

JAARVERSLAG 2002



Energieonderzoek
Centrum
Nederland

De energievoorziening in 2050

Tekening van Wim van der Putten uit Haarlem, leerling van de gebroeders Das, die de visie van ECN Schoon Fossiel weergeeft.

In 2050 is de energievoorziening voor een groot deel gebaseerd op hernieuwbare bronnen zoals zon, wind, biomassa en bewegend water. Maar de inzet van fossiele brandstoffen kan nog steeds niet gemist worden. Dat is minder erg dan het lijkt: de energie-infrastructuur en de conversietechnologie zijn zover ontwikkeld dat deze fossiele brandstoffen uiterst schoon en efficiënt worden aangewend. Naast elektriciteit is waterstof de andere centrale secundaire energiedrager. Waterstof wordt geproduceerd – uit aardgas, maar ook door het splitsen van water met energie uit hernieuwbare bronnen – om als transportbrandstof te dienen en om energie te leveren in de perioden dat er meer vraag is naar energie dan 'real-time' aanbod. Het koolzuurgas en de andere verontreinigingen die overblijven bij de productie van waterstof uit aardgas worden opgeslagen waar ze vandaan zijn gekomen: in de lege gasvelden.

Inhoudsopgave

Voorwoord	2
Inleiding	3
Beleidsstudies	8
Energie Efficiency in de Industrie	10
Zonne-energie	13
Duurzame Energie in de Gebouwde Omgeving	16
Windenergie	19
Biomassa	22
Schoon Fossiel	25
Technologische Services en Consultancy	31
Nucleaire Technologie	33
Sociaal & Milieujaarsverslag	36
Jaarrekening 2001	39
Leden Raad van Toezicht, Adviesraden en Management	46

Voorwoord

Een van de voor ECN belangrijkste gebeurtenissen in 2002 vond plaats in Johannesburg. In deze wereldtop met maar liefst 22.000 deelnemers uit de hele wereld is gekeken naar de resultaten van de afgelopen tien jaar op het gebied van duurzaamheid en de bestrijding van de verschillen tussen arm en rijk. Onze eerste reactie was er een van teleurstelling. De Amerikaanse president is weggebleven, de resultaten zijn op alle gebieden waarover in Rio de Janeiro afspraken zijn gemaakt sterk achtergebleven bij de verwachtingen. Daarnaast is weer enorm gesteggeld over kleine woordjes in de slotverklaring die eigenlijk nauwelijks ter zake doen.

Toch zijn er ook lichtpunten. Langzamerhand groeit het bewustzijn dat met hoogdravende verklaringen en vage agenda's geen vooruitgang wordt geboekt. De grotere concentratie in Johannesburg op concrete, realiseerbare projecten lijkt ons de goede weg. En het Kyoto-verdrag leeft nog steeds, ook al hebben nog niet genoeg landen die samen voldoende kunnen bijdragen het geratificeerd. De meeste landen hebben evenwel aangegeven zich desondanks aan de afspraken te zullen houden. Dit is van groot belang gezien de snelheid waarmee de gevolgen van de verhoging van de aardtemperatuur merkbaar worden.

Ook ECN was in Johannesburg aanwezig, onder meer met het in Petten ontwikkelde stikstofspel NitroGenius. Velen, onder wie ook staatssecretaris Van Geel van het ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu, hebben daarmee dieper inzicht in het stikstofoxideprobleem kunnen ontwikkelen. Ook in een latere internationale conferentie over het stikstofvraagstuk is veel gebruik gemaakt van dit *decision support system*.

Hoe belangrijk het innovatiebeleid is voor duurzame ontwikkeling blijkt wel uit het advies 'Milieu en Economie: Ontkoppeling door innovatie' van de VROM-raad. "Voor enkele hardnekkige milieuproblemen zoals het broeikasprobleem blijkt de traditionele aanpak niet te werken", schrijft de VROM-raad en hij pleit in zijn advies voor een veel sterkere nadruk op het innovatiebeleid. Voor de minister van Economische Zaken ligt hier een uitdaging. Het richten van het innovatiebeleid op transitie naar een duurzame samenleving is van groot belang. Met grote belangstelling kijken wij uit naar de innovatiebrief die door de minister van EZ in de loop van 2003 aan de Kamer zal worden gestuurd.

In dat kader is ook de evaluatie van het functioneren van de brugfunctie van TNO en de GTI's, gecoördineerd door de minister van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen, van belang. In de Nederlandse kennisinfrastructuur is een grote rol weggelegd voor TNO en de

GTI's. Het innovatiebeleid is niet altijd even goed toegesneden op de wijze van werken van deze kennisinstituten. Indien met de uitkomst van de evaluatie zowel de werkwijze van de instituten kan worden verbeterd als het instrumentarium voor het innovatiebeleid beter kan worden toegesneden op de werkwijze van de instituten, is een belangrijke stap voorwaarts gezet op de weg naar een beter functionerende kennisinfrastructuur. Het ministerie van Economische Zaken is op dit moment bezig het financiële instrumentarium voor energieonderzoek tegen het licht te houden. Voordat hierin onomkeerbare veranderingen worden aangebracht is het verstandig te wachten tot de uitkomsten van de brugfunctie-evaluatie bekend zijn.

Zoals veel ondernemingen heeft ook ECN serieus last van het economisch zware weer. Reserves en voorzieningen die gedeeltelijk in aandelen zijn belegd hebben door de beursmalaise forse klappen opgelopen. Dat is tevens de belangrijkste oorzaak van de pensioenproblematiek die in Nederland is ontstaan. En noodzakelijke bijstortingen vormen in tijden van economische neergang een extra zware last. In het overleg tussen overheid, werkgevers en werknemers is de duurzaamheid van het Nederlandse pensioenstelsel uitvoerig aan de orde gesteld. De uitkomsten van deze discussie zullen door de Raad van Toezicht nauwlettend worden gevolgd. Het is in dezen belangrijk dat ECN, gezien zijn karakter, zoveel mogelijk in de pas loopt met wat gebruikelijk is bij met name de overheid.

In het voorjaar hebben we afscheid moeten nemen van de voorzitter van de directie, prof.dr. Frans Saris. Hij is door zijn brede kennis en onvermoeibare inzet van grote waarde geweest voor ECN. Dat geldt ook voor ir. Wouter Schatborn, die in de loop van 2003 terugtreedt. We hebben drs. Peter Wilson bereid gevonden op te treden als interim-directeur. Peter Wilson heeft een zeer waardevolle bijdrage geleverd aan het weer normaliseren van de verhoudingen in de organisatie en aan het vormgeven aan een nieuwe directiestructuur. Begin 2003 maakt hij plaats voor een nieuwe voorzitter van de directie, dr. Ton Hoff, die we samen met de adjunct-directeuren dr. Kees van der Klein en prof.dr. Wim Sinke veel succes toewensen in hun nieuwe functies.

Ten slotte willen wij aan alle medewerkers onze dank uitspreken voor hun inzet in het niet gemakkelijke afgelopen jaar.

Namens de Raad van Toezicht,

Prof.dr. J.C. Terlouw
voorzitter

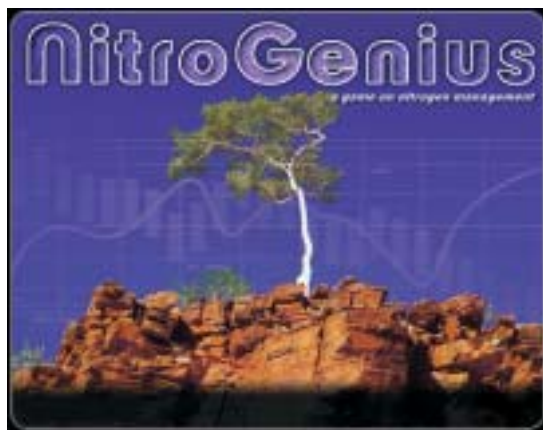
Inleiding

2002 was voor ECN een jaar van succesvol onderzoek, maar ook van financiële tegenwind en van interne onrust met een externe uitstraling. In de ECN-laboratoria werd enthousiast gewerkt aan de bouwstenen voor een toekomstige duurzame energievoorziening. Het is goed te constateren dat de technologie zich in 2002, in tegenstelling tot de economie, in positieve zin heeft ontwikkeld. Dit jaarverslag levert daarvan vele mooie voorbeelden.

Hoewel de omzet volgens plan is gestegen en het resultaat uit de normale bedrijfsvoering onder normale omstandigheden in zwarte cijfers geschreven had kunnen worden, is toch verlies geleden. Ons bedrijf werd net als vele andere getroffen door de effecten van dalende beurskoersen, resulterend in een serieuze pensioenproblematiek. ECN is zich zeer bewust van de ernst van de situatie en heeft zich inmiddels voorbereid op de toekomst. Zelfvertrouwen, inzet en kwaliteit zijn daarbij onmisbare ingrediënten. De directie worstelde in 2002 met vele sterk van elkaar verschillende meningen en inzichten, een moeilijke periode voor alle betrokkenen die mede heeft geleid tot een nieuwe organisatiestructuur en personele wijzigingen.

Onderzoek en ontwikkeling

Op het terrein van energie en milieu verschenen begin 2002 twee centrale overheidsnota's: het Energierapport 2002 van het ministerie van Economische Zaken (EZ) en de Evaluatienota Klimaatbeleid van het ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu (VROM). Bij de onderbouwing van de analyses in deze nota's heeft ECN belangrijke bijdragen geleverd. Het gaat daarbij om de referentieraming voor energiegebruik en broeikasgassen, die in samenwerking met RIVM is uitgevoerd, enkele opdrachten in de sfeer van de evaluatie van het besparingsbeleid en een groot aantal achtergrondnotities over duurzame energie en warmtekrachtkoppeling.



Missie

- Met energie-innovaties voor overheden en bedrijven werken wij aan een duurzame energievoorziening. Door onderzoek en ontwikkeling dragen wij bij aan een efficiënter gebruik van energie, aan een versnelde implementatie van vernieuwbare energie en aan een schonere aanwending van fossiele brandstoffen.
- Als kenniscentrum horen wij op onze prioriteitsgebieden tot de internationale top 5. Ons werk is gericht op technologieën en kennis die op een termijn van enkele tot vele jaren kunnen worden toegepast. Wij slaan hiermee een brug tussen fundamenteel onderzoek aan universiteiten en de toepassing ervan.
- Ons onderzoek vindt plaats in een inspirerende, effectieve en op vernieuwing gerichte omgeving, waarbij zorg voor de medewerker en het milieu centraal staan.

Het rendement van kristallijn-silicium zonnecellen die ECN in een volledig *in line* proces in 2002 produceerde is toegenomen van 14 tot 15%. Dit proces is in samenwerking met enkele machinebouwers voor de industrie beschikbaar gemaakt en zal naar alle waarschijnlijkheid in 2003 voor de eerste maal worden verkocht. Verder is een 'kabelloos' zonne-energiesysteem ontwikkeld, een systeem waarin de draagconstructie tevens als afvoerleiding voor de elektriciteit dienst doet. De systeemkosten kunnen door deze uitvoeringsvorm aanzienlijk worden gereduceerd.

Op het gebied van windenergie is, samen met de TU-Delft, een opschaling gestart van de R&D-faciliteiten. In de Wieringermeer zijn voorbereidingen getroffen voor de ingebruikname van het 'Kenniscentrum Windturbine Materialen en Constructies' (WMC), alsook van het 'ECN Windturbine Testpark Wieringermeer' (ECN WTW). Beide zijn essentieel voor de verdere ontwikkeling van grote windturbines voor gebruik op zee.

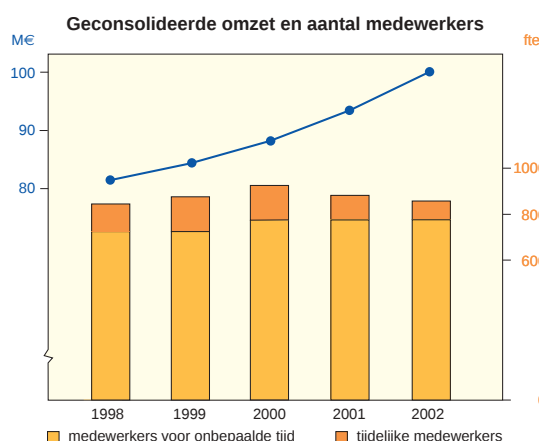
Voorts is op het gebied van windenergie een onverwacht grote stap voorwaarts gezet: het aanbrengen van een eenvoudig randje op de rotornaaf van een windturbine blijkt de turbine-efficiency met 1,5% te verbeteren.

Speel het ECN-spel NitroGenius voor dieper inzicht in de stikstofproblematiek. Zie ook pagina 28.

Er zijn grote vorderingen gemaakt bij de ontwikkeling van de thermoakoestische warmtepomp. Dit nieuwe type warmtepomp kan een zo hoge temperatuurlift realiseren dat onbruikbare industriële restwarmte kan worden opgewaardeerd tot opnieuw te gebruiken proceswarmte. Daarmee komt een aanzienlijk besparingspotentieel bij de industrie in zicht.

ECN-dochter InDEC is overgenomen door de Duitse industriegroep H.C. Starck, sinds 1986 onderdeel van het Bayer-concern. InDEC – Innovative Dutch Electro Ceramics – werd in 1999 door ECN opgericht en het bedrijf heeft zich sindsdien ontwikkeld tot een van 's werelds belangrijkste producenten van componenten voor de SOFC, de Solid Oxide Fuel Cell. Met de overname heeft deze door ECN ontwikkelde technologie haar weg naar de markt gevonden.

Uiteraard is dit slechts een greep uit het totaal van nieuwe ontwikkelingen en uitvindingen bij ECN. De volgende hoofdstukken geven een vollediger beeld.



Omzet en resultaat

Hoewel de omzet toenam van 93,5 miljoen euro in

2001 tot 100,3 miljoen in 2002 – overigens vooral door prijsstijgingen – is het boekjaar afgesloten met een verlies van 8,1 miljoen euro. Dit verlies is volledig toe te schrijven aan de forse additionele pensioenlasten waarmee ECN werd geconfronteerd, en aan een verdere afwaardering van aandelen uit het eigen vermogen. Beide tegenvallers houden rechtstreeks verband met de wereldwijde beursmalaise. Ook in de komende jaren moet rekening worden gehouden met hoge pensioenlasten. De precieze hoogte is nog niet bekend; overleg met enkele pensioenverzekeraars vindt nog plaats.

Na drie achtereenvolgende jaren van grote financiële tegenvallers is het eigen vermogen van ECN op een te laag niveau beland. Over de ontstane situatie wordt intensief overleg gevoerd met het ministerie van Economische Zaken en enkele andere partijen.

BSIK en het Zesde Kaderprogramma

ECN heeft in 2002 veel tijd en aandacht besteed aan het indienen van voorstellen voor de BSIK-regeling (Besluit Subsidies Investerings Kennisinfrastructuur) van SENTER en voor het Zesde Kaderprogramma van de Europese Unie. De vorming van consortia en het schrijven van de onderzoekvoorstellen voor beide regelingen betekenden voor ECN een aanzienlijke investering, met als opbrengst een verdere versteviging van ECN's positie in de nationale en internationale onderzoekwereld. ECN is nu prominent aanwezig in de belangrijkste voorstellen op het gebied van de transitie naar een duurzame energiehuishouding. Honorering van de ingediende voorstellen zal het Nederlandse onderzoek, in het bijzonder dat van ECN, een flinke impuls geven.

Octrooien

Met 12 ingediende octrooien is ECN, na een dip in 2001, weer op het niveau van 2000. Hiermee is het octrooibeleid dat bedoeld is om ECN's functie van kenniscentrum te versterken in 2002 opnieuw succesvol

Octrooien in 2002

verkorte titel	naam uitvinder(s)	toelichting blz.
Destillatiekolom met TAWP	Simon Spoelstra	10
Heterogene structuren in zonnecel	Ruud Muis en Brian O'Regan	14
PV wirefree	Henk Oldenkamp (directeur/eigenaar OKE Services)	16
Opbrengstverbetering windturbines	Gustave Corten	19
Teer uit biosyngas	Patrick Bergman, Sander van Paasen en Harold Boerrigter	22
Metaalgedragen SOFC	Gemma van Druten en Bert Rietveld	25
Sensor voor koolmonoxide	Wilko Planje	26
Compensatielaag voor vlakke SOFC	Pieter Nammensma, Rob de Rooy en Bart Broersen	27
Ontzwavelen van aardgas	Paul de Wild	28
NO _x -verwijdering	Ruud van den Brink en Jean-Pierre Pieterse	29
Brandstofcel met membraanbrander	Daan Jansen, Jan Wilco Dijkstra en Arend de Groot	30
Maximum power point tracker	Arie Veltman	31

gebleken. Anders dan in voorgaande jaren is een schatting van de waarde van de octrooiportefeuille in 2002 achterwege gebleven. Door het statistisch gezien geringe aantal octrooien en de moeilijk voorspelbare ontwikkeling van de markt is een betrouwbare waarde-bepaling toch te problematisch gebleken.

Kennisoverdracht

Ook in 2002 is veel aandacht besteed aan kennisoverdracht. De elektronische nieuwsbrief beleefde zijn tweede bestaansjaar en mocht zich in een verder stijgend aantal abonnees verheugen. Veel onderwerpen uit die nieuwsbrief vonden ook in 2002 hun weg naar de pers.

Een permanente opstelling van posters en ander voorlichtingsmateriaal in het Informatiecentrum geeft bezoekers een overzicht van onze kernactiviteiten en van die van NRG en GCO. In 2002 hebben 1.425 belangstellenden een bezoek aan ECN en NRG gebracht. De Open Dag in oktober trok nog eens 1.956 bezoekers.

Begin 2002 is de website www.energie.nl on-line gegaan. Deze site richt zich met brede informatie over ontwikkelingen in de Nederlandse energievoorziening op een professionele doelgroep. Het aantal bezoekers nam snel toe tot 2.000 per week met 9.000 pageviews. Komend jaar zal de site verder worden uitgebreid en verbeterd.

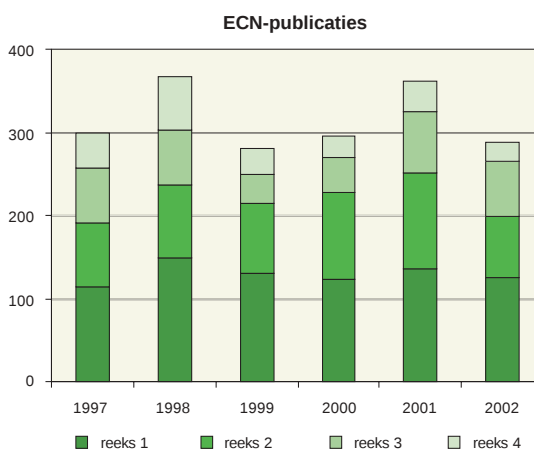
Publicaties

Het belangrijkste product van ECN zijn de onderzoekresultaten, in de vorm van ontwikkelde technologie of van kennis en analyses. Het is van groot belang voor de opdrachtgever en voor ECN dat de resultaten nauwkeurig schriftelijk worden vastgelegd. Afhankelijk van de aard van het project gebeurt dat in vertrouwelijke of openbare contractrapporten. Resultaten die zich daarvoor lenen worden verder gepresenteerd op conferenties of gepubliceerd in wetenschappelijke

vaktijdschriften. Het totaal aantal publicaties in 2002 bedroeg 289, waarvan 164 in de openbare literatuur (de reeksen 2, 3 en 4 in de figuur). De fluctuaties van jaar tot jaar in het aantal publicaties hangen vooral samen met het aantal projecten dat werd afgesloten. Dit wordt bepaald door de looptijd en de omvang van projecten in het totale ECN-programma. De directie streeft ernaar dat ECN de komende jaren geleidelijk meer onderzoekresultaten (ook) in vaktijdschriften gaat publiceren. Dit vraagt van onderzoekers een alerte houding om mogelijkheden te herkennen of te creëren en van leidinggevendenden een stimulerende houding ten aanzien van deze belangrijke vorm van 'output'.

Verspreiding / vraag naar rapporten

Sinds 1997 is een steeds groter deel van de (niet-vertrouwelijke) ECN-rapporten ook in elektronische vorm



De reeksen 1 en 2 bevatten de rapporten waarin de uitkomsten van contract-research zijn vastgelegd (1: vertrouwelijk, 2: openbaar). Reeks 3 bestaat uit bijdragen aan conferenties en artikelen voor wetenschappelijke tijdschriften. In reeks 4 zijn de overige uitgaven samengebracht, waaronder ook de eigen wetenschappelijke rapporten.

Top tien periode 1997-2002, cumulatief (van website gedownloade ECN-rapporten)

aantal	titel
1039	Veelgestelde vragen over fotovoltaïsche zonne-energie (okt 2001)
878	Referentieraming energie en CO ₂ 2001-2010 (jan 2002)
809	Characterisation of PV modules of new generations: results of tests and simulations (juli 2000)
796	MATTER 1.0: a MARKAL energy and materials system model characterisation (sep 1998)
742	Energy/Environmental modeling with the MARKAL family models (dec 2001)
704	European Wind Turbine Standards II (okt 1999)
708	Toekomst warmtekrachtkoppeling: verkenning van de economische aantrekkelijkheid in een geliberaliseerde markt (okt 1999)
664	The implications of tradable green certificates for the deployment of renewable electricity (okt 1999)
659	Tradable green certificates: a new market-based incentive scheme for renewable energy (maart 1999)
641	Monitoring and evaluation of solar home systems: experiences with applications of solar PV for households in developing countries (sept 1999)

via de ECN-website (gratis) verkrijgbaar. Van die mogelijkheid wordt in toenemende mate gebruikgemaakt. Inmiddels zijn 571 rapporten in totaal 61.075 keer in elektronische vorm opgehaald. Bijna de helft daarvan, 29.381 (48%), betreft de 189 rapporten van ECN Beleidsstudies die 33% van de totale ECN-output uitmaken (periode 1997-2002).

Sinds deze elektronische service van start is gegaan zijn de aantallen downloads snel opgelopen: 416 in 1998, 1902 in 1999, 7.737 in 2000, 19.507 in 2001 en 39.247 in 2002. Extrapolatie van de eerste scores in het nieuwe jaar doet voor 2003 een jaartotaal van 60.000 verwachten.

Energieonderzoek en de overheid

Jaarlijks besteedt de overheid circa 160 miljoen euro aan energieonderzoek. Dit budget is bedoeld om de technologische innovaties te realiseren die nodig zijn om de ambitieuze doelstellingen geformuleerd voor een duurzame energiehuishouding te behalen. Het grootste deel (60%) van het overheidsbudget komt voor rekening van het ministerie van Economische Zaken dat voor ECN het directe aanspreekpunt is.

In december 2001 is de notitie 'EnergieOnderzoekStrategie (EOS)' in de Tweede Kamer behandeld. In deze notitie worden de contouren van het beleid op het gebied van het energieonderzoek voor de komende jaren getekend. De belangrijkste doelstelling van het proces is concentratie op de onderzoekthema's die relevant zijn voor de verduurzaming van de energievoorziening en waaraan Nederland een wezenlijke bijdrage kan leveren. In 2002 is een begin gemaakt met de implementatie van de strategie (EOS2). Dit betreft drie onderdelen: opstellen van de R&D-portfolio, vernieuwing van het instrumentarium, en organisatie van het energieonderzoek.

In 2002 is door het bureau Van de Bunt een consultatie van het veld uitgevoerd. De bedoeling van de consultatie was om een beperkt aantal energieonderzoekthema's te definiëren en deze vervolgens door middel van een kwantitatieve ranking langs de hoofddassen 'bijdrage aan de energiehuishouding' en 'kennispositie' in te delen in speerpunten, kennisimport, kennisexport en niet-relevante thema's. De uitkomsten van de consultatie tonen aan dat het ECN-onderzoekprogramma in veel gevallen samenvalt met de genoemde speerpunten. Tevens sluiten de uitkomsten goed aan bij in huis uitgevoerde exercities van ECN om prioriteitstelling tussen de onderzoekthema's mogelijk te maken.

De sterke gerichtheid in de consultatie op de afzonderlijke technologieën heeft op onderdelen geleid tot het uit beeld verdwijnen van de gewenste en soms noodzakelijke samenhang van onderzoekthema's. Aan deze samenhang zal door het ministerie van Economische Zaken in het vervolgtraject extra aandacht worden geschonken.

Al met al verwacht ECN dat de definitieve R&D-port-

folio van de overheid (i.c. EZ) grotendeels in lijn zal zijn met de huidige programmering van het ECN-onderzoek, en daarmee een belangrijke en constructieve stimulans zal zijn voor de ECN-strategie in de komende jaren.

Ten aanzien van de vernieuwing van het instrumentarium zijn door het ministerie van Economische Zaken verschillende mogelijkheden genoemd. Over sommige daarvan maken wij ons zorgen. Voor ECN is het belangrijk dat bij de vernieuwing goed wordt gekeken naar het zogenoemde *level playing field* tussen onderzoeksinstituten in binnen- en buitenland. Alleen bij gelijke 'speelvelden' is sprake van eerlijke concurrentie, en concurrentie is een krachtig hulpmiddel voor het scherp houden van de organisatie. In de afgelopen jaren is gebleken dat ECN het goed doet bij in concurrentie verkregen middelen zoals binnen de programma's van Novem. Ook voor 2003 is de verwachting dat ECN zich goed staande zal kunnen houden.

De VROM-raad heeft in december 2002 het advies 'Milieu en Economie: Ontkoppeling door Innovatie' uitgebracht. In dit advies constateert de raad: "Het Nederlandse milieubeleid was de afgelopen jaren succesvol maar het nadert nu zijn uiterste houdbaarheidsdatum. Voor enkele hardnekkige milieuproblemen zoals het broeikasprobleem blijkt de traditionele aanpak niet te werken. Ondanks het feit dat Nederlanders dit soort problemen wel ernstig vinden, zijn ze maar tot op zekere hoogte bereid er wat aan te doen. Op economisch terrein is een vergelijkbare ontwikkeling gaande. Het gezond maken van de economie vraagt in deze tijden om meer dan traditionele oplossingen. Hoe uit deze impasse te komen? Hoofdpunt van het nieuwe advies is om via verschillende wegen sterker in te zetten op innovatie, ondermeer door een structurele verbetering van het Nederlandse innovatieklimaat. Hiermee zijn zowel de economie als het milieu gediend. Een nieuw op te richten, toonaangevende denktank zou een omgeving moeten creëren die innovaties uitlokt en stimuleert."

Zonder ingrijpende innovaties kan het klimaatprobleem niet worden opgelost. De ECN-directie is het uiteraard eens met die constatering van de VROM-raad; het bestaansrecht van ECN ligt er in opgesloten. In dit verband baart het zorgen dat het innovatiebeleid bij de verkiezingen voor de Tweede Kamer slechts een bescheiden rol heeft gespeeld. De nieuw op te richten, toonaangevende denktank kan hierbij behulpzaam zijn en zal door de ECN-directie worden ondersteund.

HFR in het nieuws

In 2002 was de Hoge Flux Reactor regelmatig in het nieuws, met name de veiligheidscultuur was een veelbesproken onderwerp. VROM-minister Pronk verklaarde in februari 2002 dat de veiligheid voor werknemers en omwonenden niet in het geding was.

Wel besloot hij vanwege zorgen over de veiligheids-cultuur de reactor tijdelijk stil te laten leggen. Een team van experts van het Internationaal Atoom Energie Agentschap (IAEA) heeft de veiligheidscultuur grondig onderzocht. Na een maand mocht de HFR weer in bedrijf worden genomen, op voorwaarde dat de implementatie van de aanbevelingen van de IAEA-commissie direct ter hand zou worden genomen. Ook in de maanden daarna stond de HFR in de belangstelling van de media. In het televisieprogramma 'Reporter' werd de mogelijkheid van een nucleaire explosie in de HFR naar voren gebracht. In opdracht van staatssecretaris Van Geel van VROM heeft een internationaal expert-forum deze mogelijkheid onderzocht. De conclusie dat een nucleaire explosie in de HFR niet kan optreden is inmiddels door de staatssecretaris aan de Tweede Kamer gerapporteerd.

Uiteraard heeft de situatie rond de HFR de grootste aandacht van de ECN-directie gehad. Met tevredenheid constateert de directie dat NRG grote vorderingen heeft gemaakt bij het verbeteren van de veiligheids-cultuur. Ook in 2003 zal de verbetering van de veiligheids-cultuur continue aandacht behoeven. Om het NRG-management in staat te stellen de bedrijfsvoering directer sturing te geven, is besloten mogelijkheden voor een verdere zelfstandiging van NRG in 2003 te onderzoeken.

Directiewisselingen en reorganisatie

Eind maart nam directievoorzitter prof.dr. Frans W. Saris afscheid van ECN. Hij heeft een benoeming aanvaard aan de Leidse Universiteit als decaan van de Faculteit Natuurwetenschappen. De Raad van Toezicht benoemde drs. Peter Wilson als opvolger ad interim. Directeur ir. Wouter Schatborn nam tot 1 mei 2002 tevens het voorzitterschap waar van de NRG-directie. Per die datum droeg hij de hamer over aan interim-directeur dr.ir. D.G. ten Wolde. Per 1 maart 2003 heeft ir. W. Schatborn de functie van adviseur van de ECN-directie aanvaard.

Eind 2002 werd dr. A.B.M. (Ton) Hoff als voorzitter van de directie benoemd. Hij trad in functie op 1 maart 2003. Per 1 januari 2003 is de directie van ECN versterkt met twee adjunct-directeuren uit eigen gelederen: dr. C.A.M. (Kees) van der Klein en prof.dr. Wim C. Sinke, de voormalige unitmanagers van Schoon Fossiel respectievelijk Zonne-energie. Hiermee is de directie uitgebreid van twee naar drie directeuren. De twee adjunct-directeuren zullen zich in het bijzonder bezighouden met de noodzakelijke prioriteitsstellingen in het onderzoek alsmede met het waar-maken van ECN's ambities in internationaal kader. De voorzitter van de directie zal zich sterk richten op de totale bedrijfsvoering en verdere versterking van de uiterst belangrijke externe dimensie.

Het aantal programma-units is uitgebreid van zes naar



acht, te weten Beleidsstudies, Energie Efficiency in de Industrie, Zonne-energie, Duurzame Energie in de Gebouwde Omgeving, Windenergie, Biomassa, Schoon Fossiel en Brandstofceltechnologie. Hiermee zijn acht eenheden gevormd van ongeveer gelijke grootte en omzet. Met deze veranderingen verwachten wij de externe en interne slagvaardigheid te hebben vergroot.

*De nieuwe ECN-directie,
van links naar rechts:
Kees van der Klein,
Ton Hoff en Wim Sinke*

Tot slot

Ook de komende tijd zal ECN nog de gevolgen onder-vinden van de recessie die het afgelopen jaar tot een negatief financieel resultaat heeft geleid. De maatregelen die nodig zijn zullen niet in alle gevallen warm worden onthaald. Maar de in het afgelopen jaar gebleken inzet, deskundigheid, creativiteit en flexibiliteit van de medewerkers van ECN geven de directie het vertrouwen dat ECN de gestelde doelen zal realiseren.

Dr. A.B.M. Hoff
directievoorzitter

Dr. C.A.M. van der Klein
adjunct-directeur

Prof.dr. W.C. Sinke
adjunct-directeur

Beleidsstudies

ECN Beleidsstudies levert onafhankelijk advies aan overheden en bedrijfsleven op het gebied van energie- en milieuvraagstukken. Richtsnoer daarbij is het versterken van de synergie tussen marktwerking en duurzaamheid.

Ondersteuning van Nederlands energie- en klimaatbeleid

Begin 2002 verschenen twee belangrijke overheidsnota's: het Energierapport 2002 van EZ en de Evaluatienota Klimaatbeleid van VROM. Ter onderbouwing van de analyses in deze nota's is veel werk verzet. Het gaat hierbij om de referentieraming voor energiegebruik en broeikasgassen die in samenwerking met RIVM is uitgevoerd, enkele opdrachten in de sfeer van de evaluatie van het besparingsbeleid en een groot aantal achtergrondnotities over duurzame energie en warmtekrachtkoppeling. In aansluiting op de conclusies van deze nota's is aanvullend beleidsonderzoek verricht. Voor EZ is gewerkt aan een project over instrumentele vernieuwing, voor VROM aan een project over sectorale emissiedoelen. In het najaar zijn berekeningen uitgevoerd voor het bepalen van de onrendabele top ten behoeve van de MEP-regeling voor duurzame energie. De laatste opdracht is onder hoge druk en met grote betrokkenheid van maatschappelijke partijen uitgevoerd.

Beleidsonderzoek voor derden

De unit werkt niet alleen voor de twee belangrijkste ministeries op het gebied van energie en milieu, EZ en VROM, maar is ook werkzaam voor een breed scala van andere overheidsinstanties en maatschappelijke partijen. Zo werd voor het ministerie van V&W bijgedragen aan een Europese vergelijkende studie naar de effectiviteit van het CO₂-beleid in de transportsector. In samenwerking met RIVM werden de milieuconsequenties van het Strategisch Akkoord van het kabinet-

Externe partners en opdrachtgevers Beleidsstudies

In veel projecten wordt samengewerkt met externe partijen. Op nationaal niveau spelen vooral de planbureaus (RIVM, CPB) en universiteiten (Twente, Eindhoven, Utrecht, VU-Amsterdam) een hoofdrol. Op internationaal niveau wordt samengewerkt met wetenschappelijke instellingen in vrijwel alle lidstaten van de Europese Unie. De opdrachtgevers zijn vooral te vinden bij de Nederlandse centrale overheid (met name de ministeries van EZ en VROM) en de Europese Commissie (met name de directoraten-generaal Energie en vervoer en Onderzoek). Verder wordt gewerkt voor een breed scala van maatschappelijke partijen, waaronder milieuorganisaties en het bedrijfsleven.



Met ingang van 2003 gaat ECN op de website www.energie.nl jaarlijks een analyse publiceren van de historische trends in het energiegebruik (Trendanalyse). Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een model genaamd MONIT. De bezoeker van deze website kan zelf op interactieve wijze grafieken en tabellen samenstellen van het Nederlandse energiegebruik en de CO₂-emissie per sector, eventueel uitgebreid met toekomstige ontwikkelingen op basis van de veelgebruikte Nederlandse scenario's (MONITweb). Op de website wordt uitgelegd wat de verschillende opties voor gebruikers precies inhouden en waarom belanghebbenden over juist deze informatie zouden moeten willen beschikken. De bezoeker kan grafiek en tabel zelf eenvoudig aanmaken in vijf stappen, door achtereenvolgens gebruik en/of emissie, sector(en), jaren, en scenario's te selecteren. Stap 5 is het maken van de grafiek. Grafiek en achterliggende tabel kunnen worden gekopieerd naar Word en Excel, zodat de bezoeker de informatie actief kan gebruiken voor bijvoorbeeld werk of studie.

Balkenende doorgerekend. Voor de Shell Foundation is een onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheden om kleinschalige Solar Home Systems met voorrang in aanmerking te laten komen voor implementatie binnen het Clean Development Mechanism. Voor de Algemene Energieraad werd een achtergrondstudie uitgevoerd naar de toekomst van de energie-infrastructuur. Voor Greenpeace werden de bedrijfseconomische aspecten van het openhouden van de kerncentrale Borssele vergeleken met nieuwe investeringen in off-shore windparken.

Innovatieve richtingen in het beleidsonderzoek

De innovatieve kanten van het beleidsonderzoek hebben vooral aandacht gekregen binnen de nieuwe pro-

gramma's 'Transitie & Innovatie' en 'Gas- en elektriciteitsmarkten' van de unit. In opdracht van VROM is een eerste transitiestudie afgerond die zich richt op transitiepaden voor klimaatneutrale energiedragers in de gebouwde omgeving. Hierbij bleek met name de inzet van synthetisch aardgas een aantrekkelijk perspectief op te leveren. De grootste onzekere factor in dit opzicht blijft de lange-termijn-beschikbaarheid van biomassa. In Europees gefinancierde projecten is er vooral aandacht geweest voor het formeel opnemen van leercurves in modelberekeningen. De unit heeft zich op dit gebied nu een internationaal erkende positie verworven. Wat betreft de inspanningen op het gebied van elektriciteitsmarkten moet het model COMPETES worden genoemd. Dit model beschrijft het huidige productiepark in Nederland en omringende landen inclusief transportnetwerken. Aangetoond kan worden hoe en onder welke omstandigheden elektriciteitsproductiebedrijven in staat zijn hun inkomsten te vergroten door strategisch gedrag rond de inzet van hun centrales.

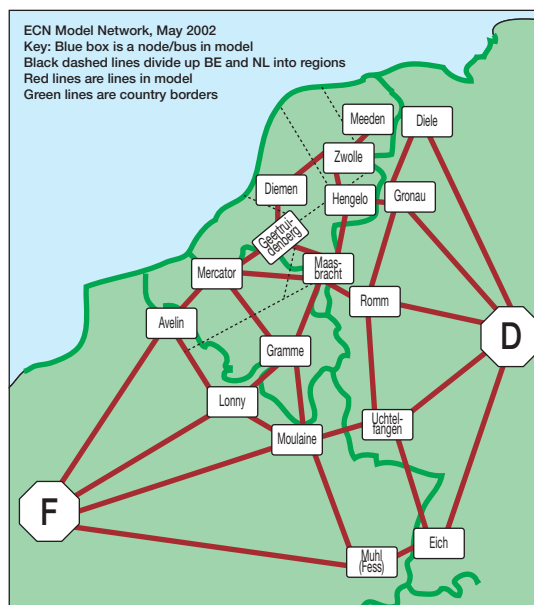
Toenemend belang Europese beleidsagenda

De invloed van de Europese beleidsagenda op Nederlandse energieproblemen en -oplossingen is nog steeds groeiende. Vanuit dit oogpunt wordt veel aandacht gegeven aan Europese onderzoekinspanningen. Het gaat vooral om projecten uit de laatste ronde van het Vijfde EU-kaderprogramma, waarvan er twee op het gebied van duurzame energie en drie op het gebied van decentrale energiesystemen in uitvoering zijn. In vervolg op het eerdere werk voor inschatting van Europese potentiële en kosten van duurzame energie (REBUS) is een vervolproject gestart (ADMIRE) waarin de eerdere inzichten verder zijn uitgewerkt en gecommuniceerd met verschillende stakeholders op Europees niveau. In het kader van het EU-REMAC-project is een analyse gemaakt van verschillende opties om duurzame energie in Europa te stimuleren en ook hier is veel aandacht besteed aan communicatie van resultaten. Op het gebied van decentrale energiesystemen heeft de unit een spilfunctie binnen het SUSTEL-project, dat als voorloper van een 'integrated project' in het Zesde EU-kaderprogramma wordt gezien en zich richt op het scheppen van redelijke randvoorwaarden voor kleinschalige energiesystemen in de huidige centraal gerichte infrastructuur.

Nieuwe internetsite druk bezocht

Begin dit jaar is de website www.energie.nl gelanceerd. Deze site richt zich op een professionele doelgroep met brede informatie over ontwikkelingen in de Nederlandse energievoorziening. Naast omvangrijke tekstbestanden en cijfermatige en bibliografische gegevens dient de site ook als portal voor energie-informatie die door derden beschikbaar wordt gesteld. De verdere uitbouw van de site kent een grote dynamiek. In de zomer zijn de voormalige hard-copy publicaties Energie Verslag Nederland en Energie Markt Trends

op de site geïntegreerd. In het najaar is de gebruiksvriendelijkheid van de cijfermatige dienstverlening sterk vergroot door een interactief programma voor het genereren van tabellen en grafieken over het energiegebruik in Nederland (MONITweb). Het bezoek aan de site is explosief gestegen. Aan het eind van het jaar bedroeg het aantal bezoekers 2.000 per week en het aantal opgevraagde pagina's 9.000. In de komende jaren zal de site nog verder uitgebreid en verbeterd worden om aldus de doelstelling van ECN als kenniscentrum voor de duurzame energievoorziening digitaal waar te maken.



De elektriciteitsprijs in de geliberaliseerde elektriciteitsmarkt komt tot stand door vraag en aanbod. Aan de hand van deze marktprijzen bepalen elektriciteitsproducenten de inzet van bestaande en planning van nieuwe centrales. Voor het simuleren van het gedrag van producenten op deze markt is het elektriciteitsmarktmodel COMPETES ontwikkeld. Het model onderscheidt individuele marktpartijen zowel in Nederland als in Frankrijk, België en Duitsland. Rekening wordt gehouden met de restricties die het elektriciteitstransportnet oplegt aan met name de internationale elektriciteitshandel. Het model wordt onder meer toegepast voor onderzoek naar de mate waarin dominante producenten de marktprijs kunnen beïnvloeden, hoe dit kan worden tegengegaan en welk effect wijzigingen in de marktstructuur of de marktregels hebben op de elektriciteitsprijs en de inkomsten van de producenten.

Energie Efficiency in de Industrie

Energiebesparing en verhoging van de energie-efficiency in de industrie is een van de pijlers van het overheidsbeleid om te kunnen voldoen aan de Kyoto-afspraken. Het beleid is uitgewerkt in het Benchmark Convenant voor de energie-intensieve industrie, en de Meerjarenaafspraken (MJA's) voor de overige bedrijfstakken. Uit de plannen die de Nederlandse industrie heeft ingediend in het kader van het Convenant, blijkt dat Nederland op het gebied van energie-efficiency al tot de top-tien van de wereld behoort. Tevens blijkt dat de bedrijven zich nog steeds verbeteren. Tegelijkertijd neemt echter het totale jaarlijkse energiegebruik nog steeds toe. Voor de lange termijn zijn nieuwe technologie en systeeminnovaties onontbeerlijk in het streven naar duurzaamheid. Deze moeten leiden tot sprongsgewijze verbeteringen in het gebruik van energie en grondstoffen. Het ECN-onderzoek binnen de unit Energie Efficiency in de Industrie richt zich op scheidingsmethoden met anorganische membranen, benut-

ting van industriële restwarmte en nieuwe procestechnieken door combinatie van (chemische) reactie, warmtewisseling en productscheiding.

Scheidingstechnologie

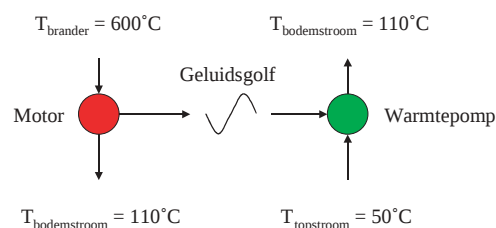
De Nederlandse procesindustrie gebruikt bijna de helft van alle energie voor scheiding van producten, namelijk zo'n 130 PJ per jaar. (Een petajoule is 10^{15} joule.) Vooral destillatie, de oudste en bekendste scheidingsmethode, vraagt veel energie. Deze energie-intensieve methode kan in veel gevallen worden vervangen door membraantechnieken als pervaporatie en gasscheiding. De verwachting is dat Nederland door gebruikmaking van die technieken over tien jaar 30 PJ/jaar aan energie zal besparen, of te wel het totale gas- en elektriciteitsgebruik van 300.000 huishoudens.

ECN werkt al een aantal jaren aan de ontwikkeling van de pervaporatietechniek op basis van keramische mem-

Destillatiekolom met TAWP

Voor een veel voorkomende processtap in de industrie, het scheiden van vloeistoffen, wordt de destillatietechniek nog steeds het meeste toegepast. Destillatie, het scheiden van vloeistoffen door de ene uit de andere te koken en de damp weer te laten condenseren, vergt erg veel warmte. In principe komt het grootste deel van de warmte die nodig is om een vloeistof te verdampen bij het condenseren van die vloeistof weer vrij. Om die condensatiewarmte opnieuw in het destillatieproces zelf te kunnen gebruiken moet de temperatuur van die warmte echter omhoog worden gebracht.

In de procesindustrie gebeurt dat nu incidenteel op de manier waarop in een koelkast de warmte van binnen naar buiten wordt getransporteerd: met een compressor. De temperatuurlift die zo nog energetisch rendabel kan worden bereikt blijft echter beperkt tot 10 à 20°C. Dat is maar voor weinig destillatiekolommen voldoende. Een nieuw type warmtepomp dat in ontwikkeling is, de zogeheten thermo-akoestische warmtepomp (TAWP), is op efficiënte manier in staat veel grotere temperatuurliften te behalen, namelijk van 100°C of meer. Toepassing bij een veel groter aantal destillatiekolommen komt daarmee binnen bereik. De aandrijving van de TAWP vindt plaats met een thermoakoestische motor. De veel hogere efficiency van de TAWP bij grote temperatuurliften ontstaat doordat de aanzienlijke hoeveelheid af te voeren motorwarmte als nuttige warmte in het destillatieproces is in te zetten, zie de figuur. Met de combinatie TAWP-destillatiekolom kan alleen in ons eigen land al zo'n 9 PJ aan energie worden bespaard, of te wel het totale energiegebruik (warmte en elektriciteit) van 90.000 huishoudens. Simon Spoelstra was de eerste die zich de aanzienlijke voordelen van deze slimme toepassing van de thermoakoestische warmtepomp realiseerde en het idee uitwerkte. Er is octrooi op aangevraagd.



branen. Bij deze techniek verdampen componenten uit een mengsel selectief over een membraan. Het belang blijkt onder meer uit de resultaten van een evaluatie van projecten van het Vierde EU-Kaderprogramma. Het door ECN gecoördineerde project 'Reduction of energy consumption in the process industry by pervaporation with inorganic membranes: technical and economic feasibility study' heeft daar speciale aandacht gekregen. Het energiebesparingspotentieel van deze technologie blijkt groter te zijn dan dat van alle negentien binnen het EU-thema 'Rational Use of Energy' onderzochte technologieën tezamen.

Een van de membraantoepassingen is de afscheiding van water uit organische procesvloeistoffen, een veel voorkomend industrieel proces. Voor dit type membraan heeft licentienemer Sulzer, een Zwitserse multinational, een productielijn gebouwd. Ondanks intensieve hulp van ECN hierbij werkt deze nog niet vlekkeloos. De membraanlaken, met een dikte 200 keer kleiner dan een mensenhaar, moeten aan de lopende band op de dragerbuizen worden aangebracht. In de praktijk blijkt deze finale opschalingsstap met de nodige problemen gepaard te gaan.

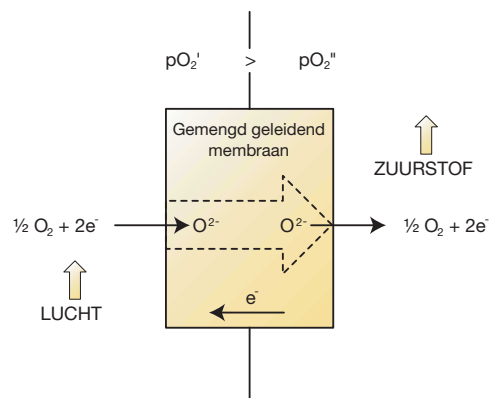
Op basis van een vergelijkbare technologie loopt binnen het EET-programma van Novem een project waarin een membraan wordt ontwikkeld voor (m)ethanol-afschieding. De eerste resultaten geven aan dat de prestaties in termen van flux (hoeveelheid) en selectiviteit (zuiverheid) veelbelovend zijn. Op basis van de meetresultaten is berekend dat in het methanol-tolueen-scheidingsproces een energiebesparing van meer dan 50% gehaald kan worden bij vervanging van het huidige gecombineerde extractie-destillatie-proces. De tot nu toe behaalde resultaten in termen van flux en selectiviteit zijn voor de twee onderzochte toepassingen uniek in de wereld. Parallel aan deze activiteiten is een onderzoek gestart, eveneens in EET-kader, samen met Akzo Nobel, DSM, Cytec en de Universiteit Twente, naar een keramisch membraan op een metalen drager voor toepassing onder zeer agressieve omstandigheden wat betreft temperatuur, druk en pH-graad.

Op het gebied van gasscheiding is door ECN een belangrijk resultaat gerealiseerd met zuurstofgeleidende membranen. Deze kunnen worden gebruikt bij de productie van zuurstof uit lucht (bijproduct stikstof) als alternatief voor cryogene destillatieprocessen of pressure/vacuüm-swing-absorptieprocessen (PSA- of VSA-processen). Dit levert een aanzienlijke energiebesparing variërend van 25% (cryogeen) tot 300% (P/VSA). Voor de commerciële haalbaarheid is een hoge zuurstofflux noodzakelijk. Een dun scheurvrij membraan is daarvoor essentieel. Totnogtoe waren de bij ECN gebruikte membranen circa 300 micron dik. Eind 2002 is het mogelijk gebleken een 12-micron-membraan door middel van zeefdrukken af te zetten op een 200 micron dikke poreuze drager van hetzelfde materiaal.

Principe zuurstofgeleidend membraan

Aan de linkerzijde wordt, bijvoorbeeld uit lucht, zuurstof aangeboden die aan het membraanoppervlak dissocieert. De zuurstofionen diffunderen door het dichte membraan naar de andere zijde, aangedreven door een aangelegd verschil in partiële zuurstofdruk. De zuurstofstroom induceert een elektronenstroom in tegengestelde richting (zodat ladingsneutraliteit blijft gehandhaafd). Daarom spreekt men ook wel van een gemengd geleidend membraan. Het zuurstoftransport (door diffusie) vereist temperaturen boven 800°C.

De zuurstofflux, de hoeveelheid zuurstof die per eenheid van tijd en van oppervlak door het membraan gaat, wordt behalve door de fysische en chemische eigenschappen van het materiaal vooral bepaald door de dikte van het membraan.



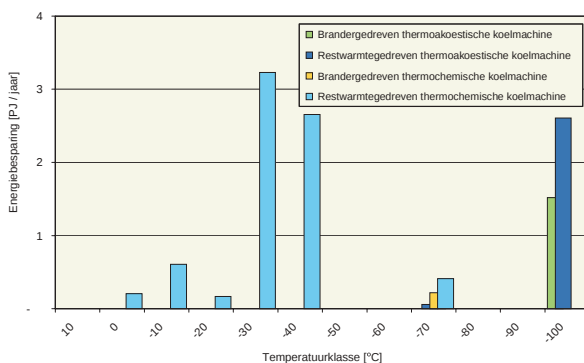
Restwarmtetechnologie

Alleen al in de Europort en het Botlek-gebied komt jaarlijks zo'n 40 PJ aan restwarmte vrij. ECN ontwikkelt technieken om deze overvloedige energie te benutten. Hiermee kan Nederland over een periode van tien jaar tenminste 15 PJ per jaar aan energie besparen. ECN richt zich vooral op de ontwikkeling van specifieke warmtepompen, die deze restwarmte kunnen omzetten in processtoom of -koude.

Uitgebreide analyses hebben uitgewezen dat vaste-stof/damp (chemische) en thermoakoestische warmte/koudepompen in een schaalgrootte van maximaal 1MW hiervoor de beste perspectieven bieden. De apparaten maken gebruik van bestaande utility-systemen. Implementatie wordt daardoor vergemakkelijkt omdat niet hoeft te worden ingegrepen in het productieproces.

Nadat eerder het energiebesparingspotentieel van deze innovatieve warmtepompen door levering van processtoom in kaart was gebracht, is in 2002 samen met ingenieursbureaus JCN en KWA in detail gekeken naar het potentieel voor de productie van koude. Energetisch gezien is de opwekking van koude een kostbare zaak en industriële koeling is mede daardoor een belangrijke markt. De koudebehoefte in de Nederlandse procesindustrie blijkt circa 28 PJ per jaar te bedragen. Het hiermee samenhangende primaire-energiegebruik ligt tussen 20 en 27 PJ. Uit de vergelijking tussen de verwachte energetische prestaties van de conventionele en van de innovatieve koelmachines blijkt het energiebesparingspotentieel voor een restwarmtegedreven vaste stof/damp-koelmachine in Nederland 7 PJ per jaar te bedragen. Het belangrijkste toepassingsgebied ligt in

Energiebesparings-
potentieel voor
innovatieve koel-
machines in de Neder-
landse procesindustrie



het temperatuurgebied rond 30 à 40°C onder nul. Voor de thermoakoestische pomp is er vooral potentieel bij diepkoeling: temperaturen van -70 tot -110°C.

In het experimentele onderzoek zijn enkele belangrijke resultaten geboekt. In een *proof of principle* opstelling is een temperatuurlift behaald van 50°C met een vaste-stof/damp-systeem bedoeld voor productie van processtoom. Dit is, gelet op de beperkingen van een opstelling van dit formaat, een zeer veel belovend resultaat. Op grond hiervan is door Senter EDI een projectvoorstel gehonoreerd voor het vervolgtraject naar een 5kW-unit. Het uiteindelijke doel is een apparaat met een temperatuurlift van 120°C dat kan concurreren met een gasgestookte ketel.

De duurtest van een proefopstelling van de restwarmtegedreven vaste-stof/damp-koelmachine SWEAT met gecoate warmtewisselaar is geslaagd. Er zijn meer dan 1000 laad-ontlaadcycli doorlopen zonder enige bespeurbare corrosie of verlies in prestatieniveau. De opschaling van het coatingsproces van lab- naar industriële schaal is succesvol uitgevoerd samen met een bedrijf voor industriële spuittechniek. De opdracht voor de bouw van een prototype van de koelmachine is inmiddels verkregen.

Verder is een 1kW-klasse-laboratoriumopstelling gerealiseerd waarin zowel restwarmte- als brander gedreven thermoakoestische warmtepompen kunnen worden getest. In deze faciliteit is 's werelds eerste meertrapsregenerator-unit voor een thermoakoestische motor beproefd. Aangetoond is dat het meertrapsprincipe werkt en dat, door de toepassing ervan, thermoakoestische motoren al zijn te bedrijven bij de relatief lage temperatuur van 120°C. Hiermee komt aandrijving van de TAWP door restwarmte binnen bereik.

Procesintensivering

Procesintensivering bestaat uit de ontwikkeling van baanbrekende apparaten, technieken en concepten voor de procesindustrie, die kunnen leiden tot veel compactere, veiligere en energie-efficiëntere processen. ECN is al een aantal jaren op verschillende deelgebieden van dit veld actief. Het onderzoek naar HEX-reactoren (heat exchange) en membraanreactoren is hiervan een voorbeeld.

In een HEX-reactor wordt een chemische reactor gecombineerd met een warmtewisselaar in één compacte unit. Ondanks de potentiële voordelen heeft toepassing nog nauwelijks ingang gevonden in de Nederlandse procesindustrie. Samen met het ingenieursbureau PDC en consultant Chemserve heeft ECN een uitgebreide studie afgerond. Deze is deels door Novem gefinancierd. Concreet doel van de studie was de identificatie van veelbelovende opties voor een demonstratieproject op korte termijn en een brede inventarisatie van toepassingsmogelijkheden op langere termijn. Het onderzoek naar demo-projecten was gefocust op niet-katalytische exotherme vloeistofreacties. Het besparingspotentieel van deze toepassing in Nederland wordt geschat op 2–8 PJ/jaar. Uiteindelijk is een kandidaatproces geselecteerd en in detail geanalyseerd. Het betrof een vloeistoffase-oxidatieproces. De potentiële energiebesparing voor één fabriek bedraagt 0,6 PJ/jaar gecombineerd met andere voordelen zoals verhoogde opbrengst. Gezien het herhalingspotentieel is dit een interessante kandidaat voor demonstratie.

In de brede inventarisatie zijn uit meer dan vijftig sterk warmtevragende of warmtegenererende processen, tweeëntwintig HEX-reactortoepassingen geïdentificeerd. Deze hebben gezamenlijk een energiebesparingspotentieel van 20 PJ op jaarbasis (in Nederland). Twee katalytische gasfase-toepassingen zijn tot in detail geëvalueerd. Beide processen samen geven een potentiële energiebesparing van 6 PJ/jaar en voor beide processen geldt dat het een lange-termijntoekomst betreft met zeer uitdagende technische problemen. De studie vormt de basis voor programmering van verdere R&D.

De ECN-kennis op het gebied van de modellering van membraanreactoren is met succes gebruikt voor de simulatie van een water-gas-shift (WGS)-membraanreactor binnen het internationale consortium 'CO₂ Capture Project' (CCP). Met de ECN-modelleringsmodule, functionerend als plug-in voor het flowsheeting pakket Aspen+™, zijn verschillende membraantypes geëvalueerd op de mogelijkheden tot evenwichtverschuiving van de WGS-reactie door waterstofafschiding.

Externe partners en opdrachtgevers Energie Efficiency in de Industrie

ABB Lummus, Aircofin, Aster, Akzo Nobel, BP, Continental Engineering, Corus, Cytec, DSM, ETE, ExxonMobil, FCDF, Inalfa-Ares, JCN, Kemira Engineering, KWA, Lyondell Chemical Nederland, Linde AG (D), NL-GUTS, Novem, NUON, Pall Exekia, PDC, Purac Biochem, Quest International, Senter, Shell International Exploration and Production, Shell Global Solutions, Sulzer Chemtech Membrane Systems, TNO MEP, U.S. Department of Energy, VNCI

Zonne-energie

De algemene doelstelling van ECN Zonne-energie is het mogelijk maken en bevorderen van grootschalige toepassing op langere termijn van fotonvoltaïsche zonne-energie (PV) in Nederland en daarbuiten. Dit moet vooral worden bereikt door de gebruikswaarde te verhogen, door de kosten van de elektriciteitsopwekking met PV te verlagen, de kwaliteit te optimaliseren en te borgen, alsmede de integrale duurzaamheid van PV-componenten en systemen te verbeteren. Het onderzoek van Zonne-energie is georganiseerd in de programmaonderdelen Geavanceerde kristallijn-silicium-PV-technologie, Dunne-film-PV-technologie en PV-Systemen. Dit laatste werkgebied is overigens met ingang van 2003 ondergebracht bij ECN Duurzame Energie in de Gebouwde Omgeving (DEGO).

Kristallijn-silicium-technologie

Systemen op basis van kristallijn silicium spelen een hoofdrol in de huidige toepassingen van PV en in de marktontwikkelingsplannen voor de komende 20 jaar. Het ECN-programma is hoofdzakelijk gericht op het verbeteren van de prestaties en het verlagen van de kosten van dit type PV.

Het kristallijn-silicium-uitgangsmateriaal heeft een metaalachtige glans. Dit is nadelig voor de opbrengst van de zonnecel, omdat zonlicht wordt weerkaatst. De reflectie wordt gewoonlijk verminderd door het aanbrengen van een dun laagje materiaal dat de blauwe kleur van de cel veroorzaakt. Echter, nog steeds heeft de cel een glimmend uiterlijk. De reflectie kan dus verder worden verminderd door het oppervlak van het silicium ruw te maken. Bij ECN is een industrieel recept ontwikkeld om dit te bereiken met een proces dat tegelijkertijd ook de schade aan het oppervlak, ontstaan tijdens het zagen van de siliciumplakken, weghaalt. De figuur toont onder elkaar een siliciumplak (wafer) behandeld met het standaardproces en een plak behandeld met het nieuwe ECN-proces. Duidelijk is te zien dat de cel niet meer glimt. Het principe van het ontwikkelde proces is al tijden bekend. Het is echter de kunst om het proces zodanig stabiel te maken dat het toepasbaar is in een productielijn. Dat is ECN gelukt, met een vernuftige combinatie van apparatuur en receptuur. Deze combinatie leidt tot een zeer stabiel proces dat geschikt is voor de productie van duizend cellen per uur. De extra kosten die het nieuwe proces met zich meebrengt worden ruimschoots gecompenseerd door de hogere opbrengst van de zonnecellen.

Het afgelopen jaar is ECN druk bezig geweest het recept verder te optimaliseren en in te voeren in de *pilot line*. Het gemiddelde rendement van de ECN-zonnecellen is in het verslagjaar van 14,2% toegenomen tot 15,3%, onder meer door het invoeren van dit proces.

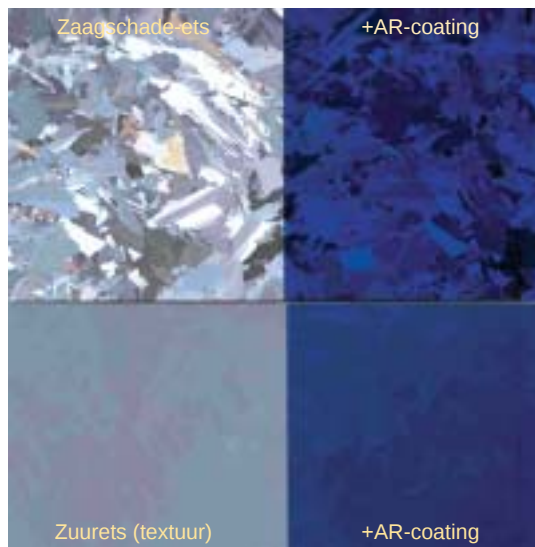
Ook in 2002 is het wereldwijd opgesteld vermogen van PV (fotovoltaïsche zonne-energie) weer fors gegroeid. De mondiale verkopen aan PV bedroegen ongeveer 520 MWp, een groei van 33% ten opzichte van 2001. Koploper qua groei was Japan met 49%, maar ook Europa liet, na een aarzelende start, een forse groei zien in de verkopen van PV-systemen: ruim 30%. De toename van het opgesteld vermogen in Nederland was echter zeer beperkt, van 18 MWp eind 2001 tot 21 MWp eind 2002. Deze groei was bovendien vrijwel geheel te danken aan één enkel systeem: het 2,3 MWp-systeem op het dak van de Floriade.

Internationaal gezien is dat een goed resultaat met een volledig *in line* proces. Alleen met batch-processen worden hogere rendementen gehaald. Inmiddels is het volledige proces beschikbaar gemaakt voor de PV-industrie door middel van een samenwerking met enkele machinebouwers.

Dunne-film-PV-technologie

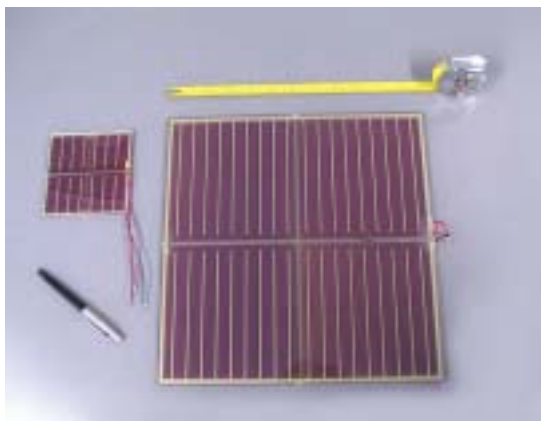
Kleurstofzonnecellen (nanokristallijne oxides gesensibiliseerd met een kleurstof) en organische (polymere) zonnecellen vormen belangrijke onderdelen in ECN's onderzoekprogramma op het gebied van dunne-film-PV-technologie. Van deze celtypen wordt verwacht dat de productiekosten zeer laag zullen kunnen zijn. Indien intensief onderzoek aan deze materialen ertoe leidt dat uiteindelijk redelijke of zelfs hoge en stabiele omzettingsrendementen kunnen worden behaald, zou dit op de langere termijn uitzicht bieden op daadwerkelijk goedkope (concurrerende) zonnestroom.

Bij de kleurstofzonnecel richt het onderzoek zich onder andere op vergroting van het celoppervlak en opschaling



Vergelijking van wafer die behandeld zijn met een zaagschade-ets (loog) en een textuurets (zuur), voor en na aanbrengen van de anti-reflectiecoating

Opschaling van de
kleurstofzonnecel van
 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ naar $30 \times 30 \text{ cm}^2$.
Het betreft een ontwerp van
vier in serie geschakelde
enkelvoudige zonnecellen.



van de fabricage. Een semi-geautomatiseerde productiefaciliteit voor de productie van grotere aantallen kleurstofzonnecellen is in 2002 gereedgekomen. Met deze baseline kunnen mini-modules met afmetingen tot $10 \times 10 \text{ cm}^2$ op reproduceerbare wijze worden verkregen, hetgeen ongetwijfeld een stimulans zal zijn voor het internationale onderzoek naar deze relatief nieuwe PV-technologie. Een verhoging van het actieve celoppervlak leverde bovendien goed vergelijkbare celrendementen op (ca. 6% met identieke uitgangsmaterialen). Een belangrijke verdere stap op weg naar de toepassing van dit type zonnecel voor elektriciteitsopwekking is opschaling van $10 \times 10 \text{ cm}^2$ devices naar modules met grotere oppervlakken. Dit heeft geresulteerd in de succesvolle vervaardiging van een eerste kleurstofzonnecelmodule met een afmeting van $30 \times 30 \text{ cm}^2$ met vier in serie geschakelde enkelvoudige cellen. Het onderzoek naar polymere zonnecellen is in dit stadium voornamelijk fundamenteel van aard. ECN verkrijgt van diverse Nederlandse instituten polymere

onderzoeksmaterialen en maakt daar werkende zonnecellen van die diepgaand worden gekarakteriseerd. Primaair doel van dit onderzoek is om meer begrip te krijgen van de werking van de diverse typen polymere zonnecellen om op basis hiervan het celrendement en vervolgens de stabiliteit aanzienlijk te verbeteren. Het lange-termijnonderzoek aan polymere PV is verankerd in het Dutch Polymer Institute (DPI) en in een EET-project. Beste celprestatie tot nog toe is 3% rendement voor een zonnecel gebaseerd op geleidende polymeren en fullerenen. Dit resultaat werd behaald in samenwerking met de Rijksuniversiteit Groningen en de Technische Universiteit Eindhoven.

In maart 2002 heeft ECN, in samenwerking met Stichting Shell Research en Novem, een workshop georganiseerd met als onderwerp grensverleggende ideeën voor fotovoltaïsche conversie. Bij deze workshop was een groot aantal Nederlandse onderzoeksinstituten en bedrijven vertegenwoordigd, vooral ook vanbuiten het PV-onderzoekveld, voor kruisbestuiving en een 'frisse' blik op deze complexe materie. De workshop leverde een veelheid aan nieuwe en vernieuwende ideeën op voor verhoging van het PV-rendement en voor innovatieve PV-productieprocessen. Een van de hoofdlijnen betrof het efficiënter gebruikmaken van invallend licht door up- of downconversie van fotonen die met bestaande PV-technologieën weinig of geen bruikbare PV-energie opleveren. Hier valt dus veel rendementswinst te behalen, zie de figuur met het zonnenspectrum. De resultaten zijn gebundeld in een fraai eindverslag dat zal kunnen dienen als basis voor een nieuw onderzoekprogramma in Nederland en daarbuiten.

Partikeltjes bekleden in poreuze lagen

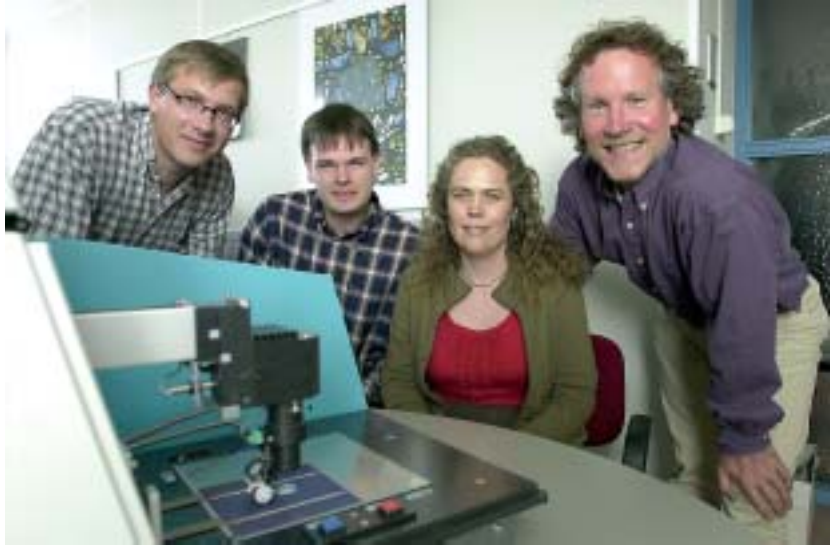
Bij de fabricage van de modernste versie van de zogenoemde Grätzel-zonnecel is het nodig de partikeltjes



in een poreuze keramische laag titaandioxide te voorzien van een huid van koperthiocynaat. Dat valt niet mee, vooral omdat de laag maar van één zijde benaderbaar is. Er is al van alles bedacht op de wereld, maar de beste techniek is in Petten ontwikkeld, door Ruud Muis (r) en Brian O'Regan (l). Zij lossen het aan te brengen CuSCN op in isopropylsulfide. De oplossing wordt met een metalen 'kwast' uiterst precies gedoseerd een aantal keren opgebracht. Het gaat om doses in de orde van een tiende milliliter per seconde per cm^2 celoppervlak. De capillaire krachten zuigen de vloeistof in het poreuze keramieklaagje dat op glas is aangebracht en vanaf de onderzijde uit een dikke koperen plaat warmte krijgt toegevoerd. Het oplosmiddel dampst eruit, de CuSCN blijft achter. De 'kwast' komt net zo vaak langs als nodig is – soms wel 100 keer – om de bekleding in de hele keramieklaag tot bovenaan op te bouwen. Het aangevraagde octrooi moet behalve de methode ook de details van de ontwikkelde apparatuur beschermen, in het bijzonder die van de metalen 'kwast'. Die lijkt op een omgebogen dichte injectienaald met vele kleine gaatjes aan de bovenzijde – aan de onderzijde werkt niet – van de haakvormige kwast.

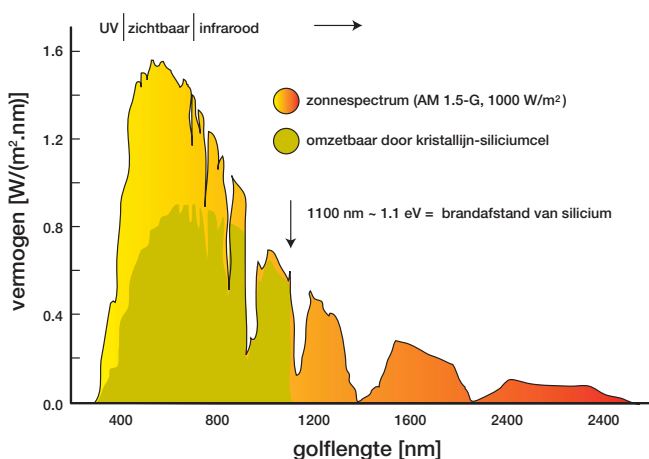
'SunLab commercialises PV innovations of ECN Solar Energy'. Zo introduceert SunLab zichzelf op de eigen website www.sunlab.nl. De besloten vennootschap SunLab is een volle dochter van ECN. Als GTI – groot technologisch instituut – heeft ECN de taak ervoor te zorgen dat zijn ontwikkelde kennis ook daadwerkelijk wordt gebruikt. Vermarkten is een ander vak dan R&D bedrijven. Daarom is SunLab opgericht. Het personeel bestaat uit vier ECN-medewerkers die enkele uren per week aan de b.v. besteden. Momenteel staat er één PV-innovatie in de etalage: CoreScan. Dat is een meetapparaat dat de kwaliteit van een zonnecel kan controleren en waarmee dus in de fabriek het productieproces kan worden gestuurd. Een integrale meetscan van de *contact resistance*, de contactweerstand, van de metalen vingers is de belangrijkste van de vier celkarakteristieken die het apparaat kan bepalen. Vandaar de naam CoreScan. Onder regie van SunLab is het apparaat ontwikkeld en productierijp gemaakt door R&R Mechatronics in Zwaag. Daar ook wordt het apparaat in kleine series vervaardigd. Inmiddels doet de CoreScan al dienst in fabrieken in Azië, de Verenigde Staten en Europa. De volgende grote internationale PV-conferentie waar de CoreScan wordt gepresenteerd heeft plaats in Osaka. Vooruitlopend op de verwachte belangstelling voor de CoreScan heeft SunLab met het oog op de complexe Japanse markt al een plaatselijke *distributor* in de arm genomen.

Als directeur van SunLab b.v. treedt Paul Wyers op. Uitvinder van het apparaat Arvid van der Heide verleent technisch-wetenschappelijke hand- en span-diensten. Ineke Wouts levert de administratieve



ondersteuning en Jaap Hoornstra fungeert als *sales executive* en opereert tegelijkertijd als spil en bedrijfsleider van SunLab. Hij was ook degene die het initiatief tot de oprichting heeft genomen. "ECN beheerst de technologie, kent de markt, de potentiële klanten en hun wensen. Dan moeten we de commercialisering van onze producten niet aan anderen uitbesteden. We moeten onze PV-innovaties zelf vermarkten, maar wel met een andere pet op." Als bijkomend voordeel ziet Jaap Hoornstra een meerwaarde ontstaan in de contacten met de PV-wereld. "In die directe contacten kun je in de keuken kijken en kun je ook laten zien wat ECN nog meer kan betekenen. Daaruit kunnen dan weer nieuwe opdrachten of samenwerkingsverbanden voortvloeien."

De SunLab-medewerkers, van links naar rechts: Paul Wyers, Arvid van der Heide, Ineke Wouts en Jaap Hoornstra.



Voorstelling van het zonnenspectrum waaruit blijkt hoe weinig bestaande zonnecellen dit spectrum in feite benutten, en hoeveel er nog 'verdiend' kan worden (Met dank aan John Schermer, KUN)

Externe partners en opdrachtgevers Zonne-energie

Shell Solar, BP Solar, RWE Solar, Deutsche Solar/SolarWorld, ErSol, Isofoton, Photowatt, Scanwafer/REC, Philips, S'Energy, OTB, TU-Eindhoven, U-Utrecht, IMEC, KU-Leuven, Uni Konstanz, FhG-ISE, ScanArc, Sintef, Akzo Nobel, Free Energy Europe, Scheuten Glasgroep, Philips Galvanotechniek, Dutch Space, Shell Research Foundation, Solaronix SA, Dutch Polymer Institute, TU-Delft, RU-Groningen, UCE, EPFL, KU-Nijmegen, HMI-Berlijn, IST-Frankfurt-am-Oder, FMF Freiburg, CNRS-PHASE, IVF Sweden, Imperial College London, ICL, Cracow Technical University

Duurzame Energie in de Gebouwde Omgeving

Aan de energieprestatie van gebouwen worden steeds hogere eisen gesteld. Verhoging van de energie-efficiency en integratie van duurzame-energiesystemen in gebouwen zijn nodig om aan die hogere eisen te kunnen voldoen. Het onderzoekprogramma van ECN Duurzame Energie in de Gebouwde Omgeving (DEGO) richt zich op innovaties die hieraan bijdragen. Op wat langere termijn is het doel te komen tot energie-neutraliteit: de situatie waarbij de energievraag in de gebouwde omgeving uit lokaal gewonnen duurzame energie wordt gedekt.

PV in de gebouwde omgeving

Een goede integratie van PV in de gebouwde omgeving is nodig om tot grootschalige toepassing van PV te komen. Daarbij is zowel de bouwkundige inpassing als de elektrische inpassing van belang. Een voorbeeld van de systeeminnovaties waaraan door ECN wordt gewerkt is het concept 'PV Wirefree'. In dit concept

worden alle PV-modules parallel geschakeld, de draagconstructie gebruikt als geleider en is een simpele klikconstructie toegepast. Dit leidt tot een aanzienlijke vereenvoudiging en kostenverlaging van het systeemontwerp en van de installatie. Omdat tevens de jaaropbrengst gemiddeld 5% hoger zal kunnen komen te liggen is alleen al hiervan een kostenreductie tot 20% per kWh te verwachten. In 2002 is dit systeemconcept onder regie van ECN en OKE Services uitgewerkt tot een demonstratieopstelling. Een demonstratiesysteem met zes modules is tentoongesteld bij de PV-conferentie in Rome in oktober 2002. Deze opstelling genoot ruime belangstelling van de Europese PV-industrie. Bij invoeden van veel PV-systemen in een laagspanningsnet kan harmonische interactie voor problemen zorgen. Met het toepassen van PV-systemen in hoge dichtheden zijn unieke ervaringen opgedaan op de HAL-locatie (Heerhugowaard-Alkmaar-Langedijk) en in het project Nieuwland (Amersfoort). Het is geble-

PV Wirefree: zonnepanelen zonder bekabeling

Netgekoppelde PV-systemen hebben zich in de loop der jaren ontwikkeld tot vrij complexe installaties met steeds meer uitvoeringsvormen en hulpcomponenten die nodig waren of nodig werden geacht voor goed functioneren. Maar wat was oorspronkelijk ook alweer de bedoeling? Terug naar de basisvragen: hoe ziet een simpel, goedkoop, veilig en robuust netgekoppeld PV-systeem er uit? Langs deze weg denkend en gewapend met de kennis en ervaring van een decennium zonne-

paneel-evolutie werd een revolutionair nieuw concept geboren: PV Wirefree. De vereenvoudigingen die in dit concept voor netgekoppelde PV zijn gebundeld maken vooral het installeren van de systemen goedkoper (25 à 50%) en ook veiliger. In totaal zal het opwekken van een kWh zonnestroom met PV Wirefree naar schatting 10 tot 20% goedkoper worden.

De basis voor het concept is een integratie van bouwkundige en elektrotechnische functies: de aluminium profielen van de draagconstructie worden tevens als elektrische geleiders gebruikt. Daarom de naam PV Wirefree, zonnepanelen zonder bekabeling. Het basisidee is geboren bij Henk Oldenkamp, directeur/eigenaar van OKE Services, het bedrijf waarmee ECN al jaren nauw samenwerkt op PV-gebied. Vervolgens heeft ECN-medewerker Bart de Boer, samen met Oldenkamp en medewerkers van twee andere partijen, NKF Electronics en Oskomera Solar Power Solutions, de weg naar een goedkoop en efficiënt PV-systeem opnieuw bewandeld en in een half jaar tijd een werkend prototype ontwikkeld, waarop octrooi is aangevraagd. Het prototype is in oktober 2002 aan de internationale PV-wereld gepresenteerd tijdens de 'European PV Conference and Exhibition' in Rome.

Voor het marktrijp maken, met Novem-ondersteuning, werd het PV Wirefree-consortium versterkt met TNO Bouw en BEAR Architects. Overwogen wordt om een breder, internationaal consortium te formeren, omdat verschillende grote buitenlandse marktpartijen hebben aangegeven bij verdere ontwikkeling betrokken te willen worden.

Op de PV-conferentie in Rome v.l.n.r. Bart de Boer, Dennis Gieselaar (Oskomera), uitvinder Henk Oldenkamp (OKE Services) en Huub Luijks (NKF)



ken dat om problemen te voorkomen het inverter-ontwerp moet worden aangepast. De capaciteit van de inverter moet zo laag mogelijk blijven, en de mogelijke beïnvloeding van de inverter door het net moet in het ontwerp worden verdisconteerd om afschakeling te voorkomen.

Autonome PV-systemen

Het meeste werk binnen dit werkgebied richt zich op opslag van elektriciteit. ECN heeft een Maximum Power Point Tracker ontworpen (zie ook de octrooibeschrijving op pagina 31) en getest die zorgt voor optimale vermogensopbrengst uit PV-modules in combinatie met een opslagsysteem. Een project voor de ontwikkeling van een verbeterde laadregelaar voor Solar Home Systems is afgerond met een goed werkend prototype. Een innovatie aan deze nieuwe laadregelaar is de mogelijkheid om – zonder veel meerkosten – de ladingstoestand van de accu op een betrouwbare wijze vast te stellen, namelijk door rechtstreekse aflezing. Tevens worden gebruikers geïnformeerd als de accu onderhoud nodig heeft of vervangen moet worden. Een producent in Indonesië is van plan deze laadregelaar in productie te nemen.

In Botswana heeft monitoring van zonnelantaarns plaatsgevonden. De resultaten tonen aan dat er nog veel technische problemen overwonnen moeten worden, vooral met de kleine amorfe PV-modules die vaak breken. De lantaarns blijken bovendien minder gebruikt te worden dan verwacht, ook de lantaarns die wel normaal functioneren.

PVT-systemen

In PVT-systemen wordt elektriciteit én warmte geproduceerd uit zonlicht. De waarde van PV in de gebouwde omgeving wordt aanzienlijk verhoogd door benutting van het thermische potentieel en verhoging van het totaalrendement. Bij ECN wordt gewerkt aan twee ontwikkelingslijnen: afgedekte en niet-afgedekte systemen. Afgedekte systemen leveren warmte op een temperatuurniveau dat direct benutbaar is voor warm tapwater of ruimteverwarming. In samenwerking met Shell Solar en ZEN Solar is een goed produceerbaar afgedekt systeem ontwikkeld dat elektriciteit én warmte levert. De risico's van oververhitting zijn geanalyseerd en beheersbaar gebleken. De productie van een proefserie voor een demonstratieproject is gestart.

Niet-afgedekte PVT-panelen leveren warmte op een lager temperatuurniveau. Een warmtepomp is nodig om deze warmte op een bruikbaar temperatuurniveau te brengen. Een voordeel boven afgedekte systemen is dat het elektrisch rendement van de PV-component hoger is. Bovendien kan warmte op een laag temperatuurniveau eenvoudig in de bodem worden opgeslagen, zodat ook de in de zomer geproduceerde warmte in de winter kan worden benut. Een niet-afgedekt PVT-paneel met een kunststof kanalenplaat als thermisch subsysteem is ontwikkeld tot een prototype. De hechting



Een PVT-paneel is een zonnepaneel met een zonnecollector aan de achterzijde. Het systeem levert dus elektriciteit én warmte.

van het PV-laminaat aan de kanalenplaat bleek hierbij nog problematisch. Een andere variant voor een niet-afgedekt systeem is het PV-luchtdak, waarbij lucht achter PV-panelen wordt geleid en die daardoor wordt verwarmd. Op een van de testwoningen op het ECN-terrein is een dergelijk systeem in prototype gebouwd. Meetresultaten geven aan dat een systeem met opslag van de uit het PV-luchtdak gewonnen warmte in een boiler, in combinatie met een warmtepomp, de grootste duurzame-energiebijdrage levert. Kostenverlaging van het systeem door integratie van componenten is nodig om tot een marktrijp product te komen.

Energie- en comfortmanagement

Informatie- en communicatietechnologie (ICT) kan een belangrijke rol spelen bij een efficiënt comfortmanagement en bij de afstemming van energievraag op (duurzaam) energieaanbod. ECN werkt aan de ontwikkeling van energie- en comfortmanagementsystemen die gebruikmaken van geavanceerde ICT.

Een praktijkexperiment in het nieuwste ECN-kantoor is uitgevoerd in het kader van het SMART-project, in samenwerking met de firma Kropman. In dit project zijn op *agent technology* gebaseerde softwaresystemen ontwikkeld waarbij de energiezuinigheid van een kantoor sterk kan worden verbeterd door het gebouwbeheersysteem te voeden met informatie over onder andere elektriciteitsprijzen, weersverwachting, meetgegevens uit het gebouw en wensen van de gebruikers. Dit project heeft inmiddels een vervolg gekregen in een ander kantoorgebouw van Kropman. Het eerder ontwikkelde systeem is hiervoor verder geoptimaliseerd, zowel technologisch als vanuit het gebruikersgedrag.



Draaibare testfaciliteit in aanbouw op het ECN-terrein. Het gebouw kan drijven in een bak met water en kan daarom in elke gewenste stand worden geplaatst.

ECN is in het verslagjaar ook betrokken geweest bij een aantal projecten die meer gericht waren op de vraag wat de knelpunten zijn voor de toepassing van energie- en comfortmanagementsystemen in de gebouwde omgeving. Daarbij wordt gekeken naar de knelpunten vanuit de gebruikers, maar ook naar de woningbouwcorporaties, zorginstellingen en dergelijke. In samenwerking met het Nationaal Initiatief Duurzame Ontwikkeling (NIDO) is een relatienetwerk opgebouwd waarin partijen zijn opgenomen die bij de toepassing van dit soort systemen van belang zijn. Daarnaast is in opdracht van Novem gewerkt aan de organisatie van twee workshops die tot versnelling van de introductie van op geavanceerde ICT gebaseerde energie- en comfortmanagementsystemen in de gebouwde omgeving moeten leiden. Partijen die een rol speelden in een tweetal concrete projecten zijn hiervoor bij elkaar gebracht. Dat de belangstelling voor dit onderwerp groot is blijkt ook uit het feit dat de zogenoemde 'domotica-woning' op het ECN-terrein veel bezoek heeft getrokken van partijen als woningbouwcorporaties, projectontwikkelaars, installateurs, gemeenten en zorginstellingen. Deze domotica-woning is tot stand gekomen in samenwerking met de provincie Noord-Holland.

Systeemconcepten

Een zwaartepunt in het werk is het ontwikkelen van nieuwbouwwoningen met een hoog aandeel duurzame energie, waarbij het uiteindelijke ambitieniveau energieneutraliteit is. In de testwoningen op het ECN-terrein wordt daarvoor het zogenoemde Ecobuild-project uitgevoerd in samenwerking met een aantal marktpartijen. De eerste fase van dit project is in het voorjaar van 2002 afgerond. De resultaten hebben geleid tot een sterk verbeterd inzicht in de praktijkprestaties van de woningen als geheel, en van systeemcomponenten als warmteopslag, warmteterugwinning uit douchewater, warmtepompen, zonneboilers, energiezuinige ventilatiesystemen en gebouwkoeling. Ook is meer inzicht verkregen in de waarde van de tot op heden toegepaste simulatiemodellen. Nieuwbouwwoningen met een aanzienlijk betere energieprestatie dan thans gebruikelijk komen hiermee in beeld. Voor de tweede fase van het project zijn in samenwerking met marktpartijen systeemconfiguraties ontworpen die tot een EPC van 0,5 en lager leiden, en deels ook in de bestaande bouw kunnen worden toegepast. Integratie van duurzame energie tegen beperkte kosten en met verhoging van comfort, gebruiksgemak en een goede milieuprestatie zijn hierbij leidraad. Voor het testen van deze concepten worden opnieuw de testwoningen op het ECN-terrein ingezet.

Veel ontwikkelingen in de benutting van duurzame energie in gebouwen komen samen in een gevelontwerp. Aan gevelconcepten wordt gewerkt onder andere in een project 'Actieve gevel', in samenwerking met De Vries Kozijnen. In het kader van dit onderzoek zijn gevelconcepten ontwikkeld met verschillende ontwerpaccenten, zoals een meerlaags-kozijn, toepassing van domotica, zonwering en ventilatie. Een viertal gevelconcepten wordt in prototype gebouwd. Ten behoeve van het testen van deze gevels is eind 2002 gestart met de bouw van een draaibare testfaciliteit op het ECN-terrein. Met deze faciliteit kan vooral gekeken worden naar luchtcirculatie, zoninval en temperatuurregulering. In 2002 is het onderzoek aan gevelconcepten uitgebreid met het door EET gefinancierde project Zonwel. In samenwerking met een groot aantal marktpartijen wordt gekeken naar de mogelijkheden voor het genereren van warmte en elektriciteit en het optimaal toepassen van licht, via oplossingen in de gevel.

Externe partners en opdrachtgevers DEGO

Itho, Rapid Pain, De Vries Kozijnen, Van der Vlugt, OKE Services, Cepezed Architecten, FEE, BPPT, Philips Solar, Logic Electronics BV, Kropman Installatietechniek, Shell Solar, Oskomera, Gaiker (E), Uninova (P), LEG (F), Enersearch, BTH (S), GENEC (F), Robotiker (E), KTH (S), Schneider (F), Sydkraft (S), ABB (S), EdF (F), Rijksgebouwendienst, TU/e, Erasmus Universiteit, KEMA, TNO Bouw, Universiteit Utrecht, Ecofys, JRC-Ispra, CREST, IES-UPM, KU-Leuven, ISET, FhG-ISE, ZSW, EU, Novem, Senter, EET, Provincie Noord-Holland, NIDO, UNDP, Milieudienst Amsterdam, ENECO, NUON, Philips Lighting, Mastervolt, NKF, Gemeente Alkmaar, ZEN Solar, J.E. Stork Air, TNO-MEP, KODI

Windenergie

Het onderzoek van ECN Windenergie is gericht op zowel kostenverlaging als waardeverhoging van wind-energie, en voorts op het vergroten van het maatschappelijk draagvlak voor windenergie.

Wind en golven

Voor het ontwerpen en bedienen van (offshore) windturbines, al dan niet in parken, is kennis nodig van de externe belastingen (door wind en golven) en van de energie-inhoud van de wind ter plaatse. Ook de kortetermijn-verwachting van het windpotentieel is daarvoor van belang.

Zo is een golfsimulator voor niet-lineaire golven ontwikkeld. Verificatie van dit simulatiemodel aan de hand van een experiment is gestart bij Electricité de France (EDF). De aanbodvoorspeller, die als doel heeft om het te verwachten windenergieaanbod tot 48 uur van tevoren aan te geven, is afgerond. Het pakket wordt getest door een tweetal externe partijen.

De verificatie van zog-effecten in grote offshore windparken en de validatie van windparkmodellen met behulp van windturbine modellen in de grenslaagtunnel van TNO te Apeldoorn begint resultaten af te werpen. De relevante grootheden bleken goed meetbaar te zijn. De eerste resultaten doen vermoeden dat de uitkomsten van dit onderzoek grote invloed zullen hebben op de lay-out van toekomstige grote offshore windparken.

Randje op windturbineblad goud waard

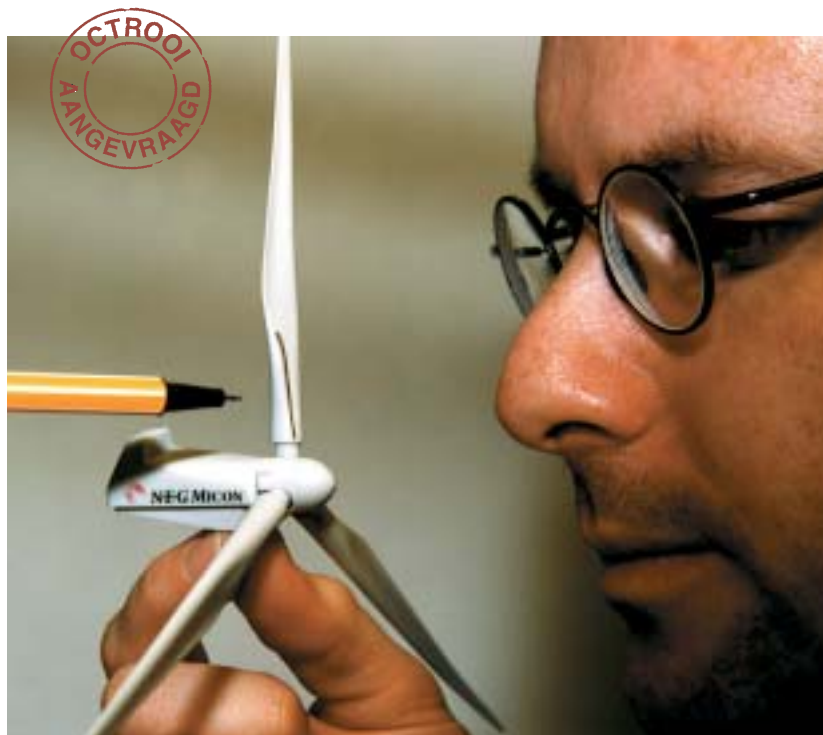
Daar waar het blad van een windturbine rotor aan de naaf is bevestigd is dat blad meestal cilindervormig. Een cilinder heeft in stromende lucht alleen maar weerstand en geen lift. De bladwortel draagt daarom niet bij aan de opbrengst van de turbine, sterker nog: de opbrengst daalt een beetje door de luchtweerstand. Toch ontbreekt er maar weinig aan dat cilindervormige deel om wél effectief te zijn. Door een rand aan te brengen met een dikte van slechts 10% van de cilinderdiameter verandert de omstroming drastisch: het nieuwe profiel heeft nu lift-eigenschappen die even goed zijn als die van de rest van het blad. Hoewel de weerstand ongeveer even slecht blijft als voor een cilinder zonder strip, stijgt de opbrengst van een turbine toch met circa 1,5%. Neem een 2MW-turbine die 20 jaar in bedrijf blijft. Een rendementsverbetering van 1,5% komt dan neer op 1.250.000 kWh meer productie. In geld uitgedrukt betekent dat een meeropbrengst van k€ 100. Interessant, want het aanbrengen van de randen op die turbine kost nog geen vijf kilo-euro. Uitvinder: Gustave Corten

Aërodynamica en aëro-elastischeiteit

Door de toenemende afmetingen van rotorbladen en de mee veranderende geometrie en mechanische eigenschappen, neemt de kans op het ontstaan van aëro-elastische instabiliteiten in de rotorbladen van grote windturbines toe. Aëro-elastische instabiliteit wil zeggen dat de luchtstroming rond een rotorblad een mechanische trilling actief versterkt. Dit kan resulteren in trillingen die de vermoeiingsbelasting in rotorbladen sterk verhogen en die tot destructie van de rotorbladen of zelfs van de windturbine kunnen leiden. In het recente verleden is dit in de praktijk een paar keer voorgekomen. In eerste instantie hebben de rotorblad-fabrikanten hierop gereageerd door actieve dempers in rotorbladen in te bouwen. Deze actieve dempers zijn echter duur, zowel wat aanschaf als onderhoud betreft.

Binnen het Europese project DAMPBLADE, waarin ECN samenwerkt met o.a. CRES (GR) en Risø (DK), Geobioliki (GR) en een Nederlands bedrijf, is door ECN een ontwerp methode ontwikkeld waarmee de grenzen voor aëro-elastische stabiliteit van rotorbladen kunnen worden voorspeld. Hiermee kunnen mogelijke problemen tijdens bedrijf worden voorkomen en de betrouwbaarheid van windturbines worden verhoogd, zonder dat dit tot meerkosten bij de productie hoeft te leiden.

Er is een haalbaarheidsstudie uitgevoerd naar inno-



Het wereldwijd opgestelde windenergievermogen is ook in het afgelopen jaar weer sterk toegenomen. Het totaal opgestelde vermogen bedroeg eind 2002 meer dan 30.000 MW, een groei van ongeveer 5.000 MW. In Nederland stond ultimo 2002 bijna 700 MW vermogen opgesteld, wat een toename betekent van ongeveer 200 MW. In voorgaande jaren bedroeg de groei gemiddeld zo'n 50 MW. De sterke groei in het verslagjaar is te danken aan de totstandkoming van enkele grote projecten die een jarenlange voorbereiding hebben gekend.

vatieve methoden om de opbrengst van grote windparken te verhogen. De onderliggende ideeën worden gepatenteerd en hebben inmiddels aanleiding gegeven tot intensieve contacten met enkele grote projectontwikkelaars, energiebedrijven en windturbinefabrikanten.

De industriële gebruikers van de ontwikkelde modellen stellen steeds striktere eisen aan de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de rekenresultaten. Dit heeft direct te maken met de toenemende financiële risico's die gepaard gaan met de opschaling van zowel de turbines als van de omvang van windparken. Aan deze eis kan alleen tegemoet worden gekomen door experimentele validatie en verificatie door middel van windtunnel- en veldmetingen. Om de toegang tot de vele experimenten te vergemakkelijken is binnen een IAE-project een database opgezet met gegevens van aërodynamische experimenten. Binnen deze database werd een zoekprogramma geïmplementeerd dat het mogelijk maakt om bepaalde meetreeksen te vinden.

Artist impression. Op gunstige maar veraf gelegen Noordzee-locaties rendeert het wellicht om drijvende windturbines te 'installeren'.



Met hetzelfde doel worden gegevens gebruikt van het NASA Ames 'data-mining' project. Dit project is gebaseerd op de door het Amerikaanse NREL (National Renewable Energy Laboratory) in de grote windtunnel van NASA Ames uitgevoerde metingen aan een 10-meter-rotor. Het grootste deel van de metingen heeft betrekking op losgelaten stromingen. Het project is daarmee complementair aan het EU-project MEXICO (Model Experiments in Controlled Conditions). Binnen het MEXICO-project zullen voorbereidende metingen in een schaalmodel (1:10) worden uitgevoerd om de invloed van de tun-

nelomgeving op de omstroming van het tunnelmodel en de ligging van het rotorzog te bepalen. Dit is nodig om de metingen in de dure 1:1-tunnel zo efficiënt mogelijk te maken. Voorts werden de specificaties van een door Technion (Institute of Technology), Israël, te bouwen tunnelmodel opgesteld.

Concepten en ontwerp

In het kader van het EET-project DOWEC (Dutch Offshore Wind Energy Converter) wordt op het ECN Windturbine Testpark Wieringermeer de bouw voorbereid van een zogenaamde demonstrator – een afgeschaald prototype van 2,75 MW. De voorbereidingen voor de instrumentatie zijn reeds afgerond.

In samenwerking met de partners is verder gewerkt aan het kostenmodel. Het is nu gereed voor het bepalen van conceptkeuzes (bijvoorbeeld 2- of 3-bladige rotor, stall- of variabele toerenregeling), deelvarianten in het ontwerp (bijvoorbeeld tripod-ondersteuning i.p.v. éénpaalsfundatie) en veranderende externe parameters (bijvoorbeeld waterdiepte, afstand tot netaansluitpunt).

In samenwerking met TNO, MARIN, TU-Delft en Lagerwey the WindMaster is een haalbaarheidsstudie afgerond naar de mogelijkheden van drijvende offshore windturbines. In het project is een groot aantal concepten voor draagconstructies ontwikkeld en geëvalueerd. Het was een uitdaging om na te gaan of drijvende concepten ook in relatief ondiep water – niet dieper dan 50 meter – voordelen bieden. De meest opvallende conclusie is dat drijvende offshore windturbines tegen relatief beperkte meerkosten – ten opzichte van in de zeebodem gefundeerde windturbines – realiseerbaar zijn.

Operationele technieken en systemen

Speerpunt van het onderzoek is het probabilistische kostenmodel, bedoeld voor de ontwikkeling van een optimale onderhoudsstrategie. Dit model is ook met succes ingezet voor het eerder genoemde DOWEC-project. In het DOWEC-concept zal een aantal aanbevelingen worden overgenomen zoals het aanpassen van de interne kranen, de aanlandingsystemen en de beveiliging. De verbeteringen zullen moeten leiden tot een hogere beschikbaarheid.

Het beschikken over conditiebewakingsystemen die specifiek voor windturbines zijn ontwikkeld, zal cruciaal zijn om onderhoud en beheerkosten van grote, moeilijk toegankelijke parken, zoals op zee, onder controle te houden. In dit verband is het meetsysteem van FOS (Fibre Optic System) getest in het laboratorium.

Met het FOS-systeem, dat werkt met glasvezelsensoren (Bragg gratings), kunnen belastingen in bladen worden gemeten. De metingen zijn vergelijkbaar



met rekstrookmetingen maar het systeem heeft twee belangrijke voordelen: geen koperen geleiders die de goede werking van de bliksemafleider verstoren, en geen verloop in de optische rekstroken. Deze voordelen maken het systeem geschikt voor langdurige en onbemande metingen zoals bij offshore toepassingen. Naast de voordelen zijn tijdens de tests toch ook verschillende tekortkomingen geconstateerd. ECN zal de bladbelastingen zowel met rekstroken als met optical fibres meten.

ECN ontwikkelt een regelmodule die ook in staat is om trillingen, die zich in de hoofdas kunnen manifesteren, door middel van actieve trillingsdemping te reduceren. Specifiek gaat het om een samengestelde trilling die bestaat uit drie fenomenen: (1) torsietrillingen in de hoofdas, (2) koppeling met a-symmetrische trillingen in de rotorbladen (collectieve zwaai) en (3) de koppeling met de tweede laterale buigmode van de toren. Deze uniek te noemen regeling is succesvol getest en in orde bevonden om op de DOWEC-demonstrator te worden toegepast.

Metten

In het kader van de ontwikkeling van de sodar-meettechniek, bedoeld om windsnelheden op grote hoogten van de grond af te bepalen, zijn met de 200 meter hoge KNMI-meetmast te Cabauw kalibraties uitgevoerd. Daar zijn ook scheefstandmetingen gedaan waaruit bepaald is welke settings bij scheefstand moeten worden gebruikt. Voor het automatisch detecteren van vogelaanvaringen is een prototype met bijbehorende software gebouwd dat bij turbines wordt getest.

Speciale projecten

Voor de realisatie en het bedrijf van het 'ECN Windturbine Testpark Wieringermeer' (WTW) heeft ECN

samen met 19 omwonende agrariërs een commanditaire vennootschap opgericht om aldus de plaatselijke bevolking bij het project te betrekken en inspraak te verlenen. Als beherend vennoot treedt de door ECN opgerichte onderneming 'ECN Wind Energy Facilities' op. Deze zal het testpark gaan beheren.

De voorziene testparkfaciliteiten omvatten:

- een elektrische netaansluiting, inclusief 50kV-transformatorstation
- vier testlocaties voor prototypes tot 6 MW
- vijf windturbines van ongeveer 2,5 MW en 80 m rotordoorsnede voor eigen onderzoek
- meetinfrastructuur (meetmasten, datanetwerken en apparatuur)
- een meetpaviljoen.

Inmiddels zijn het transformatorstation, de kabelverbinding en de toegangswegen naar de in totaal negen windturbinelocaties gerealiseerd.

Eveneens in de Wieringermeer worden de nieuwe faciliteiten voor de Stichting 'Kenniscentrum Windturbine Materialen en Constructies' (WMC) gerealiseerd. De stichting WMC is medio 2002 opgericht door ECN en TU-Delft. In het WMC worden onder meer de activiteiten die tot dan bij de groep WMC van de faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen van de TU-Delft werden uitgevoerd, gecontinueerd. Deze werkzaamheden betreffen met name het uitvoeren van materiaalonderzoek en het *full scale* testen van rotorbladen tot 60 meter lengte. De bestaande faciliteiten in Delft – tot maximaal 35 meter zonder inkorting – zijn te klein geworden. Bij de nieuwe faciliteit kunnen de te testen bladen per schip worden aangevoerd, uniek in de wereld. De nieuwe faciliteit zal in de zomer van 2003 worden afgerond. In september 2003 gaan de eerste commerciële opdrachten van start.

De komst van het 45 meter lange blad van de DOWEC-demonstrator was het eerste zichtbare teken van R&D-activiteiten in het Windturbine Testpark Wieringermeer.

Externe partners en opdrachtgevers van Windenergie

NREL (USA), Technion (Israël), NLR, NEG Micon, LM Holland, TU-Delft, TNO, Marin, Lagerwey the Windmaster, Siemens NL, NUON, Eneco, Essent, Arrakis, Shell, VUB (B), DLR (D), DEWI (D), CLRCORAL (UK), Risø (DK), CRES (GR), UPAT (Gr), VTT (SF), GL (D), DNU (DK), Nordex (D), Polymarin, GAMESH (E), GE-Wind (D), Vestas (DK), KNMI, CREST (UK), Garrad Hassan (UK), WMC, UT, CIEMAT (E), KEMA, Provincie Noord-Holland

Biomassa

Biomassa is de op drie na voornaamste bron voor primaire energie in de wereld. In ontwikkelingslanden wordt 35% van de gebruikte energie, meestal in de vorm van warmte, opgewekt met biomassa. Wereldwijd gaat het om 14%. De EU heeft de doelstelling dat in het jaar 2010 6% van de energiebehoefte duurzaam wordt opgewekt. Biomassa zal binnen 'duurzaam' het grootste aandeel moeten leveren.

Er is al een aantal initiatieven genomen dat tot spectaculaire resultaten heeft geleid.

- In Oostenrijk is er sprake van een toename in de inzet van biomassa voor districtverwarming met een factor 6 en in Zweden met een factor 8 gedurende de laatste 10 jaar.
- In de VS is meer dan 8.000 MWe van de geïnstalleerde opwekkingscapaciteit gebaseerd op biomassa-inzet.
- In Frankrijk wordt 5% van de gebruikte warmte voor ruimteverwarming geproduceerd uit biomassa.
- In Finland draagt bio-energie al voor ongeveer 18%

OLGA verwijdt teer uit biosyngas

Teerverwijdering mag worden beschouwd als de achilleshiel van biomassavergassing. Eenmaal in het gas kan teer de installaties verontreinigen en beschadigen en ook het afvalwater vervuilen. Omdat teer uit verschillende organische componenten bestaat – voornamelijk aromatische verbindingen – is het lastig om de teer uit het gas te verwijderen. Patrick Bergman (links), Harold Boerrigter en Sander van Paasen (rechts op de foto) zijn erin geslaagd om dit technische

bij aan de totale energieproductie en het doel is dit te laten groeien naar 28% in het jaar 2025.

- Ethanol wordt op grote schaal in Brazilië geproduceerd als brandstof voor auto's. De totale hoeveelheid geproduceerde ethanol voor tractiedoeleinden is al 15–17 miljoen ton per jaar. Door een nieuwe richtlijn van de EU zal Europa deze ontwikkeling snel volgen. De productie van bio-olie, en vooral van Fischer-Tropsch-diesel, zal belangrijk toenemen.

Ook maatschappelijk en milieutechnisch heeft ontwikkeling van biomassa een belang.

- Milieupolitiek: de levenscyclus van biomassa als hernieuwbaar materiaal heeft een neutraal effect op de CO₂- en de SO₂-emissie. Die laatste is bovendien toch al zeer gering, biomassa bevat van nature heel weinig zwavel. Ook is het bij grootschalig gebruik van biomassa mogelijk om de mineralen- en stikstofkringloop te sluiten.
- Landbouwpolitiek: er moet in Europa een nieuwe

probleem op te lossen. Ze begonnen medio 2001 met de ontwikkeling van een nieuwe gasreinigingstechniek die OLGA (voor oil-based gas washing) werd gedoopt. Er is inmiddels octrooi op aangevraagd.

OLGA wijkt af van de gangbare methoden om biosyngas, het gas dat ontstaat door biomassa te vergassen, te reinigen. Na de vergassing vindt eerst ontstopping en gedeeltelijke afkoeling van het biosyngas plaats. Daarna wordt het in de OLGA-unit in aanraking gebracht met een speciale wasvloeistof waarin alle teren oplossen. Deze wasvloeistof wordt daarna gereinigd. De teer wordt teruggeleid naar de vergasser, waar hij op zijn beurt weer wordt vergast. Op deze manier ontstaat een volledig gesloten cyclus zonder dat er afvalstromen met teer ontstaan. Een belangrijk voordeel van OLGA is dat het proceswater niet met teer vervuild raakt. Ook werkt de installatie betrouwbaarder doordat de teer niet ophoopt in de reinigingsapparatuur en in de gasmotor. In principe kan het gas tot elke realistische specificatie worden gereinigd. Op deze manier is biosyngas na reiniging inzetbaar voor gasmotoren en gasturbines, maar ook voor toepassingen als brandstofcellen en Fischer-Tropsch-processen. Volgens de onderzoekers bestaat er naast OLGA geen techniek die de teer zo gecontroleerd en selectief verwijdt, terwijl geen concessies aan het ontwerp en het bedrijf van de vergasser zelf nodig zijn. Voor de verdere ontwikkeling van de techniek werkt ECN samen met Dahlgman in Maassluis. In 2003 zal een pilot-installatie worden gebouwd en getest. Als alles goed gaat kan de techniek eind 2004 op de markt worden gebracht.



bestemming worden gevonden voor uit productie genomen landareaal. Naar schatting 200 miljoen hectare landbouwgrond en 10 tot 20 miljoen hectare grond met marginale productiemogelijkheden kunnen worden ingezet voor productie van biomassa als bron voor materialen, grondstoffen en energie.

- Sociale politiek: globaal gesproken worden er per megawatt geïnstalleerde productiecapaciteit 11 nieuwe banen gecreëerd. Dit getal vertaalt naar de situatie in Europa, waar 5% van de energiebehoefte uit biomassa moet komen, komt men op 160.000 nieuwe banen.
- Regionale politiek: biomassa kan worden gebruikt als een gedecentraliseerde bron voor energie waar de conversie dicht bij de productie wordt ingezet. Dit kan leiden tot maatschappelijke stabiliteit op regionaal niveau, speciaal in gebieden waar sprake is van economische achterstand.

Uiteraard geeft het bovenstaande een aantal omstandigheden weer die wereldwijd gelden, maar toch van land tot land en van regio tot regio kunnen verschillen. Zo is in Nederland niet sprake van een groot landareaal dat uit productie is genomen en wordt geen grote rol toebedeeld aan landteelt van biomassa voor energiedoel-einden. Anderszins is het in Nederland zo dat energieopwekking sterk gecentraliseerd plaatsvindt in grote tot middelgrote eenheden en dat er door de hoge graad van urbanisatie een zeer grote hoeveelheid organisch afval ontstaat dat uitstekend inzetbaar is voor energieopwekking. Als men afval beziet als de door mensen beïnvloede reststromen, dan wordt er jaarlijks 65 miljoen ton geproduceerd. Vijf miljoen ton daarvan wordt verbrand en dus deels gebruikt voor energieopwekking. Vier miljoen ton wordt gestort en de rest wordt hergebruikt. Wat verwerking van afval betreft kan het Nederlandse beleid als zeer effectief worden gekenmerkt. Niettemin geven bovenstaande getallen wel aan dat meer inzet van afval mogelijk is waarbij nog fors kan worden verdiend door het rendement van conversie naar energie verder te verhogen. Een ander belangrijk aspect is dat Nederland uitstekende faciliteiten heeft voor aanvoer en overslag, zodat ook daar be-en verwerking van biomassa tot nieuwe ontwikkelingen leidt.

Een groot deel van de Nederlandse elektriciteit wordt uit kolen opgewekt. De kolencentrales in ons land zijn uiterst modern en bezitten voorzieningen voor rookgaszuivering naar de beste stand van de techniek. Deze eenheden lenen zich goed voor meestook van biomassa of organisch afval. Inmiddels wordt de meeste in ons land opgewekte duurzame energie dan ook geproduceerd door mee- en bijstook van biomassa met kolen. In die zin kan Nederland een gidsland worden genoemd.

ECN Biomassa is, inspelend op de nationale en internationale ontwikkelingen op het gebied van biomassa,



*Testopstelling voor
circulerend-
wervelbedvergassing*

uitgegroeid tot de grootste Nederlandse R&D-groep in deze sector, en kan zich meten met de topinstituten in Europa.

Mee- en bijstook

Meestook is de meest simpele vorm van biomassa-inzet in een kolencentrale. Feitelijk wordt biomassa meegevoerd met de tot gruis vermalen kolen naar de ketel. Daarmee wordt dus een deel van de koleninzet vervangen door biomassa en kan het evenredige deel van de calorische waarde van de biomassa-inzet als duurzame energie worden gerekend. Wel moet de biomassa dan ook zodanige eigenschappen krijgen dat zij zonder problemen kan worden meegevoerd. De biomassa moet dus tot zeer kleine deeltjes vermalen worden en moet ook, mede daarmee, loopeigenschappen krijgen die gelijk zijn aan die van kolen. De vezelachtige structuur van biomassa bemoeilijkt dit aanzienlijk en zo is veel geld en moeite opgegaan aan de ontwikkeling van de maaltechniek. Daar staat tegenover dat, zodra de biomassa bijdraagt aan de warmteproductie in de ketel, deze energie met de bestaande installatie, zoals de stoomketel en de turbine, in elektriciteit wordt omgezet. De additionele investeringen zijn dus beperkt.

Een nieuwe ontwikkeling waar ECN met een aantal bedrijven in de elektriciteitswereld aan werkt is de zogenoemde torrefactie. Dit is een warmtebehandelings-techniek op de organische brandstof, biomassa dus, die een temperatuurverhoging tot slechts 200-300°C vereist en zodanig kan worden ingericht dat het materiaal volledig verbrost, zijn vocht verliest en ook nog waterafstotend wordt. Inhomogene stromen krijgen zo voor het gebruiksdoel homogene eigenschappen, het materiaal krijgt daarnaast dezelfde maaleigenschappen als kolen en het neemt geen water meer op. Deze verbeteringen wegen op tegen de extra voorbehandelingstechniek, en zullen naar verwachting de mogelijkheid van eenvoudige meestook vergroten.

Vooralsnog is men bij de elektriciteitscentrales terecht voorzichtig met het toelaten van een groot aandeel aan



In ontwikkelingslanden is de energievoorziening grotendeels op het traditionele gebruik van biomassa gebaseerd.

meestook. Een reden is dat het totaal rendement van de centrale iets terugloopt, wat verlies met zich meebrengt. Een andere reden is de reststof, de as die bij het proces vrijkomt. In Nederland wordt de as volledig en nuttig ingezet in bijvoorbeeld de wegenbouw. Daarvoor worden zeer strenge eisen gesteld aan de kwaliteit vanuit onder meer milieuoogpunt. Het meestoken van biomassa, dat ook as produceert dat zich vermengt met de kolenas, mag de afzet ervan niet nadelig beïnvloeden. Daarom dient men prudent te opereren en wordt een meestook van niet meer dan enkele procenten aangehouden. Er zijn echter geen fundamentele redenen waarom dit niet omhoog kan en samen met ECN zijn de bedrijven op zoek naar de beste mogelijkheid om het percentage geleidelijk te verhogen. Bijstook is een meer geavanceerde vorm van inzet bij kolen, met de mogelijkheid dat het ook tot toepassing komt in gasturbinecentrales. Hierbij wordt biomassa in een aparte vergasser eerst in een brandbaar gas omgezet (een mengsel van koolmonoxide en waterstof), waarna dit gas in de kolenketel wordt geblazen en verbrand. Op deze manier kan menging van de biomassa-as en de kolenas worden voorkomen en is er meer vrijheid in het kiezen van de bijstookpercentages. Een investering in een biomassavergasser staat daar tegenover, zodat het totale proces duurder uitkomt ten opzichte van meestook. Ook op dit terrein vervult Nederland een voortrekkersrol, want bij de Amercencentrale is zo'n vergasser al gebouwd. Het gaat om een geheel nieuwe technologie en daarom is het niet verwonderlijk dat zich nog enkele problemen manifesteren. Samen met het energiebedrijf Essent heeft ECN intensief gewerkt aan het oplossen daarvan. De belangrijkste problemen zijn inmiddels opgeheven en het vertrouwen bestaat dat het volledige systeem van vergasser, gasreiniging, kolenketel en nageschakelde stoomcyclus betrouwbaar zal gaan functioneren. Als gevolg van de bijdragen die ECN heeft geleverd en

nog zal gaan leveren, is ECN een belangrijke partij geworden op het gebied van voorbereiding, gasreiniging, reststoffen en procesbeheersing van bij- en meestook bij centrale elektriciteitsopwekking.

Vergassing

Het hoofdonderwerp van de technologieontwikkeling bij ECN Biomassa is vergassingstechniek. Vergassing is al genoemd voor bijstook bij kolencentrales en als belangrijke optie voor bijstook in gasturbinecentrales, maar ook het product van vergassing, synthesesgas, is een gas dat direct in een turbine, gasmotor of brandstofcel in elektriciteit kan worden omgezet. Op de lange termijn is synthesesgas cruciaal voor productie van groene brandstoffen uit dit gas. Met behulp van een katalytisch proces kan dieselbrandstof of synthetisch aardgas ontstaan welke kunnen worden gemengd met de conventionele brandstoffen waarvoor een hoogkwalitatieve infrastructuur aanwezig is. Doordat motoren, turbines en vooral katalytische processen zeer tot extreem gevoelig zijn voor de kwaliteit van de brandstof – gas in dit geval – moet ook een vergassingsproces, dat feitelijk afval als grondstof heeft, een gas leveren dat aan zeer stringente eisen voldoet. Om die reden is gasreiniging de achilleshiel voor deze voor de toekomst zo belangrijke technologieontwikkeling.

Naast stikstofhoudende onzuiverheden en stof is teer de belangrijkste verontreiniging. Dat heeft ertoe geleid dat vele initiatieven door de kosten van teerverwijdering zijn mislukt of in een vroeg stadium gesneuveld. ECN heeft nu een nieuwe technologie ontwikkeld, OLGA genaamd, waarin met een speciale wasvloeistof in een gering aantal processtappen de teer in de veelheid van componenten waaruit hij bestaat zo effectief wordt verwijderd dat de condensatietemperatuur van de rest-teer in het gas ver beneden 0°C komt te liggen. Zo wordt het risico dat teer in een nageschakeld proces ongewenst condenseert, tot nul gereduceerd. Ook de noodzaak om teerhoudend afvalwater met hoge kosten te verwerken – een der belangrijke nadelen van conventionele teerverwijdering – komt te vervallen. De volgende stap in het onderzoek is opschaling van het ontwikkelde proces naar de schaal van een vergasser waarop een grote gasmotor kan draaien. De belangstelling voor de toepassing in bestaande installaties is groot. Uiteraard zal ook het onderzoek naar brandstofproductie uit het gereinigde synthesesgas profiteren van de merites van het nieuwe proces.

Externe partners en opdrachtgevers Biomassa

NV Afvalzorg, VTT, Essent, IFRF, Reliant Energy, Cinar, Nuon, DTU, Eneco, Abo Akademi, E.On, IVD, Kema, Cherchar, Mitsui Babcock, NTUA, Cosun, ENEL, Rendax, CSIC, Gipe, Imperial College, Corus, Ingenia, Cindu, Novem, Kappa, ERI (China), Seghers, NRG, KSK-Duitsland, Terra Humana (Hongarije), HGP, ICOVA, Shell, Universiteit Graz, INETI, Joanneum Research (Oostenrijk), TPS, Aston University, Wykes Engineering, Forschungs Zentrum Karlsruhe, EMC, Lunds University, BTG, ATO-DLO, HoSt, Universiteit Utrecht, Dahlman, TU-Delft, TU-Eindhoven, Universiteit Twente, NPCC, Nedalco, Purac, Wageningen Universiteit, TNO MEP/Voeding, ATO, Gasunie, HGP, Productschap MVO

Schoon Fossiel

ECN Schoon Fossiel is gericht op de ontwikkeling van nieuwe conversietechnologieën voor fossiele brandstoffen, in het bijzonder aardgas, waarmee de belasting van het milieu tot een minimum wordt beperkt.

De ontwikkeling van brandstofceltechnologie is op hoofdzakelijk twee toepassingen geconcentreerd: elektrisch vervoer en stationaire energieopwekking op kW-schaal.

Microwarmtekracht

Het onderzoekcluster Microwarmtekracht is gericht op de ontwikkeling van drie combinaties: een hoog-rendement-ketel en PEMFC-technologie, een HR-ketel en SOFC-technologie, en een HR-ketel die is gecombineerd met een stirlingmotor. Aardgas zal voor stationaire energieopwekking de komende decennia de meest aantrekkelijke brandstof blijven. Conversie van aardgas naar waterstof, voor de PEMFC-technologie, en direct met aardgas gevoede SOFC-systemen hebben in het onderzoeksprogramma daarom hoge prioriteit.

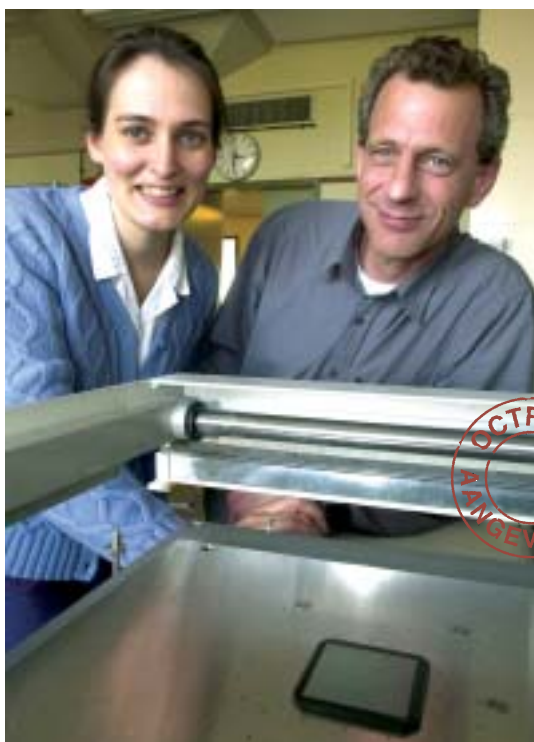
Metalen drager aan kathodezijde SOFC

Tegenover vele aantrekkelijke eigenschappen van keramische materialen staat er één waarmee men in de wereld van de brandstofceltechnologie toch blijft tobben: de mechanische kwetsbaarheid. De SOFC (Solid Oxide Fuel Cell), die uit minimaal drie lagen keramiek van enkele honderdste millimeter is opgebouwd, heeft altijd een drager nodig. Meestal wordt daarom een van de celcomponenten (anode, elektrolyt, kathode) extra dik uitgevoerd, om de benodigde stevigheid te verkrijgen. ECN heeft in de afgelopen jaren diverse succesvolle celconcepten bedacht, maar al die concepten zijn wel gebaseerd op het gebruik van keramisch materiaal. De drager moet poreus zijn, elektrisch geleidend, en moet ook de hoge werktemperatuur kunnen verdragen. Datzelfde geldt voor de aanhechting. Dan kom je ook vanzelf bij keramiek terecht. Welk ander materiaal blijft immers intact bij de hoge werk- en sintertemperaturen van 900–1400°C die bij fabricage en bedrijf optreden? Maar is er toch niet een metaal geschikt te maken als substraat? Gemma van Druten en Bert Rietveld denken van wel. En dat metaal moet de cel dan aan de kathodezijde dragen. De lucht die aan die zijde wordt toegevoerd verschilt van in- naar uitlaatzijde niet zo veel in samenstelling. Aan de anodezijde zou rekening gehouden moeten worden met grote verschillen in hoeveelheid water aan de gas-inlaat en de gas-uitlaat. Er wordt immers H_2O gevormd als reactieproduct. Bovendien moet de anode geschikt zijn voor gebruik van een heel scala aan brandstoffen (bijv. H_2 , CH_4 , CH_4/H_2O -mengsels, NH_3 , CO) die ieder ook

Ontzwaveling

Het aardgas dat in Nederland wordt gebruikt bevat van nature vrijwel geen zwavelverbindingen. Het wordt echter geodoriseerd, uit veiligheidsoverwegingen, om detectie van gaslekken te vergemakkelijken. De hiervoor gebruikte reukstof tetrahydrothiofeen (THT) bevat zwavel. Zwavelhoudende verbindingen vergiften de katalysatoren van zowel de waterstofgenerator (fuel processor) als de brandstofcel zelf. Tot nu toe was geen bevredigende technologie beschikbaar waarmee deze zwavelcomponent tegen lage kosten en met gebruik van een minimaal volume van absorptiemateriaal verwijderd kan worden.

Onderzoekers van ECN zijn een natuurlijk mineraal op het spoor gekomen dat in staat is het THT uit aardgas te verwijderen. Op deze manier kan aardgas, nadat het is omgezet in waterstof, dienen als voeding voor brandstofcelsystemen zonder dat de werking van de systemen door zwavel wordt aangetast. Het nieuwe materiaal biedt grote voordelen vergeleken met de huidige op de markt verkrijgbare materialen. Zo kan het



weer verontreinigingen kunnen bevatten. Het inzicht van Gemma van Druten en Bert Rietveld dat een metaal drager beter aan de kathodezijde kan worden gebruikt blijkt nieuw te zijn. Daarom is op dit concept octrooi aangevraagd. De ontwikkeling van een geschikt poreus metaal zal nog enige tijd vergen.

Nieuwe koolmonoxide-sensor

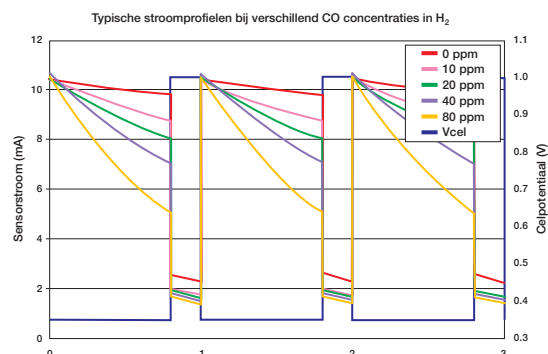
Voor de PEM-brandstofcel (proton exchange membrane) is CO vergif. Koolmonoxide verlamt de katalysator die de omzetting van waterstof in protonen bewerkstelligt. Het voedingsgas moet daarom CO-vrij aan de cel worden aangeboden. Als de cel zo gevoelig is voor CO kan hij dus omgekeerd ook als detector worden gebruikt. Deze gedachte is niet nieuw, maar Wilko Planje heeft wel een nieuwe en betere uitvoeringsvorm van zo'n op een PEM gebaseerde CO-sensor verzonnen. Behalve voor CO is een PEM-cel ook gevoelig voor de relatieve vochtigheid van het voedingsgas. Bij een te lage relatieve vochtigheid zal het membraan langzaam door uitdroging zijn protonen geleidende ei-



meer THT opnemen, heeft het een lage kostprijs en lijkt het ook geschikt om eventuele andere zwavelhoudende geurstoffen (in andere landen) uit aardgas te verwijderen. Het nieuwe materiaal wordt getest in een industriële fuel processor testinstallatie. In het verslagjaar werd meer dan 40.000 m³ gas effectief ontzwaveld. Op de vinding is octrooi aangevraagd.

Verkoop InDEC BV

Het kostprijsniveau van SOFC-cellen is door product- en procesverbetering aanzienlijk gedaald. Tegelijkertijd zijn de functionele eigenschappen van de cellen nog sterk verbeterd. De vermogensdichtheid, de stabiliteit onder wisselende bedrijfscondities en de levensduur benaderen nu de eisen die gesteld worden aan toepassing in praktische warmtekrachtsystemen. De bij ECN ontwikkelde celtechnologie wordt door InDEC BV, een in 1999 opgerichte dochteronderneming van ECN, op commerciële schaal geproduceerd. Sindsdien heeft InDEC zich ontwikkeld tot een van 's werelds belangrijkste producenten van vlakke SOFC-cellen. Eerder in het verslagjaar werd al overeenstemming be-



genschap verliezen met als gevolg dat de sensorprestaties sterk verslechteren. Wilko Planje heeft de sensor met zijn kathode gewoon in vloeibaar water gezet. Door diffusie van het water in en door het membraan blijft de sensor in optimale conditie ongeacht de relatieve vochtigheid van het voedingsgas. Een bescheiden waterreservoirtje en een voorziening om de geproduceerde waterstof aan kathodezijde netjes af te voeren maken deel uit van de innovatie waarop octrooi is aangevraagd.

De figuur laat zien hoe nauwkeurig de sensor kan meten. De elektronica die bij de sensor hoort bepaalt elke seconde het CO-gehalte aan de hand van de snelheid waarmee de stroom afvalt. De spanning over de cel (blauwe lijn) wordt aan het einde van het meetinterval sprongsgewijs verhoogd tot een niveau waarbij geadsorbeerd CO aan de anode geoxideerd wordt tot CO₂. Op deze manier wordt de cel gezuiverd van CO zodat de volgende CO-bepaling kan plaatshebben. Het meetbereik van de sensor strekt zich uit van 1 tot bijna 10.000 ppm.

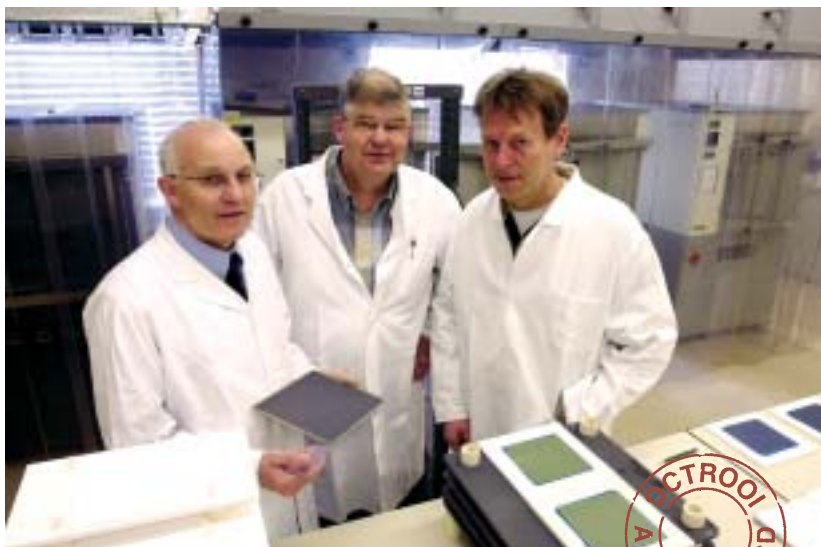
reikt met de 'venture capital' onderneming Planet Capital, over participatie in InDEC. Later werd ook een overeenkomst getekend met het Duitse H.C. Starck, onderdeel van het Bayer-concern. H.C. Starck neemt een meerderheidsbelang in InDEC, met als uiteindelijk doel een volledige overname op een later tijdstip. Onderdeel van de transactie is een meerjarige R&D-overeenkomst. Samen met H.C. Starck zal ECN werken aan de verdere verbetering van bestaande en aan de ontwikkeling van nieuwe celtypen.

Veldtest 1 kWe-SOFC-systeem

Een veldtest met de Sulzer HXS1000 Première is in 2002 succesvol afgerond. Deze installatie, gebaseerd op cellen van InDEC BV, zal in 2003 door energiedistributiebedrijf REMU NV in gebruik worden genomen voor verdere veldtesten. Het systeem dat alle voor het huis houden benodigde warmte levert, voorziet tegelijkertijd in de basisbehoefte aan elektriciteit. Uit dergelijke veldtesten wordt waardevolle informatie verkregen over de verdere optimalisatiemogelijkheden van op brandstofcellen gebaseerde microwarmtekrachtsystemen.

Compensatielaag tegen kromtrekken SOFC

Een plaatvormige anodegedragen SOFC bestaat uit een dikke anode (ongeveer 0,6 mm) met daarop een laagje elektrolyt van enkele micrometer en een iets dikker kathodelaagje. Bij het sinteren van de cel pleegt deze krom te trekken, zoals een bimetaaltje in een ouderwetse geysers: de uitzettingscoëfficiënten van het anode- en het elektrolytmateriaal verschillen nogal. Een cel van $12 \times 12 \text{ cm}^2$ wordt zo in het midden wel een halve millimeter hoger dan aan de zijanten. Dun keramisch materiaal is al niet sterk en bij het stapelen tot stacks sneuvelen niet-vlakke cellen nog gemakkelijker. Dat kromtrekken is daarom een belangrijk euvel dat ook het opschalen naar cellen met een groter oppervlak ernstig belemmert. Het is te voorkomen door ook aan de andere zijde van de anode een laag elektrolytmateriaal aan te brengen. Alleen werkt de cel dan niet meer. De laag elektrolyt is gasdicht en de brandstof kan de anode niet meer bereiken. Perforeren is de oplossing. Maak die compensatielaag nog wat dikker en breng een regelmatig gatenpatroon aan, zodat die tweede laag elektrolytmateriaal gemiddeld even dik is als de echte, dan blijft de cel vlak bij het bakken. Voor het elektrische contact is ten slotte weer een laagje poreus anodemateriaal nodig dat door de gaten in de compensatielaag contact maakt met het oorspronkelijke anodeoppervlak. Het elektrolytmateriaal geleidt immers wel zuurstofionen maar geen elektronen. Deze



nieuwe manier van SOFC's maken is bedacht en ontwikkeld door Rob de Rooy (links), Bart Broersen en Pieter Nammensma (rechts op de foto). Het productieproces wordt door het aanbrengen en perforeren van de compensatielaag wel iets duurder, maar er vindt veel minder celbreuk plaats en het opschalen naar cellen met een groter oppervlak kan beginnen. Want ook cellen van $20 \times 20 \text{ cm}^2$ blijven nu probleemloos vlak bij het bakken. Een doorbraak. Op de vinding is octrooi aangevraagd.

Veldtest 2 kWe-PEMFC-systeem

Ook een systeem opgebouwd uit een ECN-PEMFC van 2 kWe en een reformer van de firma Johnson Matthey is in 2002 beproefd. Dit systeem is door ECN ontworpen en gebouwd en bevat een specifiek voor deze systemen ontwikkeld besturingssysteem. Bij de afronding van de beproeving zal verder de nadruk worden gelegd op de optimalisatie van elektriciteits- en warmteproductie.

Veldtest stirlingmachines

Tien stirlings zijn gebouwd en ingebouwd in micro-warmtekrachtinstallaties. De prestaties van de machines voldoen geheel aan de specificaties. Zes van deze installaties zijn inmiddels in woningen opgesteld en leveren warmte en elektriciteit zonder grote problemen.

Brandstofcelvoertuigen

Voor vervoertoepassingen beperkt ECN zich tot het ontwikkelen van PEMFC-technologie, elektriciteitsopslag in supercondensatoren en *fuel processing*. Uitgangspunt daarbij is het gebruik van vloeibare brandstoffen die aan boord van een voertuig in waterstof omgezet kunnen worden. Hiermee wordt de afhankelijkheid van een grootschalige waterstofinfrastructuur omzeild.

In opdracht van en in samenwerking met Shell en het Amerikaanse Hydrogen Source wordt gewerkt aan de productie van waterstof uit vloeibare brandstof, met

name uit diesel. In het verslagjaar is aangetoond dat het mogelijk is waterstof te produceren uit relatief schone diesel, dat wil zeggen uit diesel met een laag zwavel- en aromaatgehalte.

Daarnaast wordt in Europees verband ook gewerkt aan de productie van waterstof uit biobrandstoffen zoals bio-ethanol. Het voordeel is tweeledig. Enerzijds zijn biobrandstoffen veelal vrij van zwavel en aromatische verbindingen. Anderzijds maakt het gebruik van biobrandstoffen de brandstofketen CO_2 -neutraal, en is er derhalve geen bijdrage aan het broeikaseffect.

Naast de brandstofcel en de *fuel processor* zijn voor een brandstofcelsysteem ook vele systeemcomponenten benodigd die niet al beschikbaar zijn vanuit andere toepassingen. Een zo'n component is een sensor die in staat is de concentratie koolmonoxide te bepalen in een waterstofrijk gas. Deze sensor is nodig in de procesregeling van het totale fuel processor/brandstofcelsysteem.

In het kader van het Europese onderzoekproject PRO-FUEL, dat als doel heeft een fuel processor te ontwikkelen waarmee uit benzine waterstof wordt gegenereerd, heeft ECN de afgelopen jaren een elektrochemische sensor ontwikkeld die koolmonoxideconcentraties in waterstof kan bepalen in een concentratiegebied van 1 tot bijna 10.000 ppm. Op deze vinding is octrooi aangevraagd.



Stikstofspel in de praktijk

NitroGenius heeft een eigen web-pagina gekregen: www.nitrogenius.com. Daar is informatie over het stikstofspel te vinden, achtergronddocumenten en een vereenvoudigde spelversie die kan worden gedownload. Ook een stand-alone versie van het stikstofbeleid-ondersteunende instrument NDSS is gereedgekomen. Hiermee is het effect te berekenen van individuele maatregelen om stikstofemissies in Nederland te beteugelen. Er zijn enkele try-outs met het spel gedaan om suggesties voor verbetering te inventariseren, bij het RIVM, bij VROM, op de World Summit in Johannesburg en tijdens het 13^{de} VIAS-

symposium. Vooral het integrale karakter van het spel, de eenvoud en de intuïtieve wijze van begrip-sopbouw werden geprezen. Wel plaatste men vraagtekens bij het gebruik van het spel als besluitondersteunend instrument: zullen de besluiten anders uitpakken na het spelen van dit spel?

Een eerste praktijktoets vond al plaats: het spel is ingezet als instrument bij stikstofonderhandelingen tussen vier stakeholders. Gedurende een volle dag hebben vertegenwoordigers van VROM, Natuur&Milieu, VNO en LTO getracht, met NitroGenius als facilitator van de discussie, tot nieuw beleid te komen. Over de wijze waarop het spel de stikstofproblematiek inzichtelijk maakt waren deze 'beroeps' onderhandelaars uiterst lovend, maar ook werd vastgesteld dat het toch nodig blijft het precieze effect van daadwerkelijke beleidsbeslissingen door te rekenen met de modellen van het Milieuplanbureau. NitroGenius is voorts geschikt bevonden voor onderwijsdoeleinden, want Wageningen Universiteit heeft het spel opgenomen in een speciale cursus Integrated Environmental Assessment: Pollution Management (ESA 31804). De cursus maakt deel uit van de MSc-programma's Environmental Sciences, Earth Systems Science en Urban Environmental Management.

Met steun uit ICES-KIS heeft ECN in het verslagjaar zijn testinfrastructuur voor zowel vervoer als stationaire toepassingen sterk uitgebreid. Op het gebied van fuel processors en op het gebied van brandstofcelstacks kan nu hardware worden getest op een schaalgrootte die aansluit bij de behoefte van de industrie (25-50 kWe). Deze testinstallatie bestaat uit een Fuel Processing Test

Opstelling (FPTO) van 25 kWe voor het testen van componenten van een fuel processor, een stack-testopstelling voor het beproeven van stacks tot 50 kWe, alsmede een kleine waterstof-unit (50 kWe) voor de productie van reformaat voor stacks of productie van synthesegas voor gebruik in de FPTO.

Ontzwavelen van aardgas

Uit veiligheidsoverwegingen voegt de Gasunie, evenals de meeste Europese zusterbedrijven, de geurstof tetrahydrothiofeen (THT) toe aan het aardgas, een organi-

sche zwavelverbinding met een zeer lage reukgrens. De concentratie zwavel in aardgas is daardoor ongeveer 5 ppm. Niet veel, maar voor de PEM-brandstofcel met zijn gevoelige PtRu-katalysator toch ruimschoots té veel. Bij het testen van een aantal commercieel verkrijgbare zwaveladsorberende stoffen kwam Paul de Wild min of meer toevallig een alternatief THT-filtermateriaal op het spoor. Verrassenderwijs presteert het materiaal tot tien maal beter dan actieve kool en is het aanzienlijk goedkoper te produceren. Het materiaal blijkt nooit eerder voor ontzwaveling van aardgas te zijn ingezet en op die toepassing is daarom onverwijd octrooi aangevraagd. Dit nieuwe ECN-adsorbens lijkt ook geschikt om andere zwavelhoudende odoranten uit aardgas te verwijderen. Dat kan interessant zijn voor bijvoorbeeld de Amerikaanse markt, waar naast THT veelal mercaptaanmengsels en mengsels van mercaptanen en sulfides worden gebruikt voor het op geur brengen van aardgas.

Achteraan op de foto uitvinder Paul de Wild. Op de voorgrond collega Ruud Nyqvist.



Klimaatneutrale energiedragers

De inzet van elektriciteit en waterstof geproduceerd uit fossiele brandstoffen met gelijktijdige CO₂-afvangst en vastlegging zal, naar verwachting, in de toekomst een belangrijke bijdrage leveren aan de CO₂-emissiereductie. Technieken voor afvangst van CO₂ zijn thans beschikbaar, maar vooralsnog te duur en hebben een hoog energiegebruik, waardoor het primaire energiegebruik met 16 tot 30% stijgt. De kosten per ton vermeden CO₂ worden geschat op 55 tot 70 euro.

Door gerichte technologieontwikkeling en ketenoptimalisaties kunnen deze kosten aanzienlijk worden verlaagd. Een belangrijk deel van deze kostenverlaging kan gerealiseerd worden door de ontwikkeling van nieuwe CO₂-afvangstechnologieën met een laag energiegebruik en vergaande integratie van de afvangstechnologie in het conversieproces.

Voor de CO₂-afvangst in toekomstige hoog-efficiënte SOFC-GT-systemen is een procesgeïntegreerde methode ontwikkeld. Hiervoor wordt gebruikgemaakt van een shift-geïntegreerde membraanbrander die bestaat uit een waterstofselectief membraan met een watergasshift-katalysator aan de voedingszijde. De kathode-

afgassen worden als sweep-gas voor de permeaatzijde gebruikt. Hetzelfde principe is ook toepasbaar in een gasturbinecyclus voor de productie van klimaatneutrale elektriciteit uit aardgas of syngas. Uit systeemberekening is naar voren gekomen dat de CO₂-uitstoot zo met 85% kan worden gereduceerd, waarbij het additioneel energiegebruik voor afvangst van CO₂ met 50% kan worden teruggebracht ten opzichte van conventionele methoden voor CO₂-afvangst. Er is een octrooi-aanvraag ingediend voor het concept.

Verwijdering van NO_x met methaan

In 2002 is een katalysator ontwikkeld die met behulp van methaan stikstofoxiden (NO_x) afbreekt. In de rookgassen van gasmotoren zitten relatief hoge concentraties van zowel NO_x als methaan. Stikstofoxiden zijn onder meer verantwoordelijk voor verzuring en vermist van het milieu. Methaan is na CO₂ het belangrijkste broeikasgas. De katalysator gebruikt het methaan uit de rookgassen om de NO_x te reduceren en slaat daarmee twee vliegen in één klap. Behalve bij gasmotoren kan de katalysator ook worden toegepast bij gasbranders (bijvoorbeeld verwarmingsketels) en in de industrie. Als er geen methaan in het rookgas aan-

Katalysator verwijdert stikstofoxiden met methaan

Bij verbrandingsprocessen in gasmotoren ontstaan stikstofoxiden (NO_x). Omdat vrijkomende stikstofoxiden het milieu aantasten, is het nodig ze onschadelijk te maken of de vorming te voorkomen. Hiervoor bestaan diverse mogelijkheden zoals het gebruik van low-NO_x-burners of de toepassing van selectieve katalytische reductie (SCR) met ammoniak of ureum. Deze technieken zijn echter niet geschikt voor gasmotoren of zijn slechts tegen hoge kosten toe te passen.

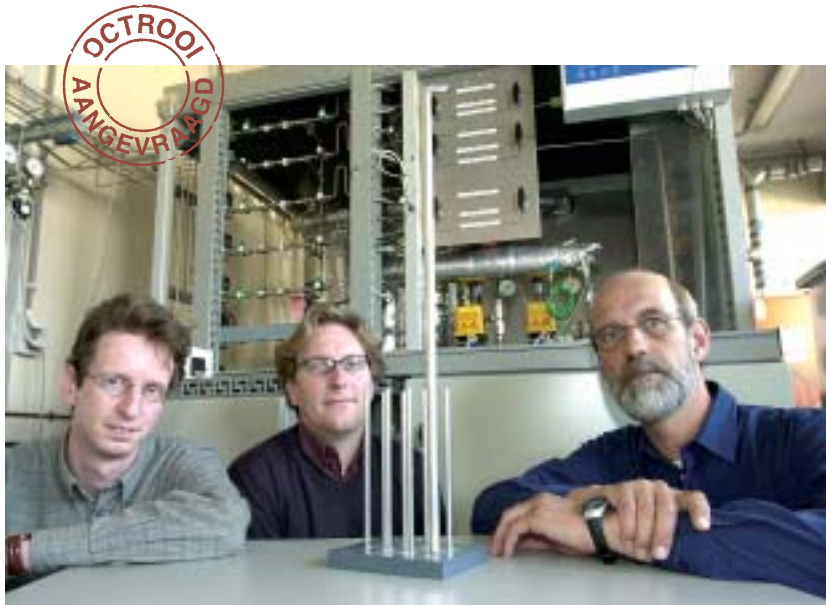
Een aantrekkelijker alternatief lijkt daarom selectieve katalytische reductie met behulp van koolwaterstoffen. Methaan (aardgas) is in principe geschikt als koolwaterstof: het wordt reeds gebruikt als brandstof en is overall beschikbaar via het aardgasnet. Bovendien zijn er altijd spoortjes onverbrand methaan aanwezig in de uitlaatgassen van gasmotoren, zodat toevoegen van extra methaan vaak niet eens nodig is. Methaan is echter ook de meest stabiele koolwaterstof en daardoor moeilijk te activeren.

Ruud van den Brink (rechts) en Jean-Pierre Pieterse (links op de foto) hebben een katalysator ontwikkeld die methaan kan activeren. Deze katalysator, bestaande uit een palladiumhoudende zeoliet en een promotor, bezit een uitzonderlijk hoge activiteit voor SCR met methaan onder reële procescondities.

ECN heeft octrooi aangevraagd op de methode om NO_x via katalytische reductie met methaan te verwijderen. Deze methode kan worden toegepast bij gasmotoren, maar ook bij andere vormen van kleinschalige energieopwekking waar NO_x bij vrijkomt, zoals gasbranders in de tuinbouw, noodstroomaggregaten en

gasturbines voor warmtekracht. De katalysator is ook met goed gevolg ingezet voor de gecombineerde verwijdering van lachgas (N₂O) en stikstofoxiden uit het gesimuleerde rookgas van een salpeterzuurfabriek. Ook kan het proces worden gebruikt bij industriële productie van cement, salpeterzuur, ijzer of caprolactam, de grondstof voor nylon. Gunstige bijwerking is dat het broeikasgas methaan, dat onverbrand voorkomt in de rookgassen van gasmotoren, wordt omgezet en niet meer in de atmosfeer geloosd. Zo wordt bijgedragen aan de realisatie van de Kyoto-doelstellingen.





Brandstofcel-shiftmembraanbrander-combinatie

Zo weinig mogelijk CO₂-emissie. Dat is een centrale doelstelling van 'schoon fossiel'. Inzet van fossiele brandstoffen zal zeker nog decennialang nodig blijven en daarbij is de vorming van CO₂ uiteraard niet te voorkomen. Geen CO₂ uitstoten betekent dus niets anders dan CO₂ afvangen en opbergen. Dat opbergen komt later aan de orde, eerst het afvangen. Afvangen van CO₂ bij verbranding van koolwaterstoffen is technisch uitvoerbaar, op verschillende manieren zelfs. Er is op dit moment alleen een behoorlijke prijs die voor dat afvangen moet worden betaald. Deze bestaat uit twee componenten: extra investeringskosten in het systeem (eenmalig) en een (continu) energetisch rendementsverlies. De brandstofcel-shiftmembraanbrander-combinatie die ECN-medewerkers hebben bedacht kan beide kostenposten halveren.

Een SOFC (vast-oxide-brandstofcel) wordt gevoed met aardgas. Dat wil zeggen: langs één zijde van de cel, de

anode, wordt aardgas gevoerd, en lucht langs de andere zijde. Hierbij produceert de SOFC elektriciteit. Na het passeren van de cel bevat het gas, dat nu anode-afgas heet, behalve veel CO₂ en waterdamp nog zoveel niet-verbrande waterstof (H₂) en half-verbrande koolstof (CO) dat het zonde zou zijn daar niets meer mee te doen. Bovendien is het gas zo helemaal niet geschikt voor opslag. Het is dus zaak de H₂ en CO om te zetten en zo veel mogelijk nuttig gebruik te maken van de daarbij ontstane warmte. Zo is het idee van de shift-membraanbrander ontstaan. Hierin wordt de CO met behulp van water omgezet naar meer CO₂ en meer H₂, de zogeheten water-gas-shift-reactie. Tegelijkertijd wordt de waterstof afgescheiden door een membraan en aan de andere zijde verbrand. De warmte die hierbij ontstaat wordt gebruikt voor het vóórwarmen van de lucht voor de SOFC die daardoor een hoger omzettingsrendement krijgt. Bij het opwekken van elektriciteit wordt op deze manier een geconcentreerde CO₂-stroom verkregen, geschikt voor opslag. Jan Wilco Dijkstra (links), Arend de Groot en Daan Jansen (rechts op de foto) tekenen voor deze innovatie waarop uiteraard octrooi is aangevraagd. Een niet-toevallige bijkomstigheid: het te gebruiken membraan, een palladium-membraan, wordt al elders op het ECN-terrein ontwikkeld, door de unit Energie Efficiency in de Industrie.

De uitvinders hebben berekend dat CO₂ afvangen met de brandstofcel-membraanbrander-combinatie minder rendementsverlies zal opleveren: slechts de helft van het verlies bij conventionele technieken. Behalve efficiënter is de combinatie ook breed inzetbaar, bijvoorbeeld bij een kolenvergassingsinstallatie of in een gasturbinecyclus. ECN is benaderd door een internationaal consortium van grote industriële partijen, waaronder Statoil, BP en Shell, om gezamenlijk te bekijken hoe deze innovatieve combinatie verder kan worden ontwikkeld in het Zesde Kaderprogramma van de EU.

wezig is, zou het uit aardgas betrokken kunnen worden. In Nederland met zijn fijnmazige aardgasnet is de katalysator daarom vrijwel overal inzetbaar. Voor het concept is octrooi aangevraagd.

Stadse oversterfte gereduceerd

In de studie naar gezondheids- en financiële effecten van vervanging van dieselloertuigen door brandstofcelvoertuigen in een stad als Amsterdam, is berekend dat de hieruit voortvloeiende verlaging van de jaargemiddelde PM₁₀-concentratie (maximaal 12%) neerkomt op een maximaal aantal 'bespaarde' sterfgevallen

van 160 op jaarbasis. Door gespaarde levens in geld uit te drukken is berekend dat de financiële 'opbrengst' van een dergelijke actie uiteindelijk hoger zal zijn dan de investeringskosten! Deze studie is met veel interesse en discussie ontvangen door met name de GG&GD's van grote gemeenten (Groningen, Amsterdam). De resultaten uit deze studie worden gepubliceerd in het Tijdschrift voor Verkeerskunde. De studie dient tevens als startpunt voor het in 2003 te ontwikkelen 'Traffic Decision Support System' (financiering vanuit SSZ-programma van Novem).

Externe partners en opdrachtgevers Schoon Fossiel

Afvalzorg, Alstom, ATAG, BP-Amoco, CEA, CNRS, Cogen Projects, Corus, DSM, Engelhard, ENATEC, ENECO, EU, EZ, Fiat, Gasunie, Grontmij, Hydrogen Source, Institut für Angewandte Chemie, IRD, Johnson Matthey, KEMA, NAM, Nedstack Fuel Cell Technology, Novem, Nuon, Piaggio & C Spa, Renault, REMU, Risø, RIVM, Saab, Shell, Siemens, Stork, TNO, TU-Eindhoven, Uhde, U-Twente, Umicore, Universiteit Wageningen, Vaillant, Volvo, VROM

Technologische Services en Consultancy

ECN Technologische Services en Consultancy (TSC) levert de hoogwaardige technologische ondersteuning voor ontwerp en realisatie van experimentele installaties, gegevensverwerking, informatieoverdracht, materiaalkarakterisering en andere ondersteuning die nodig is om onderzoek op het hoogste niveau uit te voeren. Sinds kort verzorgt TSC ook de bouw en inrichting, alsmede het onderhoud van complete laboratoria met alle bijbehorende facilitaire en technische installaties. In algemene zin is het de taak van TSC om die kennis en kunde op te bouwen en in stand te houden die meerdere units – althans meer dan één – nodig hebben om hun missie te kunnen vervullen.

Door het brede bereik van de ondersteunende kennis en kunde kan de dienstverlening snel en efficiënt worden geboden. Opererend op het snijvlak van techniek

en wetenschap, fungeert TSC steeds vaker als ‘kraamkamer’ voor innovaties en vernieuwingen. Ongeveer een derde van de opdrachten aan TSC komt van externe partners.

Zeskanaals parallelle flow-reactor

Voor de ontwikkeling van geavanceerde katalysatoren, onder andere ten behoeve van fuel processing, is een uiterst nauwkeurige parallelle flow-reactor ontwikkeld. Het testen van de activiteit, selectiviteit en stabiliteit van katalysatoren dient onder isotherme condities plaats te vinden en op een schaal waarop geen massa-transportlimiteringen optreden. Dit werk wordt gedaan in zogenoemde microflow-opstellingen. Over een geringe hoeveelheid katalysator (0,1–0,3 g) wordt een gasmengsel geleid waarbij de omzettingsgraad

Snelle adaptieve maximum power point tracker

Bij iedere combinatie van invallende zonnestraling, temperatuur en mate van vervuiling van een zonnepaneel, hoort een bepaalde optimale spanning (of stroom) waarbij het paneel zijn maximaal beschikbare vermogen (de instraling maal het rendement van de cellen) ook daadwerkelijk kan afgeven. De zonnecellen werken dan in hun optimale werkpunt (in het Engels: Maximum Power Point, MPP) dat bij die combinatie van instraling, temperatuur en vervuilingsgraad hoort. Doordat zowel de instraling als de temperatuur voortdurend veranderen – en zeker in Nederland kan de instraling binnen een seconde al behoorlijk variëren – moet het werkpunt continu worden aangepast om dit MPP blijvend te volgen.

In principe komt het erop neer dat het MPP van een zonnecel niet goed mathematisch is te bepalen, reden waarom ervoor wordt gekozen om telkens het afgegeven vermogen te meten, waarna de instelling wordt gecorrigeerd. Gevolg hiervan is dat het afgenomen vermogen altijd achterloopt op de werkelijkheid. De schakeling die erop gericht is de zonnecel in zijn MPP te laten opereren wordt ook wel MPP-tracker genoemd. Met zo’n MPP-tracker werken de cellen dus nooit in het optimale werkpunt, en wordt er dus ook continu minder vermogen afgegeven dan er beschikbaar is.

Echter, bij één bepaalde temperatuur zijn alle MPP’s mathematisch gezien door één lijn verbonden, die met slechts een paar parameters is te karakteriseren. En aangezien tijdens een variërende instraling de temperatuur niet direct mee verandert, kwam Arie Veltman op het idee om tijdens een periode van conventionele MPP-tracking, de parameters van die lijn vast te stellen en op te slaan, en bij snelle instralingsveranderingen



gen hiervan gebruik te maken om het volgende MPP af te schatten en daar direct op in te stellen. Dit zorgt ervoor dat de cellen ook tijdens snelle instralingsvariaties vrijwel continu in, of in ieder geval zeer dichtbij het MPP opereren, en dus naar verwachting meer vermogen zullen afgeven dan bij gebruik van een ‘conventionele’ MPP-tracker. Tijdens langere perioden worden de parameters die de ‘optimale werklijn’ beschrijven continu aangepast om in te spelen op temperatuurveranderingen en op veranderingen in de vervuilingsgraad.

In opdracht van ECN Wind-energie is een geheel nieuwe meetinfrastructuur ontwikkeld voor het uitvoeren van metingen aan windturbines.



wordt bepaald als functie van de temperatuur, of de stabiliteit van deze omzettinggraad bij constante temperatuur en gassamenstelling als functie van de tijd. Over het algemeen worden synthetische gasmengsels gebruikt die representatief zijn voor het gasmengsel waaraan de katalysator in de echte toepassing wordt blootgesteld.

TSC heeft in samenwerking met Cambridge Reactor Design en Shell, en met steun uit ICES-KIS-2, een 6-kanaals parallelle flow-reactor ontwikkeld en gerealiseerd in het kader van het project 'Smogfree'. Daarmee is de capaciteit op het gebied van microflow-opstellingen bij ECN verdubbeld.

Meten aan windturbines

In opdracht van ECN Windenergie is een nieuwe meetinfrastructuur ontwikkeld voor het uitvoeren van metingen aan windturbines.

Een belangrijk onderdeel hiervan is het gebruiksvriendelijke meetinstrumentatiesysteem waarop diverse typen sensoren kunnen worden aangesloten. Alle meetsystemen zijn via een optisch data-netwerk tijdsynchroon gekoppeld. Met dit concept kunnen gedistribueerde meetsystemen gerealiseerd worden die specifiek voor onshore en offshore windparken inzetbaar zijn. Zowel de software als de hardware is door TSC ontwikkeld.

Katalytische uitstookoven voor spuitgieten van metallische en keramische producten

Spuitgieten van keramiek en metaal (PIM en CIM) is een snelgroeiende productietechniek om complexe producten relatief eenvoudig en goedkoop in serie te kunnen produceren. ECN heeft met het voormalig Nationale Keramische Atelier sterk bijgedragen aan de ontwikkeling en verspreiding van deze technologie.

Het verwijderen – uitstoken of *debinding* – van de kunststof die als bindmiddel wordt gebruikt om producten in een matrix te vormen is de belangrijkste kwaliteitsbepalende stap in het proces. Een goede methode is katalytisch 'kraken' van het polymeer om dit snel en zonder productbeschadiging te kunnen verwijderen. Hiervoor heeft ECN een gestuurde oven ontwikkeld waarin met een doseerpomp minimale hoeveelheden salpeterzuur worden gebracht. De kunststof degradeert, de restproducten worden afgefakkeld.

Omdat het gasmengsel heftig met zuurstof zou reageren dient het uitstoken in een met stikstof gespoelde omgeving plaats te vinden. De gehele oven is uiteraard explosie veilig uitgevoerd. Een krachtige hete stikstofstroom zorgt voor een homogene temperatuur in de oven en een homogene 'debinding'. Door snelle opwarming, actieve koeling en een processturing die rekening houdt met de beladingsgraad, is de cyclustijd zeer kort. De oven heeft uit logistieke overwegingen dezelfde maatvoering als de sinterovens die in volgende processtappen worden gebruikt.

De uitstookoven is succesvol in bedrijf bij Formatec te Goirle, een firma die is gespecialiseerd in het produceren van hoogwaardige keramische componenten met spuitgiettechnologie.

Bedieningszijde parallelle flow-reactor



Externe partners en opdrachtgevers TSC

CERN Genève, Shell Amsterdam, GCO, Tyco healthcare Mallinckrodt BV, Fokker Aerostructures BV, NV Afvalverbranding Zuid-Nederland, Stork Product Engineering BV, Formatec Technical Ceramics BV, Wansdrone Architectuur

Nucleaire technologie

De Nuclear Research and consultancy Group (NRG), waarin de nucleaire faciliteiten van ECN en KEMA sinds 1998 zijn ondergebracht, kijkt terug op een tumultueus en uitdagend jaar. Er was negatieve publiciteit rond de Hoge Flux Reactor om redenen van vermeende onveiligheid. Anderzijds is het belang van de reactor voor onderzoek en medische toepassingen in brede kringen bekend geworden. Dit onder meer dankzij een rapport aan de Tweede Kamer van staatssecretaris Van Geel van VROM, mede namens de ministers van EZ en VWS. Op basis van dit rapport zal de staatssecretaris de toekomstige vervanging van de reactor op de politieke agenda van Europa zetten.

De onderzoekactiviteiten van NRG hebben dit jaar in het teken gestaan van het Europese Vijfde Kaderprogramma waarin NRG in ruim zestig projecten participeert. Daarnaast is een groot aantal voorstellen ingediend voor het nieuwe kaderprogramma dat binnenkort van start gaat. Centrale punten in het onderzoek zijn het beperken van de levensduur van het radioactief afval, materialen en brandstofcycli voor innovatieve reactorsystemen en stralingshygiëne. Hieronder een aantal voorbeelden van de activiteiten van NRG in 2002.

In de loop van het jaar heeft NRG gekeken naar de mogelijkheden van verdere verzelfstandiging en daarbij de eigen organisatie en doelstellingen grondig geëvalueerd. Dit heeft onder meer geleid tot de volgende nieuwe uitwerking van de missie.

Als hét Nederlandse kenniscentrum voor nucleaire technologie verzorgt NRG onafhankelijk onderzoek, studies, adviezen, informatie en diensten voor overheid, bedrijfsleven en burgers. Een veilige, ecologisch verantwoorde en vreedzame toepassing van nucleaire technologie is hierbij een randvoorwaarde. Deskundig personeel, hoogwaardige kennis, toegang tot internationale netwerken en een complete nucleaire infrastructuur staan ten dienste van onze opdrachtgevers.

Toenemende belangstelling

Zoals uit deze missie blijkt heeft NRG een belangrijke taak op het gebied van adequate en objectieve informatievoorziening. De website www.nrg-nl.com levert hieraan een significante bijdrage: in 2002 werden welkijks 1.750 bezoekers en 10.000 pageviews geregistreerd. Voorts is weer gestart met de organisatie van maandelijkse Open Zaterdagen bij de Hoge Flux Reactor met rondleidingen door de reactorhal. De ontvangsten hebben een belangrijke functie bij het creëren van bekendheid met nucleaire technologie en bewustwor-



ding van het belang en de toegevoegde waarde van de reactor voor Nederland. Stralingsdeskundigen van NRG verzorgen regelmatig speciale natuurkundelessen op scholen in Noord-Holland. Ook worden groepen scholieren en studenten in Petten ontvangen voor lezingen en excursies en verstrekt NRG informatie aan studenten voor werkstukken of spreekbeurten. Voorts was NRG in beeld in het televisieprogramma 'Onderweg naar Morgen' van VPRO Noorderlicht over de toekomst van kernenergie in Nederland. In 'AVRO Gezondheidsplein' werd uitgelegd hoe radioactief jodium wordt geproduceerd voor de behandeling van patiënten met schildklierkanker.

Meer productie medische isotopen

Het jaar 2002 heeft een sterke stijging te zien gegeven van de vraag naar isotopen voor medische en industriële toepassingen. Vooral de vraag naar de kortlevende isotopen die essentieel zijn voor diagnostische en therapeutische toepassingen in de nucleaire geneeskunde en de radiotherapie nam sterk toe. Daarom was de isotopenproductie in de HFR, zowel gemeten naar hoeveelheid radioactiviteit als naar aantal verschillende soorten, groter dan ooit tevoren. De HFR produceert ongeveer 30% van alle isotopen die er in de wereld met reactoren worden gemaakt. De belangrijkste zijn molybdeen-99, jodium-131 en iridium-192. Voorts neemt NRG deel aan de ontwikkeling van de productie en het gebruik van lutetium-177 en van



yttrium-90 voor medische behandelingen. Ook speelt de HFR een belangrijke rol bij de productie van radioactieve jodiumstaafjes (jodium-125) voor de behandeling van prostaatkanker. De resultaten van behandeling met jodiumstaafjes, die het operatief verwijderen van de prostaatklier onnodig maakt, zijn veelbelovend en ook de vraag naar dit product is sterk groeiende. Inmiddels zijn meer dan 25.000 patiënten met jodiumstaafjes behandeld.

Bij de productie van radio-isotopen neemt NRG de strengste eisen op het gebied van veiligheid en milieu in acht. Ook een goede verwerking van het afval en de veilige opslag ervan is gewaarborgd in overeenkomsten met de Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA). Verder decontamineert NRG jaarlijks enkele duizenden gebruikte molybdeen/technetium-generatoren, zodat deze geschikt zijn voor hergebruik. In deze generatoren wordt molybdeen/technetium uit de HFR aan ziekenhuizen over de hele wereld geleverd.

Duurzame kernenergie

Bij het splijten van uranium in een kerncentrale ontstaan splijttingsproducten en, door invang van neutronen, ook zogenoemde actiniden, stoffen die zwaarder zijn dan uranium. Die actiniden, voornamelijk plutonium en ook americium, zijn radioactief en hebben halveringstijden in de orde van 10.000 jaar. De splijttingsproducten daarentegen hebben veel kortere halveringstijden – in de orde van 10 jaar – en deze kunnen daarom zonder veel problemen worden opgeslagen totdat zij voldoende zijn vervallen. Het is daarvoor nodig het kernafval te kunnen scheiden in actiniden en splijttingsproducten. De splijttingsproducten worden dan opgeslagen en de actiniden gaan opnieuw de reactor in, na verwerkt te zijn in een nieuw soort brandstof. Langs deze weg is het mogelijk veel van de ongewenste actiniden ook tot lichtere elementen te splijten met aanzienlijk kortere halveringstij-

den. Het resultaat is een (meer) duurzame nucleaire brandstofcyclus. NRG voert dit onderzoek naar efficiënte methoden voor het afscheiden van de actiniden en het ontwikkelen van geschikte nieuwe soorten brandstof uit in een mondiaal samenwerkingsverband. De NRG Hot Cell Laboratories, het Actiniden-laboratorium en de HFR zijn geheel toegerust voor het maken en testen van de verschillende soorten innovatieve brandstof. In het verslagjaar zijn enkele experimenten succesvol afgerond.

Kernfusie

De mondiale vraag naar energie zal deze eeuw verder blijven stijgen terwijl de voorraden fossiele brandstoffen afnemen. Andere energiebronnen, zoals zon, wind en biomassa moeten helpen om aan de vraag te voldoen. Kernfusie kan deze bronnen aanvullen die, hoewel milieuvriendelijk, deze hele eeuw nog niet in staat zullen zijn ook de grote steden en de industrie van voldoende energie te voorzien. Elektriciteit uit fusiereactoren is een aantrekkelijke optie, onder meer vanwege de lage brandstofkosten. Er moet echter nog veel onderzoek worden gedaan voordat kernfusie commercieel haalbaar kan zijn.

De grootste experimentele fusieopstelling van dit moment, Joint European Torus (JET), staat in Culham, Engeland. Al in de jaren 1990 is in JET gedurende enkele seconden een vermogen van enkele tientallen megawatt aan warmte opgewekt. Daarmee was de *proof of principle* gegeven en de doelstelling van JET bereikt. De veel grotere opvolger van JET, genaamd ITER (Latijn voor 'weg', 'route'), moet de technologische haalbaarheid van een kernfusiecentrale aantonen. ITER is ontworpen om 500 megawatt te kunnen genereren gedurende een periode van ongeveer een kwartier. Het project is een samenwerkingsverband van Japan, China, Canada, Rusland, de Verenigde Staten en de Europese Unie. In Europa hebben Cadarache (bij Aix-en-Provence) in Frankrijk en Vandellós (bij Tarragona) in Spanje zich aangemeld als kandidaatlocaties voor het huisvesten van ITER. Ook Canada en Japan hebben locaties aangeboden. De definitieve keuze zal spoedig worden gemaakt. Met de bouw zal naar verwachting in 2005 kunnen worden begonnen. In 2015 moet ITER operationeel zijn.

De bijdrage van NRG aan het mondiale kernfusieonderzoek ligt op materiaalgebied. NRG ontwikkelt laagactiverende staalsoorten en keramische materialen die nodig zijn voor de constructie van ITER, alsook materialen die gebruikt zullen worden bij de productie van brandstof voor ITER. Deze materialen moeten bestand zijn tegen de hoge temperaturen die in een fusiereactor heersen.

Straling van mineralencollecties

Er komen honderden verschillende uranium- en thoriumhoudende mineralen voor in de natuur. In privéverzamelingen wordt regelmatig autuniet, torberniet en



uraniet aangetroffen. De hoeveelheid uranium of thorium in de collecties hangt af van de mineraalsoorten, de concentraties mineralen, de grootte van de stukken en van de omvang van de collectie. Andere voorbeelden van U- en Th-houdende mineralen zijn tantaliet en monaziet. Van dit laatste mineraal zijn er stukken die meer dan 30% thorium bevatten. Uranium en thorium zijn licht radioactieve elementen en door in de directe nabijheid van een mineralencollectie te verblijven of ermee te werken, wordt men blootgesteld aan een kleine hoeveelheid straling. De stralingsdosis die men oploopt wordt voornamelijk veroorzaakt door gammastraling en het inademen van radongas, een vervalproduct dat uit de mineralen ontsnapt.

NRG heeft een studie uitgevoerd waarbij 25 privé-verzamelaars waren betrokken. De gemiddelde radonconcentratie over een periode van 2 tot 3 maanden werd bepaald. De stralingsdosis is gemeten aan de buitenkant van ladekasten, vitrines en kabinetten waarin de verzamelaars hun mineralen tentoonstellen. Ook waren drie musea betrokken bij de studie. Behalve de radonconcentraties werd ook de gammastraling gemeten door enkele museummedewerkers van een dosimeter te voorzien.

De resultaten van dit onderzoek kunnen als volgt worden samengevat.

- Op basis van de tijden die privé-verzamelaars in nabijheid van hun collecties verblijven, kan geconcludeerd worden dat een privé verzamelaar een stralingsdosis tot 0,5 mSv per jaar kan oplopen, maar gemiddeld toch niet meer dan 0,04 mSv per jaar zal ontvangen. Mineralenverzamelaars ontvangen dus meer straling dan een gemiddelde Nederlander, maar blijven ruim onder de 1 mSv per jaar die de overheid als dosislimiet heeft voorgeschreven.
- Uit de metingen bij de musea kan worden afgeleid dat een gemiddelde bezoeker een stralingsdosis van ongeveer 0,01 mSv per bezoek ontvangt.

Medewerkers van het museum ontvangen een hogere dosis dan bezoekers omdat zij gedurende langere perioden aan de straling worden blootgesteld. Daarnaast hebben zij vaak toegang tot plaatsen in het museum waar de stralingsdoses en de radonwaarden hoger zijn, zoals in depots. Gebaseerd op een realistische verblijftijd van een medewerker in een museum

is een dosis van ongeveer 0,3 mSv berekend. In uitzonderlijke situaties is het verstandig specifieke aandacht te geven aan de stralingsbelasting van deze medewerkers.

Nucleaire technieken tegen olierampen

Het transport van grote hoeveelheden olie in enkelwandige schepen is niet van gevaar ontbloot. Veel schepen die in de Tweede Wereldoorlog getorpedeerd zijn, liggen met nog gevulde olietanks op de zeebodem. De toestand van deze schepen wordt steeds slechter, wat tot grote olierampen kan leiden. De Noorse overheid ontwikkelt daarom plannen om de olie te laten verwijderen uit de scheepswrakken die zich in de Noorse fjorden bevinden. Lichten van de wrakken is geen optie, de kans dat de schepen tijdens het optakelen breken is te groot. De olie kan onder water verwijderd worden door gespecialiseerde bedrijven, maar om deze actie succesvol te laten verlopen is het noodzakelijk om precies te weten in welke tanks zich olie bevindt en tot welk niveau.

Voor het meten van vloeistofniveaus in stalen vaten heeft Shell een meettechniek ontwikkeld die is gebaseerd op detectie van door de vloeistof gereflecteerde neutronen uit een kleine californium-252-bron. Deze techniek zou ook voor het detecteren van olie toegepast kunnen worden. Omdat neutronen sterk worden geremd door water, moet worden bepaald op welke wijze er onder water zinvolle metingen uitgevoerd kunnen worden. Alvorens dure experimentele opstellingen te bouwen, heeft Shell de hulp van NRG ingeroepen. NRG heeft uitgebreide ervaring met computersimulaties van nucleaire systemen en heeft ook in het verleden al verschillende simulaties voor Shell uitgevoerd. In nauwe samenwerking met Shell is er een gedetailleerd model ontwikkeld van zo'n californiumneutronenbron/detector-combinatie, die speciaal geschikt is voor het doen van onderwatermetingen. Uit de resultaten van de simulaties blijkt nu dat het mogelijk is om in zeewater te meten en om het scheidingsvlak tussen olie en water met voldoende nauwkeurigheid te bepalen, zelfs achter een scheepswand met een dikte van 15 mm. De meettechniek zal in de zomer van 2003 ingezet worden bij het leegpompen van wrakken in de Noorse wateren. NRG-expertise draagt op deze wijze bij aan het voorkomen van nieuwe olierampen.

De zogenoemde Oost-vallei op het ECN/NRG-terrein.

Sociaal en milieujaarverslag

Meer gegevens zijn beschikbaar in ECN Doc 7633, de uitgebreide versie van het Sociaal en Milieujaarverslag ECN 2002.

Vernieuwing RI&E

In 2002 is een vernieuwing en uitbreiding van de instructie bij binnenkomst gerealiseerd. Ook is de nadere inventarisatie uitgevoerd met betrekking tot het werken met kankerverwekkende en reproductietoxische stoffen. De beoordeling door de Arbodienst AMG heeft geen extra maatregelen opgeleverd.

Ten behoeve van de Open Dag heeft een extra beoordeling plaatsgevonden van de kindveiligheid van trappen en trappenhuizen. Naar aanleiding hiervan worden tijdens de Open Dagen maatregelen genomen. Structuurele maatregelen worden in 2003 overwogen.

Naar aanleiding van een inventarisatie van nooduitgan-

gen en noodverlichtingen worden in 2003 maatregelen genomen.

ECN heeft de gegevens met betrekking tot de gebruiksvergunningsaanvraag ontvangen. De definitieve aanvraag van de gebruiksvergunning zal begin 2003 worden ingediend.

Investeren in middelen

Als gevolg van het rookbeleid zijn bij alle gebouwen, aan de buitenzijde, rookplaatsen gecreëerd. Hierdoor moesten er tevens, uit brandveiligheidsoverwegingen in dit duingebied, extra maatregelen worden genomen. Voor opslag van gevaarlijke stoffen zijn speciale boven- en ondergrondse opslagplaatsen aangelegd.

Investeren in mensen

Instructie en opleiding blijft een belangrijk item, zie onderstaande tabel. Bij KVM-gerelateerde opleidingen is sprake van een begin van stabilisatie.

Opleidingsplan 2002

Hoofdthema	Aantal bezig	Aantal afgerond
Mondelinge communicatie	13	1
Schriftelijke communicatie	6	2
Taalvaardigheden	32	5
Persoonlijke effectiviteit	32	13
Management & Ondernemen	29	27
Personeel & Opleiding	1	1
Kwaliteit, Arbo & Milieu	39	152
Interne bedrijfsorganisatie	37	6
Marketing & Verkoop	12	2
Financiële bedrijfsadministratie	22	1
Computergebruik & Automatisering	122	37
Techniek & Onderhoud	59	41
Sector- & Branchespecificatie	30	118
Basisopleiding	154	11
Niet ingedeeld	1	
Totaal	589	417

Bijna-ongevalmeldingen

De kwaliteit van de meldingen was goed en maatregelen zijn genomen. Twee meldingen betroffen bijvoorbeeld elektrische risico's. In 2002 is gestart met een

instructie over deze elektrische risico's, wat ook effect heeft op de thuissituatie.

Jaar	Aantal meldingen	Meldingen Veiligheid & Gezondheid	Meldingen Milieu	Opmerkingen
1998	27	26	7	ECN + NRG
1999	43	41	16	ECN
2000	35	34	11	ECN
2001	35	32	7	ECN
2002	44	34	12	ECN



Lekker sociaal in een gezond milieu

Ongevallen

(verzuimongevallen van ECN exclusief de ongevallen van aannemers)

Jaar	Fte + stagiaires per 31-12-2002	Aantal ongevallen	Aantal verzuim-ongevallen	Index IF	Opmerkingen
1997	924,6	3	1	0,68	ECN + NRG
1998	950,6	3	1	0,66	ECN + NRG
1999	719,7	2	2	1,74	ECN
2000	746,5	6	1	0,84	ECN
2001	668,3	4	2	1,87	ECN
2002	625,0	6	2	2,00	ECN
Gemiddeld (rekenkundig)				1,30	
Index IF = het aantal verzuimongevallen $\times$ 1.000.000 / gewerkte uren (het aantal gewerkte uren = aantal fte $\times$ 1.600)					

Conclusie: de IF-factor ligt nog ruim boven de streefwaarde van 0,8. De ongevallen waren alle van betrekkelijk lichte aard. Zij betreffen bijvoorbeeld het stoten tegen een voorwerp (5 maal). De inspanningen om onder de IF-streefwaarde van 0,8 te komen zullen worden voortgezet.

Ziekteverzuim (excl NRG)

Jaar	Gemiddelde verzuim-frequentie	Gemiddelde verzuimduur	Incl. gravida	Excl. gravida	Percentage niet-verzuimers
1999	1,31	8,24	2,87	2,58	34,97
2000	1,30	9,25	3,40	3,11	39,26
2001	1,32	11,27	3,39	3,14	37,48
2002	1,38	9,42	3,75	3,32	36,98

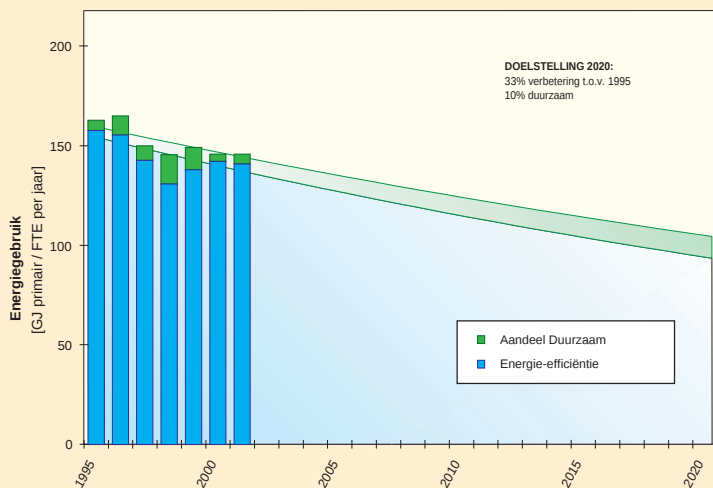
Milieurelevante externe ontwikkelingen

Er is een nieuwe Nederlandse emissierichtlijn in ontwikkeling die voor een aanzienlijke aanscherping van de emissies zal zorgen, maar daarmee ook problemen voor juist researchwerkzaamheden zal kunnen geven.

Milieuvergunning

In het kader van de afspraken in de vergunning op hoofdlijnen zijn twee mededelingen, via het verzenden van een TIP (Technisch Informatiepakket), aan het Bevoegd gezag gedaan betreffende het in gebruiknemen van twee test-installaties.

Energie-efficiëntie



Klimaatverandering

ECN hanteert als – ook in zijn milieuvergunning vastgelegde – lange-termijndoelstelling (Derde Energienota): 40% reductie van CO₂ in 2020 ten opzichte van 1995 door 10% duurzaam (het groene deel) en 33% verbetering (het blauwe deel in de figuren).

Bedrijfsinterne milieuzorg

In 2002 is de bedrijfsinterne milieuzorg gecontinueerd:

- Het nieuwe Kwaliteit-, Veiligheid- en Milieuplan voor de jaren 2002 tot 2005 is begin 2002 goedgekeurd door het Bevoegd Gezag Wm (de gemeente Zijpe).
- Voor een gebruikersvriendelijker werkwijze, ook om belangrijke zaken niet te vergeten, is in 2002 gestart met de ontwikkeling van een vereenvoudigd managementsysteem. Introductie volgt in 2003.

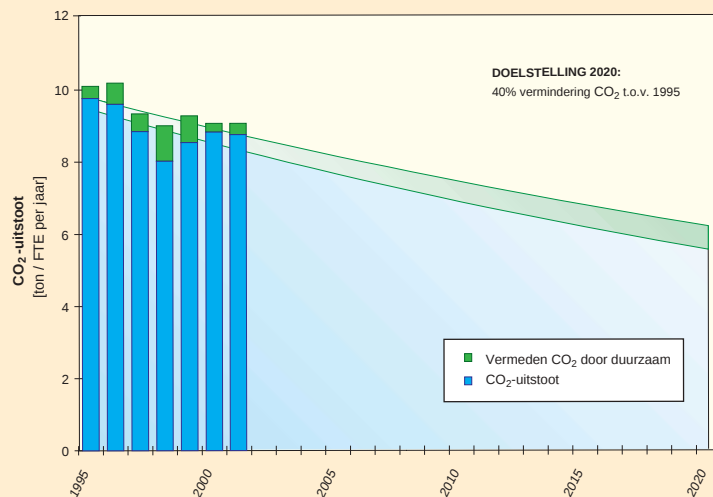
Overige aspecten

In 2002 is in het kader van het Besluit risico's zware ongevallen 1999 (BRZO 1999) een inspectie bij ECN uitgevoerd. De opmerkingen die naar aanleiding daarvan zijn gemaakt worden opgelost. Begin 2003 zal een hercontrole plaatsvinden.

Wat ging er mis in 2002?

Bij de halfjaarlijkse metingen van het afvalwater zijn emissies van sommige componenten nog te hoog. De genomen maatregelen hebben echter succes. Bij een controle op de herkeuringsdatum van gascilinders bleek een aantal van deze cilinders over deze datum heen te zijn. Hierop zijn deze cilinders zo snel mogelijk door de gasleverancier opgehaald.

CO₂-uitstoot per FTE



Toelichting: het prestatieniveau van ECN dreigt, na een aantal jaren waarin ECN ruimschoots voldeed aan de doelstellingen, nu licht uit de pas te gaan lopen met de doelstellingen. In de komende jaren zullen maatregelen worden genomen om de CO₂-uitstoot te verminderen en het aandeel duurzaam op te voeren.

Jaarrekening 2002

Jaarrekening 2002

Geconsolideerde balans per 31 december (in € x 1000)

Activa			Passiva		
	2002	2001		2002	2001
Vaste activa			Groepsvermogen		
Immateriële vaste activa	483	616	Eigen vermogen	10.702	10.702
Materiële vaste activa	32.155	34.545	Aandeel van derden	578	1.073
Financiële vaste activa:			Onverdeeld resultaat	-/- 8.058	
• Deelnemingen in kennisondernemingen	276	295		3.222	11.775
• Overige deelnemingen	519	858			
• Achtergestelde lening	18	18	Voorzieningen		
• Effecten	30.928	35.126	Voorziening FUT	2.588	3.425
• Overige vorderingen	5.549	6.248	Voorziening voor afvloeiingskosten	7.454	8.833
	69.928	77.706	Voorziening voor radioactief afval	38.720	41.913
			Overige voorzieningen	2.921	2.355
Vlottende activa				51.683	56.526
Onderhanden werk	14.838	13.822	Langlopende schulden	1.315	-
Vorderingen en overlopende activa	16.499	22.189			
Liquide middelen	0	4.049	Kortlopende schulden	45.045	49.465
	31.337	40.060			
Totaal	101.265	117.766	Totaal	101.265	117.766

Geconsolideerde resultatenrekening (in € x 1000)

	2002	2001
Bedrijfsopbrengsten		
Financiering en andere opbrengsten		
• Basis-, ENGINE-, Samenwerkings-financiering Staat der Nederlanden	33.838	30.951
• Opdrachten en overige financiering	61.773	61.133
• Toe-/afname onderhanden werk	1.016	-/- 1.573
	96.627	90.511
Geactiveerde productie voor eigen bedrijf	2.491	1.639
Opbrengsten uit licenties	98	228
Overige bedrijfsopbrengsten	1.123	1.167
	100.339	93.545
Bedrijfslasten		
Personeelskosten	57.313	61.643
Afschrijvingen	6.097	6.476
Overige bedrijfskosten	33.565	31.301
Incidentele personele lasten	8.628	-
	105.603	99.420
Bedrijfsresultaat	-/- 5.264	-/- 5.875
Resultaat uit deelnemingen	-/- 527	-/- 91
Financiële baten en lasten	-/- 2.758	-/- 1.864
Resultaat uit gewone bedrijfsuitoefening	-/- 8.549	-/- 7.830
Aandeel van derden in het resultaat	491	-/- 177
Resultaat	-/- 8.058	-/- 8.007

Geconsolideerd kasstroomoverzicht (in € x 1000)

	2002	2001
Beginsaldo liquide middelen	4.049	-/- 968
Kasstroom uit operationele activiteiten		
Bedrijfsresultaat	-/- 5.264	-/- 5.875
Afschrijvingen	6.097	6.476
Mutaties voorziening uitgezonderd rentedotatie en bijdrage EZ	-/- 4.843	144
	-/- 4.010	745
Mutatie werkkapitaal	-/- 1.992	9.477
	-/- 6.002	10.222
Ontvangen financiële baten en lasten	-/- 2.758	-/- 1.864
	-/- 8.760	8.358
Kasstroom uit investeringsactiviteiten		
Mutaties financiële vaste activa excl. deelneming	4.194	4.651
Mutatie deelnemingen	-/- 169	-/- 500
Mutaties immateriële vaste activa	-/- 73	205
Investerings materiële vaste activa	-/- 4.156	-/- 7.653
Desinvesteringen materiële vaste activa	655	939
	451	-/- 2.358
Kasstroom uit financieringsactiviteiten		
Mutatie langlopende schulden	1.315	-/- 983
Eindsaldo liquide middelen	-/- 2.945	4.049

Toelichting op de geconsolideerde jaarrekening

Algemeen

ECN is statutair gevestigd te Petten, gemeente Zijpe. Voor het doel van de stichting wordt verwezen naar de missie, omschreven in het jaarverslag.

Voor vergelijkingsdoeleinden is een aantal herclassificaties toegepast.

Grondslagen voor de consolidatie

De geconsolideerde jaarrekening, waarin alle belangrijke onderlinge vorderingen, schulden en transacties zijn geëlimineerd, omvat de jaarrekeningen van ECN, NRG v.o.f en NRG Personeel v.o.f. en Wind Energy Facilities BV (WEF) alle gevestigd te Petten, gemeente Zijpe. ECN neemt voor 70% en de KEMA voor 30% deel in van beide v.o.f.'s. Daarnaast is ECN voor 100% eigenaar van WEF.

Waarderingsgrondslagen van activa en passiva

De waardering van activa en passiva en de bepaling van het resultaat vinden plaats op basis van historische kosten. Tenzij bij het betreffende balanshoofd anders is vermeld, worden activa en passiva opgenomen tegen nominale waarde.

De immateriële vaste activa worden gewaardeerd tegen verkrijgingsprijs verminderd met de cumulatieve afschrijvingen. De afschrijvingen worden door middel van een percentage over de aanschaffingswaarde berekend.

De materiële vaste activa zijn gewaardeerd tegen verkrijgingsprijs of vervaardigingsprijs onder aftrek van toegepaste afschrijvingen. Het terrein is in 1957 van Staatsbosbeheer in erfpacht verkregen. De termijn van erfpacht is in 1996 verlengd van 2007 tot 2032.

De afschrijving geschiedt lineair, waarbij de volgende termijnen worden gehanteerd:

• Bedrijfsgebouwen	20 jaar
• Tijdelijke gebouwen en terreinvoorzieningen	10 jaar
• Bedrijfsinstallaties en -inrichting	10 jaar
• Instrumenten, machines enz.	5 jaar

• Goodwill	5 jaar
• Computerapparatuur en programmatuur	3 jaar
• Licenties	2-5 jaar

Deelnemingen in kennisondernemingen betreffen deelnemingen waarbij de door ECN ingebrachte, unieke expertise een kritische succesfactor vormt voor de oprichting en/of het voortbestaan van deze entiteit.

ECN kan invloed van betekenis uitoefenen met betrekking tot het zakelijke en financiële beleid van NRG en WEF. Derhalve worden deze deelnemingen gewaardeerd tegen de netto vermogenswaarde in de vennootschappelijke jaarrekening. De netto vermogenswaarde wordt berekend op basis van de door ECN gehanteerde grondslagen van waardering en resultaatbepaling.

De overige deelnemingen zijn opgenomen tegen aanschaffingswaarde of lagere marktwaarde.

De aandelenportefeuille wordt gewaardeerd tegen aanschafwaarde of lagere marktwaarde. De obligaties zijn gewaardeerd tegen aanschaffingswaarde, waarbij eventuele agio of disagio bij de aanschaf van effecten, verdeeld over de looptijd ten laste of ten gunste van het resultaat wordt gebracht.

Het onderhanden werk is gewaardeerd op basis van de daaraan bestede kosten onder aftrek van een voorziening voor te verwachten verliezen.

De voorzieningen FUT, afvloeiingskosten en radioactief afval zijn berekend op basis van contante waarde. De gebruikte disconteringsvoet bedraagt 5%.

Grondslagen voor de bepaling van het resultaat

Baten en lasten worden toegerekend aan het jaar waarop zij betrekking hebben, met uitzondering van EZS-gelden die in het jaar van ontvangst als opbrengst worden verantwoord en van bestellingen waarvan al kosten zijn verantwoord. Winsten worden slechts opgenomen voor zover zij op balansdatum zijn gerealiseerd. Verliezen en risico's die hun oorsprong vinden voor het einde van het verslagjaar worden in acht genomen indien zij voor het opmaken van de jaarrekening bekend zijn geworden.

Toelichting op de geconsolideerde balans (in € x 1000)

Vaste activa

Immateriële vaste activa

	Mutaties in 2002			
De specificatie van de immateriële vaste activa is als volgt:	Waarde per 31-12-2002	Investeren	Desinvesteren	Waarde per 31-12-2001
Goodwill				
Aanschafwaarde	1.099	73	-	1.026
Afschrijvingen	616	206	-	410
Boekwaarde	<u>483</u>	<u>-/- 133</u>	<u>-</u>	<u>616</u>
De goodwill heeft betrekking op de overname van TNO-CSD door dochtermaatschappij NRG				

Materiële vaste activa

	Mutaties in 2002			
De specificatie van de materiële vaste activa is als volgt:	Waarde per 31-12-2002	Investeren	Desinvesteren	Waarde per 31-12-2001
Bedrijfsgebouwen/terreinvoorzieningen				
Aanschafwaarde	35.327	998	406	34.735
Afschrijvingen	23.278	1.474	33	21.837
Boekwaarde	<u>12.049</u>	<u>-/- 476</u>	<u>373</u>	<u>12.898</u>
Bedrijfsinstallaties/inrichtingen				
Aanschafwaarde	38.498	121	1.649	40.026
Afschrijvingen	30.954	1.747	1.417	30.624
Boekwaarde	<u>7.544</u>	<u>-/- 1.626</u>	<u>232</u>	<u>9.402</u>
Instrumenten, machines e.d.				
Aanschafwaarde	40.720	1.070	262	39.912
Afschrijvingen	35.557	2.670	212	33.099
Boekwaarde	<u>5.163</u>	<u>-/- 1.600</u>	<u>50</u>	<u>6.813</u>
Vaste bedrijfsmiddelen in uitvoering				
Aanschafwaarde	<u>7.399</u>	<u>1.967</u>	-	<u>5.432</u>
Totaal				
Aanschafwaarde	121.944	4.156	2.317	120.105
Afschrijvingen	<u>89.789</u>	<u>5.891</u>	<u>1.662</u>	<u>85.560</u>
Boekwaarde	<u>32.155</u>	<u>-/- 1.735</u>	<u>655</u>	<u>34.545</u>

Financiële vaste activa

Deelnemingen in kennisondernemingen

	ECN-belang	2002	2001
• BCN BV	3,8%	0	0
• ENATEC BV	12,8%	244	245
• NEDSTACK Holding BV	10%	3	3
• SWEAT BV	33%	7	7
• INDEC BV	100%	0	18
• MAN SOLAR BV	100%	18	18
• ASTER INTELLECTUAL PROPERTIES BV	20%	4	4
Stand per 31 december		<u>276</u>	<u>295</u>

Overige deelnemingen

	ECN-belang	2002	2001
• DNC Nuclear Technology BV	100%	18	18
• COVRA NV	30%	0	0
• RTC Noord-Holland Noord BV	14%	123	227
• TIFAN BV	7%	10	227
• ECN-INTERNATIONAL BV	100%	18	18
• AWS BV	15,4%	71	71
• ENERSEARCH AB	25%	11	11
• RGS BV	100%	18	18
• SUNLAB BV	100%	18	18
• ECONCERN	2%	227	227
• HYDRORING BV	2%	0	0
• R3T	14%	5	5
• WEF BV	100%	0	18
Stand per 31 december		<u>519</u>	<u>858</u>

Achtergestelde lening

De in 2000 verstrekte achtergestelde lening aan Econcern is per 14 februari 2001 omgezet naar 3.000 certificaten van aandelen. In 2001 is een achtergestelde lening van k€ 18 verstrekt aan R3T BV.

Effecten

Het verloop van de portefeuille is als volgt:

Stand per 1 januari 2002		35.126
• Af: verkopen	-/- 2.269	
• Bij: aankopen	0	
• Bij: koersresultaten	-/- 1.929	
Stand per 31 december 2002		<u>-/- 4.198</u> <u>30.928</u>

De obligaties ter waarde van k€ 17.500 zijn verpand. De overige effecten staan ter vrije beschikking van ECN.

Obligaties

De obligatieportefeuille heeft een nominale waarde van k€ 31.773. De marktwaarde per ultimo 2002 bedraagt k€ 29.100.

Aandelen

De aandelenportefeuille wordt gewaardeerd tegen aanschafwaarde of lagere marktwaarde. De boekwaarde is gelijk aan de marktwaarde van k€ 3.154. De aanschafwaarde per ultimo 2002 bedraagt k€ 6.415.

Deposito's

Het deposito dat per 1 januari 2002 nog aanwezig was is per 1 juli 2002 geëxpireerd.

Overige vorderingen

Achtergestelde lening

Onder de overige vorderingen is opgenomen een aan Ultracentrifuge Nederland NV (UCN) verstrekte lening als vergoeding voor overgedragen kennis van het ultracentrifugeprocédé. In 2002 heeft UCN de lening in zijn geheel afgelost, de boekwaarde komt hiermee op 0.

Licenties

Onder de overige vorderingen is tevens opgenomen een licentie inzake microfiltratiemembranen.

Stand per 1 januari 2002		65
• Bij: aankopen	170	
• Af: afschrijving	-/- 99	
Stand per 31 december 2002		<u>71</u> <u>136</u>

Vlottende activa

Vorderingen en overlopende activa

De vorderingen zijn opgenomen voor de nominale bedragen onder aftrek van benodigde voorzieningen. Ze vervallen binnen 1 jaar en zijn als volgt gespecificeerd:

	2002	2001
Handelsdebiteuren:		
- debiteuren	13.608	19.591
- vorderingen	<u>1.382</u>	<u>6.816</u>
	14.990	26.407
Overige vorderingen en overlopende activa	1.509	581
Stand per 31 december	<u>16.499</u>	<u>26.988</u>

Voorzieningen

De voorzieningen hebben overwegend een lange-termijnkarakter met uitzondering van de voorziening SFN die kortlopend is.

Voorziening FUT

Deze voorziening is bestemd voor de kosten van de FUT-regeling. Het verloop van deze voorziening is als volgt:

Stand per 1 januari 2002	-/- 984	3.425
• Af: onttrekking	<u>147</u>	
• Bij: rentedotatie		-/- 837
Stand per 31 december 2002		<u>2.588</u>

Voorzieningen voor afvloeiingskosten

Deze voorziening is bestemd voor kosten als gevolg van de afvloeiing van personeel in verband met reorganisaties. Het verloop van deze voorziening is als volgt:

Stand per 1 januari 2002		8.833
• Af: onttrekking	-/- 1.776	
• Bij: rentedotatie	<u>397</u>	-/- 1.379
Stand per 31 december 2002		<u>7.454</u>

Voorzieningen voor radioactief afval

Deze voorziening is bestemd voor de kosten van toekomstige behandeling en opslag van radioactief afval. Het verloop van deze voorziening is als volgt:

Stand per 1 januari 2002		41.913
• Af: onttrekking	-/- 5.573	
• Bij: toevoeging	316	
• Bij: rentedotatie	<u>2.064</u>	
Stand per 31 december 2002		-/- 3.193 <u>38.720</u>

Met betrekking tot de huidige omvang van de voorziening bestaan per balansdatum nog onzekerheden. Er blijft verschil van inzicht bestaan tussen ECN en GCO over de verantwoordelijkheid voor 500 opgeslagen vaten en andere radioactieve delen. De berekening van de kosten voor behandeling en opslag van radioactief afval is gebaseerd op de huidige stand van de techniek. De in 2000 voorgenomen COVRA-aandelenoverdracht aan de Staat der Nederlanden heeft in 2002 inmiddels plaatsgevonden.

Overige voorzieningen

Onder de 'overige voorzieningen' worden opgenomen de voorziening Functioneel Leeftijdssontslag (FLO), de voorziening onderhoud gebouwen en de voorziening Stichting Flexibel Uittreden Nutsbedrijven (SFN).

	FLO	onder- houd	SFN	Totaal
Stand per 1 januari 2002	1.865	109	381	2.355
• Af: onttrekking	-/- 318	-/- 83	-	-/- 401
• Bij: toevoeging	340	465	44	849
• Bij: rentedotatie	98	-	20	118
Stand per 31 december 2002	<u>1.985</u>	<u>491</u>	<u>445</u>	<u>2.921</u>

Voorzieningen FLO

Continuïteitsmedewerkers kunnen vanaf een leeftijd van 57,5 jaar gebruikmaken van de regeling Functioneel Leeftijdssontslag (FLO).

Voorziening onderhoud gebouwen

De 'voorziening onderhoud gebouwen' heeft de functie de kosten van onderhoudswerkzaamheden aan gebouwen door de jaren heen te egaliseren.

Langlopende schulden

De langlopende schuld bestaat nu uit de NIB-kredietlening ten gunste van de CV Windturbine Testpark ad k€ 1.315.

De lening is verstrekt in het kader van een voorfinanciering. Per 1 mei 2003 wordt deze voorfinanciering omgezet in een definitieve lening. Het rentepercentage bedraagt 4,3%.

Kortlopende schulden

	2002	2001
Vooruitontvangen van derden	17.537	20.831
Crediteuren inzake leveringen en diensten van derden	10.490	11.931
Loonbelasting	819	1.320
Overige sociale lasten en personeelskosten	3.446	4.804
Omzetbelasting	-/- 141	255
Diverse schulden en overlopende passiva	9.949	10.324
Schulden aan kredietinstellingen	2.945	-
Stand per 31 december	<u>45.045</u>	<u>49.465</u>

ECN heeft een rekening-courantkrediet van k€ 15.000. Hiervan is per jaareinde k€ 2.945 gebruikt. Als zekerheden zijn gesteld: obligaties ter waarde van k€ 17.500.

Niet uit de balans blijvende verplichtingen

De Stichting heeft de volgende huurverplichtingen: het terrein is in 1957 van Staatsbosbeheer in erfpacht verkregen. De termijn van erfpacht is in 1996 verlengd van 2007 tot 2032. Voor 2002 is de canon gesteld op k€ 175.

Toelichting op de geconsolideerde resultatenrekening (in € x 1000)

Bedrijfsopbrengsten

Financiering en andere opbrengsten

	2002	2001
Basis- en ENGINE-financiering	15.877	15.304
Samenwerkingsfinanciering	17.916	15.647
	<u>33.838</u>	<u>30.951</u>
Opdrachten en overige financiering	61.773	61.133
Toe-/afname onderhanden werk	1.016	-/- 1.573
Overige bedrijfsopbrengsten	1.123	1.167
Opdrachten en overige financiering, toe-/afname onderhanden werk en overige bedrijfsopbrengsten	<u>63.912</u>	<u>60.727</u>

Specificatie van de bovengenoemde post naar branche-indeling is:

	2002	2001
Bedrijfsleven binnenland	22.633	23.432
Energiesector binnenland	2.084	2.568
Europese Commissie	10.017	7.949
Bedrijfsleven buitenland	10.921	10.237
Ministeries e.a.	6.105	5.244
Novem e.a.	12.152	11.297
Totaal	<u>63.912</u>	<u>60.727</u>

Geactiveerde productie voor eigen bedrijf

De 'geactiveerde productie voor eigen bedrijf' betreft de eigen bedrijfskosten inzake de door eigen personeel verrichte werkzaamheden en werkzaamheden verricht met behulp van eigen bedrijfsmiddelen die aan investeringen kunnen worden toegerekend of die ten laste van voorzieningen kunnen worden gebracht.

Bedrijfslasten

Personeelskosten

	2002	2001
Salarissen medewerkers met een dienstverband voor onbepaalde tijd	37.746	36.588
Kosten medewerkers in tijdelijke dienst en uitzendkrachten	5.693	6.020
Sociale lasten	5.750	7.056
Pensioenlasten	13.158	7.294
Overige personeelskosten	3.594	4.685
Totaal	<u>65.941</u>	<u>61.643</u>

De gemiddelde personeelsbezetting (in fte's) was:

	2002	2001
• Dienstverband onbepaalde tijd	777,5	783,8
• Dienstverband bepaalde tijd (incl. promovendi)	85,9	111,3
Totaal	<u>863,4</u>	<u>895,1</u>

Bovenvermelde bezetting in fte's is exclusief uitzendkrachten.

Afschrijvingen

	2002	2001
• Bedrijfsgebouwen, -installaties, -inrichting en terreinvoorzieningen	3.396	3.183
• Instrumenten en overige inventaris	2.495	3.088
• Goodwill	206	205
Totaal	<u>6.097</u>	<u>6.476</u>

Financiële baten en lasten

De specificatie van deze post is als volgt:

	2002	2001
Rentebaten	2.807	2.438
Rentelasten	3.812	3.387
	-/- 1.005	-/- 949
Overige financiële baten en lasten	-/- 1.753	-/- 915
Totaal	<u>-/- 2.758</u>	<u>-/- 1.864</u>

Onder de rentebaten zijn de lease-opbrengsten Molybdeen ad k€ 847 opgenomen.

Onder rentelasten zijn opgenomen de rentetoevoegingen aan de voorzieningen voor een bedrag van k€ 2.607 (k€ 2.737 in 2001) en de rente over de rekening-courant ad k€ 911.

De overige financiële baten en lasten bestaan voornamelijk uit de afwaardering van de effectenportefeuille ten bedrage van k€ 1.929.

Enkelvoudige balans per 31 december (in € x 1000)

Activa			Passiva		
	2002	2001		2002	2001
Vaste activa			Eigen vermogen	2.644	10.702
Materiële vaste activa	30.465	33.520			
Financiële vaste activa:					
• Deelnemingen in kennisondernemingen	276	295			
• Deelneming in groepsmaatschappijen	2.094	3.315			
• Overige deelnemingen	501	840			
• Achtergestelde leningen	18	18			
• Effecten	30.928	35.126	Voorzieningen		
• Overige vorderingen	5.549	6.248	Voorziening FUT	2.588	3.425
	69.831	79.362	Voorziening voor afvloeiingskosten	7.454	8.833
			Voorziening voor radioactief afval	38.406	40.163
			Overige voorzieningen	1.505	1.307
				49.953	53.728
Viottende activa					
Onderhanden werk	10.926	10.715			
Vordering op deelneming in NRG	2.907	7.449			
Handelsdebiteuren	9.823	18.035			
Voorziening oninbaarheid	-/- 1.243	-/- 1.623	Kortlopende schulden	41.274	50.478
Overige vorderingen	1.627	970			
	24.040	35.546			
Totaal	93.871	114.908	Totaal	93.871	114.908

Enkelvoudige resultatenrekening (in € x 1000)

	2002	2001
Bedrijfsopbrengsten		
Financiering en andere opbrengsten		
• Basis-, ENGINE- en Samenwerkings-		
financiering Staat der Nederlanden	25.192	22.540
• Opdrachten en overige financiering	30.767	33.558
• Toe-/afname onderhanden werk	61	-/- 3.885
• Omzet in deelneming NRG	7.182	8.278
	63.202	60.491
Geactiveerde productie voor eigen bedrijf	2.243	1.419
Opbrengsten uit licentie	98	228
Overige bedrijfsopbrengsten	1.122	1.167
	66.665	63.305
Bedrijfslasten		
Personeelskosten	37.616	42.811
Afschrijvingen	5.395	5.592
Overige bedrijfskosten	20.781	20.579
Inhuur deelneming	1.235	1.234
Incidentele personeelslasten	5.777	-
	70.804	70.216
Bedrijfsresultaat	-/- 4.139	-/- 6.911
Resultaat uit deelnemingen	-/- 871	1.215
Uitkomst financiële baten en lasten	-/- 3.048	-/- 2.311
Resultaat uit gewone bedrijfsuitoefening	-/- 8.058	-/- 8.007

Toelichting op de enkelvoudige jaarrekening (in € x 1000)

Waarderingsgrondslagen

De in de toelichting op de geconsolideerde jaarrekening opgenomen grondslagen zijn tevens van toepassing op de enkelvoudige jaarrekening.

Bestuurders en Commissarissen

De bezoldiging van bestuurders, inclusief pensioenlasten, bedraagt k€ 330.

De bezoldiging van de leden van de Raad van Toezicht bedraagt k€ 48.

Deelneming in groepsmaatschappij

De mutaties in de deelneming zijn als volgt:

Stand per 1 januari 2002	3.315
• Af: licence fee 2001 NRG	-/- 895
• Af: Aandeel in resultaat deelneming NRG	-/- 224
• Bij: Consolidatie WEF	18
• Af: Resultaat WEF	-/- 120
Stand per 31 december 2002	<u>2.094</u>

Eigen vermogen

	2002	Mutaties in 2002	2001
• Stichtingskapitaal	45	-	45
• Vermogen bestaande uit tot en met 1984 voornamelijk van de Staat der Nederlanden ontvangen investeringsbijdragen verminderd met afboekingen voor toegepaste afschrijvingen	17.562	-	17.562
• Resultaat vanaf boekjaar 1983	-/- 14.963	-/- 8.058	-/- 6.905
Stand per 31 december 2002	<u>2.644</u>	<u>-/- 8.058</u>	<u>10.702</u>

Overige gegevens

Gebeurtenissen na balansdatum

In het voorjaar van 2003 is een aandelenpakket i InDEC B.V. verkocht voor een bedrag van ke 300 aan een externe partij. Daarnaast is een put-optie bedongen om het resterende aandelenpakket te verkopen aan deze partij.

Deze optie heeft een looptijd tot 1 januari 2007 en levert bij uitoefening ruim k€ 3.000 op.

Petten, 26 maart 2003

Prof.dr. J.C. Terlouw
Voorzitter Raad van Toezicht

Drs. P. Wilson
Directievoorzitter tot 1 maart 2003

Ir. W. Schatborn
Directeur tot 1 maart 2003

Dr. A.B.M. Hoff
Directievoorzitter vanaf 1 maart 2003

Accountantsverklaring

Opdracht

Wij hebben de in dit rapport opgenomen jaarrekening 2002 van Stichting Energieonderzoek Centrum Nederland te Petten gecontroleerd. De jaarrekening is opgesteld onder verantwoordelijkheid van de leiding van de stichting. Het is onze verantwoordelijkheid een accountantsverklaring inzake de jaarrekening te verstrekken.

Werkzaamheden

Onze controle is verricht overeenkomstig in Nederland algemeen aanvaarde richtlijnen met betrekking tot controleopdrachten. Volgens deze richtlijnen dient onze controle zodanig te worden gepland en uitgevoerd, dat een redelijke mate van zekerheid wordt verkregen dat de jaarrekening geen onjuistheden van materieel belang bevat. Een controle omvat onder meer een onderzoek door middel van deelwaarnemingen van informatie ter onderbouwing van de bedragen en de toelichtingen in de jaarrekening. Tevens omvat een

controle een beoordeling van de grondslagen voor financiële verslaggeving die bij het opmaken van de jaarrekening zijn toegepast en van belangrijke schattingen die de leiding van de stichting daarbij heeft gemaakt, alsmede een evaluatie van het algehele beeld van de jaarrekening. Wij zijn van mening dat onze controle een deugdelijke grondslag vormt voor ons oordeel.

Oordeel

Wij zijn van mening dat de jaarrekening een getrouw beeld geeft van de grootte en de samenstelling van het vermogen op 31 december 2002 en van het resultaat over 2002 in overeenstemming met in Nederland algemeen aanvaarde grondslagen voor financiële verslaggeving.

Amsterdam, 26 maart 2003

Deloitte & Touche Accountants

Leden Raad van Toezicht, Adviesraden en Management

Raad van Toezicht

Prof.dr. J.C. Terlouw, voorzitter
H.A.D. van den Boogaard
Ir. L.M. van Halderen, NV NUON
Drs. P.A. Scholten, NV Nederlandse Gasunie
Prof.dr. W.C. Turkenburg, Universiteit Utrecht
Ir. A. van der Velden

Programma Advies Raad

Drs. R. Boeree, Novem
Ir. J. W.M. Bongers, EPZ
Dr. P.A. Boot, EZ ESV
Prof.ir. J.P. van Buijtenen, TU-Delft
Drs. B.J.M. Hanssen, Algemene Energieraad
Dr.ir. G.E.H. Joosten, Nederlandse Gasunie NV
Ir. G.R. Küpers, SDE
Mr.drs. P.W. Kwant, Shell International BV
W.J. Lenstra, VROM
Dr.ir. B. Metz, RIVM
Mw. drs. M. Quené, NUON ID
Prof.dr. J. Schoonman, TU-Delft
Prof.dr.ir. W.P.M. van Swaaij, Universiteit Twente
Mr.drs. A.A.H. Teunissen, ministerie van EZ
Ir. J.J. Veenema
Prof.dr. H. Verbruggen, Vrije Universiteit
Dr. G.J. Zijlstra, PVE
Ir. P.A.M. van Luyt, Novem
Drs. J.W. Weehuizen, ministerie van EZ
Prof.dr. J.H.W. de Wit, TNO

Industrieel Advies College

Ir. J.A. Dekker, TNO
Ir. H.G. Dijkgraaf, Shell Nederland BV
Ir. J.G. Dopper, DSM NV
Ir. H.A. Droog, Essent Energie Productie BV
Drs. L. Knecht, ENECO
Ir. D. Kooman, NUON Duurzaam International
B.J. Krouwel, Rabobank Nederland
Ir. R.M.J. van der Meer, Akzo Nobel NV
Drs. I.L.G. van Melle
Ir. J.P. Oosterveld, Philips Electronics
Ir. R.Th. Overakker, Siemens Nederland NV
Dr.ir. A.W. Veenman, NS
Ir. A. van der Velden
Drs. G.H.B. Verberg, Nederlandse Gasunie NV
S.S. Vollebregt, Stork NV

Externe beoordelingscommissies

• Beleidsstudies

Drs. H.E. Brouwer, voorzitter, ministerie van EZ
Ing. F. de Groot, VNO-NCW

Drs. B.J.M. Hanssen, Algemene Energieraad
Dr. J.T.N. Kimman, Novem
Ir. E.J. Postmus, Nederlandse Gasunie NV
Drs. R. Swart, RIVM
F. Vlieg, ministerie van VROM (per najaar 2002)
W.J. Lenstra, ministerie van VROM (tot najaar 2002)
Drs. F. Nielen, Novem (tot najaar 2002)
Ir. M.P.H. Korten, VNO-NCW

• Energie Efficiency in de Industrie

Dr.ir. W.J.W. Bakker, Akzo Nobel Chemicals BV
(per 31-10-2002)
Ir. J.S. Feenstra, Akzo Nobel Energy BV
Ir. A.G. de Jong, Corus
Ir. B.Ph. ter Meulen, MolaTech BV
Ir. W.C. Nuijen, Novem
Ir. E.J. Postmus, Nederlandse Gasunie Trading & Supply
Ir. J.W.M. van Rijnsoever, Antheus Magnesium
Mw. ir. T. de Vries, ministerie van EZ

• Zonne-energie

Prof.dr. P.W.M. Blom, RUG (per medio 2002)
Dr. J. Daey Ouwens, Novem (per medio 2002)
Ing. W. van der Heul, ministerie van EZ
Ir. G.J. Jongerden, Akzo Nobel
Ir. E.H. Lysen, voorzitter, Utrecht Centrum voor
Energieonderzoek
Dr. A. Goossens, TU-Delft
Drs. B. Wiersma, Sunergy
Ir. E.E. Vlaswinkel, NUON (tot medio 2002)
Prof.dr.ir. R.J.C. van Zolingen, Shell Solar Energy BV
Dr. F.M. Witte, Novem (tot medio 2002)

• Duurzame Energie in de Gebouwde Omgeving

Ir. W.C.T. Berns, Novem
Ir. H.G. de Brabander, ministerie van EZ
(tot 1-11-2002)
Ir. H.J.M. van Hout, Algemene Associatie van
Energieconsulenten
P. Juffermans, NUON International/Duurzame Energie
Ir. P.C. Kamp (tot 1-11-2002)
Ir. A. Koedam, AEDES (tot 1-11-2002)
Mw. ir. B.M.L.D. Reinier, BNA
Drs.ing. A. Schuurs, Bouwned (tot 1-11-2002)
Prof.dr. ir. R.J.C. van Zolingen, Shell Solar Energy
(per 1-11-2002)
Ir. C. Zijdeveld, voorzitter
Ir. E.E. Vlaswinkel, NUON International/
Duurzame Energie

• Windenergie

Ir. G.F. Bakema, Essent
Drs. H.W. Boomsma, ministerie van EZ
Ir. A. van der Giessen, FME Groep Windenergie

Ir. W. Kuik, Stentec BV
Prof.dr.ir. G.A.M. van Kuik, TU-Delft
Ing. H. Lagerweij, Lagerweij the Windmaster
Ir. E. Luken, Novem
Ir. J. Olthoff, NUON International
Ir. F.J. Verheij, KEMA
Ing. C.J.A. Versteegh, Garrad Hassan & Partners
Ir. R. Roelofs, FME, p/a NGUP Holding BV
Drs. H.P.G.M. den Rooijen, Shell Renewables

• **Biomassa**

Ir. A.J.P.M. Atteveld, Essent
Ing. J.A. Bouman, NV Afvalzorg
Prof.ir. J.P. van Buijtenen
Drs. G.J. van Dijk, ministerie van EZ
W.F. Hendrikse, BioMass Nederland BV
(tot 1-12-2002)
Prof.ir. E.J. van Heugten, Haskoning
Dr.ir. F.P.J.M. Kerkhof, Jacobs Engineering Nederland
Dr.ing. J. Klimstra, Wärtsilä NSD Nederland
Ir. K.W. Kwant, Novem
Ir. G.L. Nieuwendijk, NV Huisvuilcentrale NH
Dr.ir. L. Petrus, Shell Global Solutions
(per 1-12-2002)
Ir. E.J. Postmus, Nederlandse Gasunie NV
A. Schoonwater MSc, NUON
Ing. J.W.L. Spiegelers, ministerie van VROM
Prof.dr.ir. M. Wolters, Gastec NV
Dr. W.Th.M. Wolters, Electrabel Nederland NV

• **Schoon Fossiel**

Ir. L. van Asperen, min. van Verkeer en Waterstaat
Prof.dr. K. Blok, Ecofys
Dr.ir. L.J.M.J. Blomen, Blomenco BV
Ir. A. Brouwer, Novem
Dr. G.H.M. Calis, DSM
Drs. B.C.W. van Engelenburg, VROM
W.J.T. van Gemert, Gasunie
Dr.ir. M.J. Groeneveld, Shell International
Exploration and Production
Ir. U.Ph. Lely, ESSENT Netwerk Noord
Drs. M.W.M. van der Linde, ENECO Energy Systems
Development
E. Middelma, NedStack
Ir. E.A.M. de Nie
Drs. J. Noordhoek, ministerie van Economische Zaken
Dr.ir. G.J. Schaeffer, ECN Beleidsstudies
B. Stuy, Novem
H. van Wechem, Shell Global Solutions
Dr.ir. F. van Overbeke, EMforce
Dr.ir. A.H.M. Kipperman
Dr. J. Kortbeek, FMLC

• **Milieu-onderzoek**

F. Bekhuis, Dienst Milieu en Water, prov. Gelderland
Dr. R. Boers, KNMI
Prof.dr. P.J.H. Builtjes, TNO-MEP
Ir. G.J. Heij, RIVM
Prof.ir. E.J. van Heugten, HASKONING

Prof.dr. L. Hordijk, Wageningen Universiteit
Ir. M. Koeleman, min. van Verkeer en Waterstaat
B. Krom, Afvalzorg
Dr. K.R. Krijgsheld, ministerie van VROM
Dr.ir. G.J. Monteny, IMAG
E. de Vries, Alterra
Ir. R. Ybema, ECN Beleidsstudies
W. Zijlstra, VNO/NCW
Ir. A.A. Jongebreur, IMAG
Dr. A.P.M. Baede
Ir. W. Ruijgrok, KEMA
Ing. M.M. Allesie, ministerie van VROM
P.A.J. Thomassen, ESSO Benelux
Ing. A.J. Dragt, DHV

• **Nucleair Onderzoek**

Ir. M. van der Borst, EPZ
Dr. H.D.K. Codée, COVRA NV
Prof.dr.ir. T.H.J.J. van der Hagen, IRI
Ir. M.H. Knaap, Kernfysische Dienst VROM
Ir. G.R. Kuipers
Mw. mr. A. van Limbogh, ministerie van VROM
Ir. P.H.M. te Riele, voorzitter, Urenco Nederland BV
Mw. dr.ir. A.M.C. van Rijn, ministerie van EZ
Ir. G.C. van Uitert, ministerie van EZ
Ir. J.J. Veenema
Prof.dr.ir. A.H.M. Verkooijen, IRI

ECN Management

(situatie per 1 april 2003)

• **Directie**

Dr. A.B.M. Hoff, voorzitter
Dr. C.A.M. van der Klein
Prof.dr. W.C. Sinke

• **Manager Programma Units**

Ir. P.T. Alderliesten, Energie Efficiency in de Industrie
Ir. H.J.M. Beurskens, Windenergie
Dr. J.J.C. Bruggink, Beleidsstudies
Dr. F.A. de Bruijn, Brandstofceltechnologie
Dr.ing. J.W. Erismann, Schoon Fossiel
Mr. G.P.J. den Hartogh MFM, Facilitaire Dienst
Mw.ir. M.C.C. Lafleur, Duurzame Energie in de
Gebouwde Omgeving
Ir. J.J. Saurwalt, Technologische Services en
Consultancy
Prof.dr. H.J. Veringa, Biomassa
Dr. G.P. Wyers, Zonne-energie

• **Staf**

J.M. Bais, Marketing en Innovatie
Ir. G. Peppink, programmacoördinator
Dr.ing. J. Pij, directiesecretaris
Drs. J.A.G. Stallinga RA, Financiën
Dr. H. Willems, Kennisagentschap
Ir. J.A.P.C.H. Simons, Personeel en Organisatie



De Open Dag viel in 2002 op 19 oktober en trok ondanks enkele regenbuien 1.956 bezoekers. Het evenement werd weer georganiseerd in samenwerking met de terreinpartners GCO en Tyco, en in het kader van de nationale Wetenschap & Techniek Week van stichting Weten.

Colofon

Publicatienummer	ECN-P-03-001
Coördinatie en eindredactie	Jan Heijn, BetaText ECN Kennisagentschap
Vormgeving & figuren	Onno Bos (Publicatie Services ECN)
Druk	Anton Deutekom (Publicatie Services ECN)
Foto's	Aris Homan (Publicatie Services ECN) Jos Beurskens (ECN Windenergie) Marine Structures Consultants MSC Schiedam

ECN

Westerduinweg 3

Postbus 1

1755 ZG Petten

telefoon: (0224) 56 49 49

fax: (0224) 56 44 80

corp@ecn.nl

www.ecn.nl