald waar we naar willen kijken: een klasse van

productieprocessen waar een hoop op te verbeteren valt en die een gemeenschappelijke basis hebben in de bedrijven. Dat is in beweging en binnen niet al te lange tijd komen we met een programma om dingen te ontwikkelen. Het moet dan blijken of zo'n ontwikkeling uiteindelijk voldoende potentie krijgt, zodat de bedrijven het zelf kunnen oppakken."







# DE OVERDRACHT VAN RESULTATEN

DE RESULTATEN VAN HET DTO-CHEMIEPROGRAMMA TONEN

AAN, DAT DE CHEMIE EEN ESSENTIËLE BIJDRAGE KAN LEVEREN

AAN EEN DUURZAME TECHNOLOGISCHE ONTWIKKELING.

TIJDENS HET PROGRAMMA ZIJN VIJF THEMA'S UITGEWERKT,

WAAR IN DE KOMENDE DECENNIA BELANGRIJKE INNOVATIES

MOGELIJK EN KANSRIJK ZIJN. DEZE VIJF THEMA'S DEKKEN

BOVENDIEN EEN BELANGRIJK DEEL VAN DE CHEMISCHE SECTOR.

OP LANGE TERMIJN BIEDEN DE UITGEWERKTE THEMA'S ZICHT

OP EEN CHEMIE EN EEN ENERGIEVOORZIENING DIE VOLLEDIG

ZIJN GEBASEERD OP BIOMASSA EN ZONNE-ENERGIE. MAAR

OOK OP KORTE TERMIJN BIEDEN ZE AANKNOPINGSPUNTEN

VOOR ECONOMISCH EN ECOLOGISCH AANTREKKELIJKE

INNOVATIES.

VOOR DE TECHNOLOGISCHE VER-  
NIEUWINGEN zijn nog veel onderzoek en ont-  
wikkeling nodig. Een gerichte samenwerking tussen  
bedrijven in de chemische sector, universiteiten en  
overheid is daarbij noodzakelijk. Deze samenwerking  
is tijdens het DTO-programma versterkt en het denken  
over een duurzame toekomst en over de rol van de  
chemie daarin heeft veel betrokkenen enthousiast  
gemaakt. Naast de inhoudelijke resultaten van het  
programma, biedt het gevormde draagvlak zicht op  
een voortzetting van de ontwikkeling van duurzame  
technologie.

IN HET VERVOLG OP HET DTO-PRO-  
GRAMMA worden de vijf thema's verder uitgewerkt  
door nieuwe samenwerkingsverbanden tussen industrie  
en wetenschap. Per thema is een platform opgericht  
bestaande uit de meest betrokken deskundigen en  
vertegenwoordigers van het bedrijfsleven. Het is de  
bedoeling dat deze platforms met financiële bijdragen  
van overheid en bedrijfsleven de voorgestelde R&D-  
programma's in gang zetten.

## KEY TO CHEMISTRY

### SUN AND BIOMASS: SOURCES OF THE FUTURE

#### SUMMARY

THE SUSTAINABLE TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT PROGRAMME (STD) WAS SET UP IN RESPONSE TO THE PHENOMENAL GROWTH OF BOTH POPULATION AND PROSPERITY LEVELS WORLDWIDE. THIS DUAL GROWTH IS IN TURN LEADING TO AN INCREASE IN THE DEMAND FOR MANY CONSUMER ITEMS AND FOR ENERGY. THE RESULTS OF A NUMBER OF NATIONAL AND INTERNATIONAL STUDIES HAVE LED US TO THE CONCLUSION THAT THIS GROWTH CAN ONLY CONTINUE LONG-TERM IF IN THE NEXT FIFTY YEARS WE CAN SUCCEED IN ACHIEVING A FACTOR TWENTY IMPROVEMENT IN OUR USE OF RESOURCES, SPACE AND THE ENVIRONMENT. THE AIM OF THE STD PROGRAMME IS TO IDENTIFY THE CHANGES OF DIRECTION REQUIRED AND THE OPPORTUNITIES TO BE EXPLOITED TO MAKE THIS GOAL ACHIEVABLE.

**CHEMISTRY IS AN IMPORTANT KEY** to the achievement of this factor twenty improvement. The STD programme proves this claim and supports it with a large number of examples. Not only does sustainable chemistry open up long-term opportunities - it also provides an integral framework for economically attractive short-term developments, such as the tapping of alternative resources to replace those which are becoming scarcer and more expensive.

**THE DUTCH GOVERNMENT** initiated the STD programme in 1993. A wide range of centres of excellence, businesses and social organisations have contributed. The overall programme comprises five sub-programmes:

- FOOD
- CHEMISTRY
- TRANSPORT
- HOUSING
- WATER

This publication outlines the findings of the Chemistry sub-programme.

**FIVE THEMES WERE DEVELOPED** as part of the programme. Together they cover much of the field of chemistry. These themes have been elaborated using an overview of recent developments at home and abroad. The results of this process are outlined next.



#### PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY

One of the most elegant forms of sustainable energy is photovoltaic solar energy, whereby sunlight is directly converted into electricity. The expense of photovoltaic solar energy are likely to prohibit its large-scale application in the next few decades. It does, however, open up opportunities for those areas without a reliable electricity supply. In the longer term, however, from 2020 onwards, photovoltaic solar energy is expected to make a significant contribution to total energy supplies. The development of solar cells is being promoted worldwide, and much hope is being pinned on the so-called organic solar cell. Photovoltaic solar energy is expected to provide a rich source of opportunity for the chemical industry, partly because the chemical sector is a producer of vital parts of photovoltaic systems but also because the chemical industry is a bulk consumer of energy.

### **CONVERSION OF HYDROCARBONS (C1 CHEMISTRY)**

The most widely used hydrocarbons originate from fossil sources. In over ninety percent of cases only the energy content of hydrocarbons is used in the combustion of coal, oil and gas in engines and furnaces. The material component is lost in the form of CO<sub>2</sub>. Between six and eight percent of fossil sources are used as raw materials in the chemical industry. It would be more efficient to combine the use of the energy content with the use of the material content. One promising possibility is the gasification of hydrocarbons to form synthesis gas, a mixture of CO and H<sub>2</sub>. For this, either fossil materials or biomass can be used. Synthesis gas can then be used for the production of methanol. Methanol is an ideal basic chemical for use in the energy sector (for example as a fuel for gas turbines) and in the chemical industry as a basis for C<sub>1</sub> chemistry, i.e. chemistry based on molecules containing a single C-atom.

One system in which the production of methanol is integrated is known as *green synthesis combined heat and power generation system*. This could be used to great advantage in facilitating the transition from fossil fuels to biomass, so that a situation can be reached in which biomass is used as a major source of energy and as a basic chemical in the chemical industry. The system also facilitates the efficient storage of energy in the form of carbon and hydrocarbons. The development of *green synthesis combined heat and power generation* ties in well with existing developments in the fields of coal gasification and methanol production.

### **WHOLE CROP UTILISATION**

The term 'whole crop utilisation' refers to techniques developed with the aim of making useful products out of biomass with a high added value. As is the case in the refining of crude oil, each and every fraction of the plant is used to the full. Some parts of the plant can be used in their unprocessed state, such as seeds, pips and fibres. Other parts, such as the foliage, roots and stems can be used as basic materials for high quality chemical products. Waste products such as the scrap can be gasified or fermented and used as a basic material in the energy supply industry. Whole crop utilisation reduces the price discrepancy between fossil materials and biomass.

### **FINE CHEMISTRY PROCESS TECHNOLOGY**

The production of fine chemicals generally entails the production of vast quantities of waste. This is largely because fine chemistry does not have its own process technology and the process equipment is initially intended for use in bulk chemistry. There are many ways in which the returns on fine chemistry processes could be improved. One possibility would be the development of small-scale modular factories. Another possibility would be to use a similar structure to that of a car factory, in which at each stage in their development the products pass through specialist processing stations. Other options are the use of a wide range of new processes, including biocatalysis, multi-phase systems, the use of membrane reactors, supercritical extraction and enzyme technology. In the longer term metabolic engineering, or to put it in simple terms, the idea of 'the plant as a factory', looks promising. This would make it possible to use the various qualities of plants more efficiently for the production of fine chemicals and specialties.

### **FIBRE-REINFORCED COMPOSITE MATERIALS**

Fibre-reinforced composites are made by combining fibres with a binding agent to form a new material. One example of a widely used product is glass-fibre reinforced polythene. It is possible to use natural fibres, such as flax and hemp, instead of glass.

The car industry is carrying out particularly intensive research into this possibility. Fibre-reinforced composites can be applied large-scale in the construction industry and in the production of various consumer items.

Wood is a natural composite. However, the use of hardwood and the upgrading of soft wood using resins and impregnants both cause significant environmental damage. One environmentally friendly adaptation of soft wood is the PLATO-process developed by Shell. This entails the processing of soft wood under high pressure and at a high temperature in such a way that it acquires almost the same qualities as hardwood.

## COLOFON

Samenstellers en uitgever zijn zich volledig bewust van hun taak een zo betrouwbaar mogelijke uitgave te verzorgen. Niettemin kunnen zij geen aansprakelijkheid aanvaarden voor eventuele in deze uitgave voorkomende onjuistheden.

REDACTIE: Jan Mulderink, Wim van Heugten, Leo Jansen, Conny Bakker, Henk Bouwmeester, Tatiana Kievid, Geert van Grootveld, Philip Vergragt.

COORDINATIE: Conny Bakker, Rotterdam • TEKST EN INTERVIEWS: Henk Bouwmeester, Amersfoort  
VORMGEVING/BEELDEDRECTIE: Knock-Out visual direction for media, Elega & Zijlstra, Rotterdam

BEELDERESEARCH: Gerda Zijlstra, Rotterdam • FOTOGRAFIE INTERVIEWS: Dick Weisz, Delft • DRUK: Snoeck Ducaju & Zoon NV, Gent • VERTALING: CPLS, Eindhoven  
UITGEVER: Mark S. Storm, Den Haag

DE TEKST IN DEZE SLEUTEL IS GEBASEERD OP DE VOLGENDE PUBLICATIES:

REACTIE OP DE TOEKOMST, DTO-uitgave onder verantwoordelijkheid projectteam Chemie, januari 97, ISBN 90-5697-005-4

DUURZAAMHEID EN CHEMIE; een bundel essays geschreven op verzoek van het interdepartementale onderzoekprogramma duurzame technologie, DTO, 1996,  
uitgave programma DTO, ISBN 90-5697-003-8

DUURZAME TECHNOLOGISCHE ONTWIKKELING CHEMIE; VIJF TECHNOLOGIE-ONTWIKKELINGSVELDEN, rapportage van Willems & van den Wildenberg, DTO, 1997.

DTO-PROGRAMMA CHEMIE IS MOGELIJK GEMAAKT DANKZIJ BIJDRAGEN VAN DE VOLGENDE PERSONEN:

STUURGROEP: mw. ir. M.H.J. Braks (WILLEMS & VAN DEN WILDENBERG) • dhr. dr.ir. J.A. Don (TNO MILIEU, ENERGIE EN PROCESINNOVATIE) • dhr. dr. W.F.W.M. van Heugten  
(PROGRAMMA DTO) • dhr. drs. P. Kroone (KROONE CONSULTANTS BV) • dhr. ir. J.J.M. Mulderink (PROGRAMMA DTO) • dhr. prof.ir. A.H. de Rooij (MERIT) •  
dhr. prof.dr. B. Zwanenburg (KATHOLIEKE UNIVERSITEIT NIJMEGEN VAKGROEP ORGANISCHE CHEMIE).

BEGELEIDINGSKOMMISSIE: mw. dr. J.W. Bijsterbosch (RIZA SPA) • mw. ir. M.H.J. Braks (WILLEMS & VAN DEN WILDENBERG) • dhr. dr.ir. J.A. Don (TNO MILIEU, ENERGIE EN  
PROCESINNOVATIE) • dhr. ir. G. van Grootveld (PROGRAMMA DTO) • dhr. prof.dr.ir. H.P. Van Heel (Synerchem) • dhr. dr. W.F.W.M. van Heugten (PROGRAMMA DTO) •  
dhr. Dr. H.J. Huizing (INSTITUUT VOOR AGROTECHNOLOGISCH ONDERZOEK (ATO-DLO) BIOCONVERSIE) • dhr. prof.dr.ir. J.L.A. Jansen (PROGRAMMA DTO) • dhr. ir. D. van der Meer •  
dhr. ir. J.J.M. Mulderink (PROGRAMMA DTO) • dhr. prof.ir. A.H. de Rooij (MERIT) • dhr. dr. E. van Spiegel • dhr. prof.dr. B. Zwanenburg (KATHOLIEKE UNIVERSITEIT NIJMEGEN  
VAKGR. ORGANISCHE CHEMIE).

INDUSTRY CIRCLE: dhr. ir. E. van Andel (AKZO Nobel N.V.) • dhr. dr. W.F.W.M. van Heugten (Programma DTO) • dhr. prof.dr.ir. J.G.H. Joosten (DSM Corporate Research Afdeling PAC-leiding) • dhr.  
mr.dr. P.W. Kwant (Shell International B.V. Afd. PXT) • dhr. ir. J.J.M. Mulderink (Programma DTO) • dhr. ir. G. Peppink (NV Samenwerkende Elektriciteits-Productiebedrijven (SEP)) • dhr. prof.ir. A.H. de Rooij  
(MERIT) • dhr. ir. J. Zuidam (DSM - Research). PLATFORM FINCHIE: mw. dr. J.W. Bijsterbosch (RIZA SPA) • dhr. drs.ing. J. Bout (Tebodin Consulting Engineers) • mw. ir. M.H.J. Braks (Willems &  
Van den Wildenberg) • dhr. prof.dr. A. Bruggink (Chemferm VOF) • dhr. ing. J.J. Christiaan (IFF Nederland B.V.) • dhr. prof. dr. ir. A.A.H. Drinkenburg (DSM Corporate Technology) • dhr. dr. J.W.J.  
Gielen (Unichema Internation BV) • dhr. Dr. C.A.C. Haasnoot (Organon N.V.) • dhr. Prof.dr. L.A. Hulshof (DSM Andeno) • dhr. ir. J. Masselink (Solvay Duphar) • dhr. Dr. ir. F.W.A.M. Miesen (TU  
Eindhoven Afd. Chemische Technologie Kamer STW 035) • dhr. ir. H. Stam (v/h Quest Internationaal) • dhr. Dr. A.H.A. Tinnemans (TNO Industrie) • dhr. ir. A.M. van der Velden (Tebodin  
Consultants & Engineers) • dhr. Dr. ir. K. van der Wiele (AKZO NOBEL Centrale Research) • dhr. prof.dr. B. Zwanenburg (Katholieke Universiteit Nijmegen Vakgroep Organische Chemie). PLATFORM  
GEÏNTEGREERDE PLANTEN CONVERSIE: dhr. dr. I.P. Bleeker (Avebe Research & Development) • dhr. dr. A. Capelle (Cebeco Handelsraad B.A.) • dhr. dr. J.H.P. Derksen (Instituut voor Agrotechnologisch Onderzoek  
(ATO-DLO) Industriële gewassen, eiwitten en vetzuurtechnologie) • dhr. dr. J.J.M. Dons (CPRO/DLO Directie) • dhr. dr. J.W.J. Gielen (Unichema Internation BV) • dhr. prof.dr. A. de Groot (Landbouw  
Universiteit Wageningen) • dhr. dr. ir. N.G. Hogenboom (Centr v Plantenveredelings- en Reproductieonderzoek CPRO DLO) • dhr. drs. R.A.C. Koster (Landbouw Economisch Instituut Dienst  
Landbouwkundig Onderz) • dhr. dr. ir. H. Maatman (AKZO NOBEL Centrale Research) • dhr. dr. ir. C. Okkerse (Carbohydrate Research Foundation) • dhr. dr. B.J.R. Scholtens (DSM Directie  
Wetenschappelijk Onderzoek) • dhr. ir. H.H.W.J.M. Sengers (Landbouw Economisch Instituut - Dienst Landbouwkundig Onderzoek) • PLATFORM PHOTOVOLTAÏSCH: dhr. dr. A. Goossens (TU Delft Vakg. Org.  
Chemie & Thermodyn) • dhr. dr. J.C. Hummelens (Rijksuniversiteit Groningen Afdeling OMAC) • dhr. dr. G.J. Jongerden (Akzo Nobel Centrale Research) • dhr. dr. J.T.N. Kimmann (Novem) • dhr. mr.dr.  
P.W. Kwant (Shell International B.V. Afd. PXT) • dhr. H.E.H. Meijer (Technische Universiteit Eindhoven Fac.Scheik. Techn. Vakgr. Org. Chemie) • dhr. Dr. J.A.M. van Roosmalen (ECN Duurzame  
Energie) • dhr. dr. B.J.R. Scholtens (DSM Directie Wetenschappelijk Onderzoek) • dhr. dr. R.E.I. Schropp (Universiteit van Utrecht Orneinlab) • dhr. prof. dr. E.J.R. Sudhölter (Landbouw  
Universiteit Wageningen) • dhr. dr. F.C. Witte (Novem). PLATFORM BIOMASSA: mw. dr. R.M. Buitelaar (ATO-DLO) • dhr. Drs. A.P.C. Faay (Universiteit Utrecht Afd. Wetenschap Technologie en  
Samenleving) • dhr. dr. ir. F. Goudriaan (BIOFUEL v.o.f.) • dhr. dr. H.J. Huizing (Instituut voor Agrotechnologisch Onderzoek (ATO-DLO) Bioconversie) • dhr. Dr. R. Hunik (Kema Nederland B.V.)  
• dhr. mr.dr. P.W. Kwant (Shell International B.V. Afd. PXT) • dhr. ir. F.J.G.M. van Oorsouw (Shell Centre) • dhr. ir. G. Peppink (NV Samenwerkende Elektriciteits-productiebedrijven (SEP)) • dhr.  
dr. J. Quakernaat (TNO/MEP Afd. Thermische Conversie) • dhr. prof.dr. W.C. Turkenburg (Rijks Universiteit Utrecht Vakgroep NW & S). PLATFORM MATERIALEN: dhr. J. Brinks (De Groot Vroomshoop  
B.V.) • mw. dr. Th. van Kemenade (ATO-DLO) • dhr. ir. R.F. Margadant • dhr. drs. H.J. Meyer (AVEBE - New Business) • dhr. dr. T. Peys (Technische Universiteit Eindhoven Afdeling  
Werktuigbouwkunde) • dhr. dr. G.T. Pott (CERES). ESSAYSCHRIJVERS: dhr. prof.dr. ir. H. van Bekkum (TU-Delft Faculteit der Scheikundige Technologie en Materiaalkunde) • dhr. prof.dr. ir. C.  
Boelhouwer (Universiteit Amsterdam Instituut Technische Scheikunde) • mw. J. Broerse (VU Amsterdam Afd Biologie & Samenleving) • dhr. ir. R.J. Decae (Vrije Universiteit Amsterdam Faculteit  
Biologie) • dhr. ir. L.J.E. Duijnsens (Coopers & Lybrand Civil Consultancy) • dhr. prof.dr. ir. J.M.H. Fortuin (Universiteit Amsterdam Vakgr Dep. of Chemical Engineering / IPC OTS) • dhr. dr. ir. C.  
Okkerse (Carbohydrate Research Foundation) • dhr. dr. J. Rozema (Vrije Universiteit Amsterdam Faculteit Biologie) • dhr. drs. A. van der Schuyt (Coopers & Lybrand Civil Consultancy) • dhr. ir.  
J.N.A. Vermulen (Senovation Consultancy and Training) • dhr. drs. H.J. Wiesenecker (Vrije Universiteit Amsterdam Faculteit Biologie). DIRECT BETROFFENDE: dhr. prof. dr. J.F. Bol (RU Leiden, Leids  
Instituut voor Chemisch Onderzoek) • dhr. dr. A. ten Brinke (Stichting Toekomstbeeld der Techniek) • dhr. prof. dr. J.B.F.N. Engbers (Rijksuniversiteit Groningen Organisch Chem Laboratorium)  
• dhr. prof. dr. G.J. Fleer (Landb. Universiteit Wageningen Vakgr.Fysische & Kolloïdchemie) • dhr. dr. ir. R.G. Gossink (TU Eindhoven Philips Nat. Laboratorium) • dhr. prof. dr. G. Hadziloannou  
(Rijksuniversiteit Groningen Lab voor Polymerchemie) • dhr. prof. dr. ir. J.J. Heijnen (TU Delft Vakgroep Bioprocetechnologie) • dhr. dr. F.Th. Hesselink (SON) • dhr. prof. dr. P.J.J. Hooykaas  
(Rijksuniversiteit Leiden Celsius Laboratorium) • dhr. prof. dr. P.J. Lemstra (Techn Universiteit Eindhoven Lab voor Polymerchemie) • dhr. dr. ir. J.C. Mol (Universiteit van Amsterdam Lab voor  
Chemische Technologie) • dhr. prof. dr. R.J.M. Nolte (Katholieke Universiteit Nijmegen Lab voor Organische Chemie) • dhr. prof. dr. J. Reedijk (Rijksuniversiteit Leiden Gorlaeus Laboratoria) • dhr.  
prof. dr. ir. D.N. Reinhoudt (Universiteit Twente Fac. Chemische Technologie) • dhr. dr. J.C.M. Smeekens (Universiteit Utrecht Vakgr. Moleculaire Celbiologie) • dhr. prof. dr. ir. L.C.E. Struik (DSM  
Directie Wetenschappelijk Onderzoek) • dhr. mr. H. Tent (Commission of the European Communities, DG-XII) • dhr. prof. dr. J. Uytendhoeve (Katholieke Universiteit - Leuven) • dhr. prof. dr. ir. H.  
Verweij (Universiteit Twente Fac. Chemische Technologie) • dhr. prof. dr. P.J. Weisbeek (Universiteit Utrecht Vakgroep Moleculaire Celbiologie).



DTO VISIE 2040 - 1998

**TECHNOLOGIE, SLEUTEL TOT EEN DUURZAME WELVAART**

In dit boek worden de kansen van een duurzame ontwikkeling en de werkwijze van DTO gevisualiseerd en beschreven. Het boek is tweetalig, Nederlands en Engels. ISBN 90-71694-86-0

Het programma DTO bestaat uit vijf deelprogramma's, die in afzonderlijke publicaties zijn beschreven. Deze publicatie gaat over het programma Chemie. De resultaten van de andere deelprogramma's vindt u in:

**SLEUTEL VOEDEN**

**SPECTRUM VAN EEN DUURZAME VOEDSELVOORZIENING**

De productie van één kilo varkensvlees kost vier tot vijf kilo ruwvoer. Energie, grondstoffen en ruimte worden op grote schaal verspild. Ook de productie van andere voedingsmiddelen verloopt vaak zeer inefficiënt. Nederland heeft veel kennis op het gebied van intensieve landbouw en biedt daardoor bij uitstek een proeftuin voor de ontwikkeling van nieuwe eiwithoudende voedingsmiddelen, efficiënte agrotechnologieën en duurzame vormen van landgebruik. ISBN 90-71694-91-7

**SLEUTEL VERPLAATSEN**

**ONTWERP VAN DUURZAME VERVOERSSYSTEMEN**

Vervoer van mensen en goederen kost veel energie en belast het milieu in meerdere opzichten. Ruimtegebrek veroorzaakt congestie, waardoor de mobiliteit steeds verder onder druk komt te staan. Om aan de groeiende mobiliteitsbehoefte tegemoet te komen zijn er alternatieven nodig zoals efficiënte voertuigen, ondergronds goederentransport en een betere vervoersorganisatie waardoor mensen zich comfortabel en milieuvriendelijk van deur tot deur kunnen verplaatsen. ISBN 90-71694-90-9

**SLEUTEL WATER**

**MODELLEN VAN EEN DUURZAME WATERKETEN**

Drinkwater dat met zorg is bereid, gebruiken we voor een kwart om de wc door te spoelen. Tegelijk laten we regenwater onbenut in het riool verdwijnen. We gebruiken water als medium om afval te transporteren en niet als een essentieel onderdeel van ons leefmilieu. Er zijn nieuwe systemen nodig om water vast te houden, efficiënter te gebruiken en met minder inspanning adequaat te zuiveren. ISBN 90-71694-87-9

**SLEUTEL HUISVESTEN**

**DUURZAME WIJKVERNIEUWING IN ROTTERDAM**

Een duurzame wijk is een leefbare wijk. Waar bewoners zich betrokken voelen. Een duurzame wijk is ook een wijk waar bewoners de gelegenheid hebben om zuinig te zijn met energie, ruimte, drinkwater en materialen. Duurzame wijkvernieuwing houdt dus in, dat bestuurders én bewoners gezamenlijk plannen maken voor de toekomst. Rotterdam laat zien hoe dat kan en wat dat kan opleveren. ISBN 90-71694-88-7





ISBN 90-71694-89-5



9 789071 694899

UITGEVER/PUBLISHER: TEN HAGEN & STAM BV