

ENERGIETRANSITIE RICHTING DUURZAAMHEID: HET TECHNOLOGISCH PERSPECTIEF

**Achtergrondstudie bij het advies 'Energietransitie: klimaat voor
nieuwe kansen' van de VROM-raad en de Algemene Energieraad**

door:

Wim C. Turkenburg

**VROM-raad en Energieraad, Den Haag
Copernicus Instituut, Universiteit Utrecht
w.c.turkenburg@chem.uu.nl**

Den Haag / Utrecht, November 2004

Met dank aan ECN (Marijke Menkveld en Jos Bruggink), Ecofys (Jeroen de Beer en Kornelis Blok) en TU Eindhoven (Geert Verbong) voor achtergrondstudies waarvan in deze notitie ruim gebruik is gemaakt.

Tevens dank aan Piet Broekharst (Energieraad) en aan de leden van de Werkgroep Energietransitie van VROM-raad en Energieraad voor bijdragen, commentaar en suggesties.



VROMraad



ENERGIERAAD



**Copernicus Instituut
Universiteit Utrecht**

INHOUDSOPGAVE

1. INLEIDING

2. VERNIEUWING VAN DE ENERGIETECHNIEK DOOR ONDERZOEK, ONTWIKKELING EN DEMONSTRATIE (RD&D), MARKTINTRODUCTIE EN MARKTTOEPASSING

- 2.1. Financiering van, en prioriteiten in het energieonderzoek
- 2.2. Uitgaven voor marktintroductie en markttoepassing
- 2.3. Functies en succes van het energieonderzoek
- 2.4. Selecteren in het energieonderzoek: selectiecriteria
- 2.5. Overzicht technologische opties die besproken worden

3. NIEUWE TECHNIEKEN VOOR ELEKTRICITEITSPRODUCTIE

- 3.1. Verbeterde technieken voor elektriciteitsproductie uit gas en kolen
- 3.2. CO₂ afvang en –opslag (CCS)
- 3.3. Elektriciteit uit kernenergie
- 3.4. Elektriciteit uit zonnecellen
- 3.5. Elektriciteit uit windenergie
- 3.6. Elektriciteit uit biomassa

4. GASVORMIGE BRANDSTOFFEN

- 4.1. Productie en gebruik van waterstof
- 4.2. Andere gasvormige brandstoffen

5. VLOEIBARE BRANDSTOFFEN UIT BIOMASSA

6. NIEUWERE VORMEN VAN WARMTEOPWEKKING

7. ENERGIEBESPARING

- 7.1. Energiegebruik en verbetering van de energie-efficiency in Nederland
- 7.2. Energiebesparing in de industrie
- 7.3. Energiebesparing in de gebouwde omgeving
- 7.4. Energiebesparing in transport en vervoer
- 7.5. Energiebesparing door een ander of efficiënter materiaalgebruik
- 7.6. Resumerend over energiebesparing

8. RIVALISERENDE TOEKOMSTPERSPECTIEVEN

9. REFLECTIES OP ENERGIEONDERZOEK- EN ENERGIETRANSITIEBELEID

- 9.1. Trends en inzichten die voor het innovatiebeleid van belang zijn
- 9.2. Reflecties op de ontwikkeling van een nieuwe energieonderzoekstrategie (EOS) en van nieuwe energieonderzoekprogramma's
- 9.3. Reflecties op het energietransitiebeleid van EZ

10. SAMENVATTING CONCLUSIES

Referenties

1. INLEIDING

Om een energiesysteem te krijgen dat volop bijdraagt aan het realiseren van een duurzame ontwikkeling van de samenleving, is een energietransitie nodig. Deze transitie is alleen te realiseren als ze samengaat met technologische vernieuwing. In deze achtergrondstudie gaan we in de hoofdstukken 3 t/m 8 na wat verwacht mag worden van vernieuwing van de energietechniek en de toekomstige rol van nieuwe energiebronnen en energietechnieken in de energievoorziening. Belangrijke informatiebronnen hierbij zijn een twee ECN studies [Menkveld, 2004; Bruggink, 2004] en een studie van Ecofys [Ecofys, 2004] die in opdracht van VROM-raad en Energieraad zijn uitgevoerd.

Vooraf beschrijven we in hoofdstuk 2 de stand van zaken wat betreft financiering van energieonderzoek en ontwikkelingen daarin in de afgelopen dertig jaar. Ook gaan we na waaraan het geld voor onderzoek en ontwikkeling de afgelopen jaren is besteed. Vervolgens bespreken we functies en succes van ons energieonderzoek (lees RD&D: research, development and demonstration) en redenen waarom het vermarkten van onze kennis sterk te wensen over laat. Een van die redenen lijkt versnippering van de aandacht voor de ontwikkeling van energietechnologie over vele opties te zijn. Daarom gaan we na hoe we tot selectie kunnen komen in het beleid dat op onderzoek, ontwikkeling, demonstratie en marktintroductie is gericht. Bij dit gedeelte is een belangrijke informatiebron de achtergrondstudie die in opdracht van VROM-raad en Energieraad door Verbong (TU Eindhoven) is uitgevoerd [Verbong, 2004].

De notitie wordt in hoofdstuk 9 toegespitst op de ontwikkeling van een nieuwe energieonderzoekstrategie en van nieuwe energieonderzoekprogramma's in ons land en van een energietransitieaanpak door het ministerie van Economische Zaken. Beide beleidsterreinen moeten leiden tot innovaties richting duurzaamheid. Welk beleid de overheid het best kan voeren hangt mede af van een aantal trends en van inzichten die de laatste decennia zijn ontwikkeld; daarom worden deze eerst geschetst. Vervolgens worden recente ontwikkelingen in het energieonderzoek- en het energietransitiebeleid van Nederland kort beschreven en van commentaar voorzien. Daarbij richten we onze aandacht vooral op het beleid dat door het Ministerie van Economische Zaken wordt ontwikkeld.

In hoofdstuk 10 worden de inzichten en conclusies van deze notitie samengevat.

2. VERNIEUWING VAN DE ENERGIETECHNIEK DOOR ONDERZOEK, ONTWIKKELING EN DEMONSTRATIE (RD&D), MARKTINTRODUCTIE EN MARKTTOEPASSING

2.1. Financiering van, en prioriteiten in het energieonderzoek

Vernieuwing van energietechniek vergt onderzoek, ontwikkeling en demonstratie. Daar is geld voor nodig. In tabel 1 staat aangegeven hoeveel geld er in 1998 door de overheid aan energieonderzoek – meer algemeen: RD&D (Research, Development and Demonstration) - is besteed in Nederland, in alle EU landen tezamen (EU-15) en in alle OECD landen tezamen¹. Ook laat de tabel zien waaraan het geld is besteed.

Hoe verhouden de uitgaven in Nederland zich tot wat elders gebeurt?

Uit de tabel kunnen we concluderen dat – vergeleken met andere landen - de Nederlandse overheid belangrijk bijdraagt aan het energieonderzoek. In 1998 was dat 150 mln. dollar, gelijk aan ca. 2% van het energieonderzoek wereldwijd en ruim 9% van het energieonderzoek in de EU-15. Ter vergelijking: 0,75% van de mondiale energieconsumptie vindt in Nederland plaats.

Uit de tabel blijkt ook dat ons land relatief veel geld aan onderzoek op het gebied van hernieuwbare energiebronnen besteedt. In 1998 was ons aandeel wereldwijd ruim 6% en binnen de EU-15 ruim 17%. De meeste aandacht kreeg hierbij zon PV (zonnecellen). Nederland besteedt thans relatief weinig geld aan onderzoek naar kernsplijting.

*Hoe ontwikkelden de uitgaven voor energieonderzoek zich in de afgelopen 30 jaar?*²

De mondiale uitgaven voor energieonderzoek bedroegen in 1975 ca. 7,5 miljard dollar. Tussen 1975 en 1980 steeg dit naar 15 miljard dollar. Daarna is het gestaag afgenomen. In 1998 zaten we weer op het niveau van 1975 (zie: Turkenburg, 2002; WEA, 2004). Omdat intussen de economie sterk is gegroeid, is procentueel het aandeel van energieonderzoek in het totaal van de overheidsuitgaven tussen 1975 en nu ruwweg gehalveerd. Energieonderzoek staat voor de meeste landen dus niet meer hoog op de beleidsagenda. Echter, met name Japan is hierop een uitzondering.

De uitgaven van de Nederlandse overheid voor RD&D op het gebied van energie schommelen al sinds 1977 rond het niveau van 140-150 mln. dollar per jaar, met een piek in het begin van de jaren tachtig (als gevolg van de oliecrises van 1973 en 1979), een dip in de tweede helft van de jaren tachtig (onder invloed van de sterke daling van de energieprijzen in die periode) en een weer piek in de eerste helft van de jaren negentig (door de opkomst van het vraagstuk van klimaatverandering en de wens CO₂ emissies terug te dringen, wat leidde tot een hernieuwde belangstelling voor met name energiebesparing). In absolute termen zijn de uitgaven voor energieonderzoek dus min of meer constant gebleven. Als percentage van het BBP is het belangrijk minder geworden.

¹ Dit is vrijwel gelijk aan de hoeveelheid geld die door overheden wereldwijd aan energieonderzoek (RD&D) wordt uitgegeven.

² Ontleend aan Verbong (2004). Hierbij 1 euro = 1 dollar aangenomen.

Tabel 1: Overheidsuitgaven aan energieonderzoek (RD&D) in 1998, in mln. US\$ (dollars 2002). Gegevens ontleend aan: <http://library.iea.org/rdd> (IEA, maart 2004).

	Nederland [mln. \$]	EU-15 * [mln. \$]	OECD [mln. \$]
Energiebesparing	61.168	221.806	1.133.948
- industrie	34.388	97.737	587.126
- gebouwde omgev.	12.006	57.541	212.837
- transport	11.710	42.919	281.095
Fossiele brandstoffen	10.227	61.083	565.437
- olie en gas	8.251	48.371	282.105
- kolen	1.976	12.712	283.333
Hernieuwbare energiebronnen	40.317	231.065	652.011
- zon PV	21.295	80.774	237.097
- zon thermisch	1.334	20.117	30.836
- windenergie	6.868	55.957	95.400
- biomassa	10.128	56.833	172.757
- aardwarmte	0.593	5.948	65.466
- waterkracht	0	1.979	8.874
Kernenergie	11.561	863.135	3.589.764
- kernsplijting	4.100	592.057	2.837.623
- kernfusie	7.461	271.088	752.139
Elektr. vermogen en opslag	12.106	83.933	360.237
Overig	14.082	115.907	1.112.017
Totaal	149.461	1.576.926	7.413.413

*) Exclusief bestedingen door de Europese Commissie

Waarom wordt het onderzoeksgeld in Nederland besteed?

Ten opzichte van de jaren zeventig is er een duidelijke verschuiving in belangstelling voor bepaalde opties zichtbaar. Kernenergie was tot medio jaren tachtig in Nederland het belangrijkste onderzoeksveld. Vanaf 1988 is energiebesparing de grootste categorie. Opvallend in de jaren tachtig is ook het kolenonderzoek. De omvang van het onderzoek naar hernieuwbare energiebronnen is sinds die tijd eveneens sterk toegenomen. Langere tijd is in deze categorie het meeste geld naar windenergie gegaan, maar in de jaren negentig zijn de bestedingen voor biomassa en vooral zon-PV (zonnecellen) belangrijk toegenomen. Eind jaren negentig kreeg zon-PV zelfs het meeste geld (zie tabel 1). Meer recent zien we in de categorie 'hernieuwbare energie' een verschuiving in beleidsprioriteit naar biomassa en wind-offshore. Een optie als het afvangen en opslaan van CO₂ krijgt (nog) weinig aandacht.

In 1975 ging nog 84% van het onderzoeksbudget naar kernenergie (EZ, 2001). In 1999 was de verdeling: energiebesparing 37%, hernieuwbare energie 29%, kernenergie 10%,

fossiele brandstoffen 7% en al het overige energieonderzoek 17%. In 2002 waren de onderzoeksmiddelen als volgt verdeeld: energiebesparing 30%, hernieuwbare energie 31%, kernenergie 13%, fossiele brandstoffen 13% en al het overige energieonderzoek 13%.

Ruim 60% van het energieonderzoek in Nederland werd in 1999 door het Ministerie van Economische Zaken gefinancierd. Belangrijke financiers zijn ook het Ministerie van OC&W (in 1999 ruim 20%) en de EU (ruim 10%). Daarnaast komt er financiering van VROM, LNV, V&W en Defensie (EZ, 2001).

*Wat was de inspanning van de Nederlandse industrie in deze periode?*³

De industrie besteedde in de periode 1977-1981 ongeveer evenveel aan energie RD&D als de overheid. In 1981 liepen de uitgaven van de industrie op tot meer dan 240 mln. dollar. Hiervan namen de uitgaven voor onderzoek en ontwikkeling in de olie- en gassector bijna de helft voor hun rekening, terwijl aan onderzoek naar steenkoolgebruik en naar energiebesparing elk tegen de 45 mln. dollar werd besteed. Ook zijn in de jaren tachtig nog behoorlijke bedragen voor onder meer de toepassing van kernenergie uitgegeven. Over de hele periode 1977-2004 liggen de uitgaven van de industrie ruwweg op een vergelijkbaar of iets hoger peil dan de uitgaven door de overheid. Meer recent zijn de uitgaven aan energieonderzoek in met name de elektriciteitssector, onder invloed van de liberalisering en privatisering van deze sector, sterk gedaald. Ook het verdwijnen van industrie die energieapparaten maakt, draagt aan deze tendens bij.

2.2. Uitgaven voor marktintroductie en markttoepassing.

Hoeveel geld besteden overheden aan marktintroductie en markttoepassing van nieuwe energietechnieken?

Zowel mondiaal, regionaal als nationaal besteden overheden aan de marktintroductie en markttoepassing van nieuwe energietechnieken veel geld. Precieze gegevens hierover zijn echter nauwelijks beschikbaar. Voor Nederland is echter wel een beeld te schetsen. Volgens eigen analyses werd in Nederland op energiegebied in 2002 door de Rijksoverheid in totaal circa € 146 miljoen uitgegeven aan onderzoek en ontwikkeling, circa € 80 miljoen aan demonstratie en marktintroductie en circa € 1250 miljoen aan markttoepassing van energieopties. Het totaal aan overheidsmiddelen voor vernieuwing van onze energiehuishouding bedroeg in dat jaar ongeveer € 1500 miljoen⁴. In 2005 zal het totaalbedrag volgens de begroting zijn verlaagd tot € 850 miljoen. De teruggang in uitgaven is volledig het resultaat van een verlaging van de investeringssubsidies van € 1250 miljoen in 2002 naar € 600 miljoen in 2005, waarbij door rationalisatie het stimulerings-effect overigens veel minder daalt. In tabel 2 worden de getallen toegelicht.

Thans is onduidelijk wat een optimale verdeling van middelen over de posten 'onderzoek en ontwikkeling', 'demonstratie en marktintroductie' en 'markttoepassing' is. Dit zal per

³ Zie Verbong (2004).

⁴ Dit zijn ruwe getallen. Een helder overzicht bestaat niet. Een periodieke en (meer) gestroomlijnde rapportage van de energiegelieerde uitgaven van alle departementen tezamen zou deze opstelling kunnen verbeteren en verfijnen.

optie verschillen. Wel lijken gemiddeld genomen de uitgaven voor 'demonstratie en marktintroductie' aan de lage kant vergeleken met de uitgaven voor 'onderzoek en ontwikkeling' en voor 'marktintroductie'.

Tabel 2: Overzicht energiebudget Rijksoverheid in 2002 en 2005 (in miljoen Euro), exclusief apparaatskosten

Onderzoek en Ontwikkeling		2002 (realisatie)	2005 (begroot)
1	EZ bijdrage ECN	36	31
2	EZ/DGE onderzoek	40	33
3	Overig onderzoek ¹⁾	40	45
4	WBSO-energie	30	33
Totaal		146	142

Demonstratie en marktintroductie		2002 (realisatie)	2005 (begroot)
1	EZ programma's	23	23
2	EZ transitie	-	20
3	Overige departementen ²⁾	33	34
4	Demonstratie	24	28
Totaal		80	105

Markttoepassing		2002 (realisatie)	2005 (begroot)
1	Subsidieregelingen energiebesparing ³⁾	180	20
2	Fiscale regelingen ⁴⁾	270	160
3	REB / MEP	700	400
4	CO ₂ -reductiefonds	70	-
5	Joint Implementation	40	30
Totaal		Ca. 1250	Ca. 600

Totaal generaal ⁵⁾		Ca. 1500	Ca. 850
--------------------------------------	--	-----------------	----------------

1) OCW, Samenwerkingsregeling EZ, e.a.

2) VROM, VenW, LNV

3) Non-profit regeling, EPR, verkeer

4) EIA, Vamil, Groen beleggen

5) Exclusief middelen die Nederland via Internationale Samenwerking besteed aan energieprojecten. Ook exclusief middelen die via de Europese Unie worden verworven; in 2001 en 2002 was dit gemiddeld € 17,5 miljoen per jaar, in 2005 is dit naar verwachting € 25 miljoen.

In hoeverre vormt energie voor de Staat ook een bron van inkomsten?

Volgens de *Miljoenennota 2005* vormen de aardgasbaten in 2005 voor de Staat der Nederlanden naar verwachting een

inkomstenbron van € 4,3 miljard, met daarbovenop ca. € 1,5 miljard aan vennootschapsbelasting uit de gassector.

De (Regulerende) Energiebelasting levert in 2005 waarschijnlijk € 3,6 miljard op. Accijns op brandstoffen levert naar verwachting € 6,5 miljard op. Totaal dus een bedrag van ruim € 15 miljard. De inkomsten zijn derhalve vele malen groter dan de uitgaven.

2.3. Functies en succes van het energieonderzoek

Was het publiek gefinancierde energieonderzoek succesvol?

Het doen van onderzoek met publieke middelen van de Staat der Nederlanden heeft meerdere functies. Per functie zou je het succes moeten evalueren, maar dit gebeurt in praktijk slechts in beperkte mate.

- De eerste functie is *kennisontwikkeling*. Op dit punt doen we het in Nederland goed. Er wordt op het gebied van energieonderzoek - volgens diverse studies – op een breed terrein van onderwerpen hoogwaardige kennis ontwikkeld (IBO, 2002). Er zijn een aantal sectoren en toepassingsgebieden waarop Nederland – in elk geval op onderzoeksgebied - internationaal een relatief sterke positie inneemt.
- De tweede functie is *beleidsondersteuning*: overheden en investeerders in staat stellen goed onderbouwde beslissingen over het te voeren energiebeleid te nemen. Voor de overheid betekent dit beleid dat is gericht op het realiseren van een schoon, betrouwbaar, betaalbaar (lees concurrerend) en maatschappelijk acceptabel energievoorzieningsstelsel. Ook daarin lijkt het onderzoek in het verleden redelijk succesvol te zijn geweest: de energievoorziening is betrouwbaar (mede door onze aardgasvoorraden) en kosteneffectief, heeft belangrijke maar niet alle milieuproblemen weten op te lossen, en wordt op hoofdlijnen maatschappelijk geaccepteerd. Er zullen echter nieuwe slagen gemaakt moeten worden als we een duurzame ontwikkeling van het energiesysteem willen realiseren (WEA, 2000).
- De derde functie is *leidend tot innovaties en industriële toepassingen*. Helaas hebben decennia energieonderzoek in ons land maar weinig tot nieuwe industriële activiteit geleid. Er zijn nauwelijks toepassingsgebieden waar de Nederlandse industrie een sterke internationale positie inneemt. Dit betekent niet dat er geen bedrijven in het energieveld actief zijn, maar wel dat zij de benodigde technologische kennis en technologie vooral uit het buitenland halen. Een voorbeeld is de warmtepomp. Op het gebied van windenergie en PV (zonnecellen) – twee gebieden waarop de Nederlandse kennisinfrastructuur zich in het bijzonder heeft toegelegd – is in ons land niet of nauwelijks een innovatieve, producerende industrie (meer) aanwezig. Eerder heeft RD&D op het gebied van bijvoorbeeld kernreactoren en brandstofcellen niet het beoogde resultaat opgeleverd.

Er zijn echter ook successen. Een voorbeeld van Nederlandse industrie die internationaal competitief is Urenco (uraniumverrijking). Andere voorbeelden zijn de ketel- en boilerfabrikanten en bedrijven die componenten (voor kabels) of onderdelen van apparaten (voor centrales) aanleveren. In de energie-intensieve industrie is tussen 1980 en 2000 het verbeteren van de energie-efficiency een succes geweest. Andere successen zijn de introductie van de HR ketel in huishoudens, het realiseren van decentrale warmte-kracht-koppeling en de opslag van warmte in de bodem. Daarnaast heeft het aantal commercieel opererende intermediaire organisaties, zoals ingenieurs- en adviesbureaus, zich sterk ontwikkeld. Een recent voorbeeld hiervan – als spin-off

van het energieonderzoek van de Universiteit Utrecht – is het Utrechtse onderzoek- en adviesbureau Ecofys, met inmiddels vestigingen in een fors aantal landen.

- Een vierde functie is *het initiëren van, en participeren in Europese energie-onderzoekprogramma's*. Daarin zijn we succesvol. Nederlandse onderzoeksinstituten weten een relatief groot deel van het Europese budget voor energieonderzoek naar Nederland te halen.

*In een groot aantal gevallen is er wel technisch maar nauwelijks commercieel succes; hoe komt dat?*⁵

Het mislukken van innovatietrajecten kent zelden een eenvoudige verklaring. Bovendien wordt in Nederland naar het mislukken, maar ook naar het slagen van energie-innovaties weinig onderzoek gedaan. Toch zijn er wel factoren te noemen:

- Een factor is een *systematische overschatting van de mogelijkheden* van Nederland, onder meer door een sterk nationale oriëntatie van innovatietrajecten, een te rooskleurige visie op de concurrentiepositie van de nieuwe technologie, en gebrek aan aandacht voor de maatschappelijke inbedding en acceptatie van de technologie. Ook zijn de beschikbare budgetten om tot een succesvolle innovatie te komen veelal ontoereikend, mede door de versnippering van aandacht over een reeks van innovatietrajecten.
- Een andere factor is de *technology push* aanpak van kennisinstellingen. Veel technologieontwikkeling vindt vanuit de technologische mogelijkheden en niet vanuit behoeften in de markt (*demand side pull*) plaats. De kennisinstellingen slagen er vervolgens onvoldoende in een productieve samenwerking met bedrijven en gebruikers tot stand te brengen. Bedrijven blijken hier ook nauwelijks in te investeren. Dit kan deels worden verklaard door de lange duur van innovatietrajecten en de (hoge) kosten en onzekerheden van deze trajecten. Ook andere aspecten kunnen een rol spelen, zoals gebrek aan aandacht voor innovatie in bedrijven op managementniveau. Diverse problemen kunnen worden opgelost als er steun van de overheid komt. Ook is nodig dat betrokken partijen (inclusief de overheid) een breed gedeelde lange termijn visie en beleid ontwikkelen dat voor bedrijven een aantrekkelijk innovatieperspectief biedt. Aan deze voorwaarde wordt onvoldoende voldaan.
- Een derde factor is dat *de positie van de maakindustrie in Nederland* in de afgelopen 25 jaar sterk achteruit is gegaan. Het ontbreken of verdwijnen van deze industrie moet mede in de gebrekkige afstemming tussen vragers en aanbieders van technologische kennis worden gezocht. Een andere factor is dat de thuismarkt voor nieuwe technieken relatief klein is. Tenslotte lijkt een factor dat de overheid zich volgens betrokkenen onvoldoende als een betrouwbare partner opstelt.
- Ook zijn er de zich *wijzigende inzichten en omstandigheden* - zoals de veel grotere economische winbaarheid van fossiele brandstoffen dan 25 jaar geleden werd gedacht en, meer recent, de liberalisering en privatisering van de energiemarkt – die het doorbreken van nieuwe technologieën hebben tegengewerkt.
- Tenslotte zijn er de problemen rondom de *maatschappelijke inbedding* van technologie (zoals regelgeving en maatschappelijke acceptatie) die belemmerend kunnen werken.

⁵ Grotendeels gebaseerd op Verbong (2004).

2.4. Selecteren in het energieonderzoek: selectiecriteria

We doen op onderzoeksgebied heel veel; moeten we niet meer concentreren, dus kiezen?

Gezien onzekerheden over kansen en mogelijkheden van technologische ontwikkelingen en onzekerheden over de economische, sociale en ecologische toepasbaarheid van technologieën op langere termijn moet het beleid er (internationaal) op gericht zijn opties zolang mogelijk open te houden c.q. opties die kansrijk kunnen zijn ruimte voor ontwikkeling te bieden. Echter, een ontwikkeling krijgt alleen optimale kansen als het werken eraan met voldoende 'kritische massa' (menskracht, apparatuur, geld) gebeurt en er ook draagvlak, infrastructuur en kans op industriële follow-up bestaat.

Voor veel landen impliceert dit dat niet aan bijna alle opties tegelijk gewerkt wordt. Ieder land zal zwaartepunten (of speerpunten) kiezen, uitgaande van eigen omstandigheden, capaciteiten, comparatieve voordelen en visies op de toekomst. Op andere gebieden die voor het land interessant kunnen zijn zal het de ontwikkelingen elders volgen, waarvoor 'slechts' is vereist dat een zekere basiskennis in eigen land aanwezig is en contact wordt onderhouden met kennisontwikkeling elders (in andere landen).

Op de speerpuntgebieden is het in beginsel raadzaam om te werken volgens de variatie - selectie - variatie methode. Dit betekent veelal: breed te werk gaan en niet te vroeg voor één specifieke technologie kiezen, maar uiteindelijk wel kiezen, en daarbij vinger aan de pols te houden wat betreft andere keuzemogelijkheden. Op de niet-speerpunt gebieden wordt basiskennis in stand gehouden zodanig dat elders ontwikkelde oplossingen, indien aantrekkelijk, snel in eigen land geïmplementeerd kunnen worden.

Nederland heeft op energiegebied heel weinig gekozen voor bepaalde technologische gebieden. Voor zover dit het energiegeleide fundamentele onderzoek betreft dat hoofdzakelijk aan universiteiten wordt uitgevoerd met middelen uit de eerste en tweede geldstroom (afkomstig van het ministerie van OCW), is dit minder een probleem; dit onderzoek kan immers tot geheel nieuwe inzichten en mogelijkheden leiden en daarmee op termijn voor nieuwe innovatiesporen zorgen. Voor wat betreft het energieonderzoek dat door de andere ministeries wordt gefinancierd – met name EZ – ligt dit anders. Ook bij de besteding van deze middelen blijkt dat we op wel heel erg veel gebieden actief zijn, met versnippering en gebrek aan krachtig en omvangrijk follow-up onderzoek als gevolg. Dit lijkt een van de redenen waarom we in Nederland de slag van kennisontwikkeling naar toepassing in de markt (innovatie) niet goed weten te maken.

Bij het ontwikkelen van een nieuwe energieonderzoekstrategie (EOS) heeft het Ministerie van EZ recent geprobeerd dit probleem aan te pakken. Gezien de uitkomsten van het proces die tot op heden zijn bereikt - zie: SenterNovem (2004) - lijkt dit slechts beperkt te zijn gelukt. Ook de energietransitieaanpak van het Ministerie van EZ kent een heel breed spoor (EZ, 2004). In hoofdstuk 9 van deze notitie gaan we daar nader op in.

In het algemeen geldt dat, gaande van onderzoek naar ontwikkeling, van ontwikkeling naar demonstratie, en van demonstratie naar marktintroductie, de breedte van het spoor aanzienlijk gereduceerd zal (moeten) worden, mede gezien de verbetering van inzicht in de marktkansen van opties en de toename van kosten van een ontwikkeling gaande van onderzoek naar marktintroductie.

Hoe moeten we selecteren?

Bij de selectie van speerpuntgebieden voor Nederland kunnen de volgende criteria worden gehanteerd, voortbordurend op eerdere adviezen van de VROM-raad en Energieraad in dit verband⁶:

Allereerst moet worden vastgesteld wat de functie is van het energieonderzoek: gaat het puur om kennisontwikkeling, is het doel beleidsondersteuning, moet het leiden tot industriële toepassingen, of moet het een sterke inbreng in Europese en andere internationale programma's mogelijk maken? Dit mede bepalend voor de aandacht die een optie verdient.

Als het doel primair is om tot innovatieve toepassingen in de markt te komen, en aldus een transitie naar een duurzame energiehuishouding mogelijk te maken, is - voor het maken van keuzen - het volgende van belang:

- (1) Bij het maken van keuzen zouden we bij voorkeur een min of meer gezamenlijk toekomstbeeld moeten hebben van waaruit wordt gewerkt, bijvoorbeeld: "de CO₂ concentratie in de atmosfeer mag nooit hoger worden dan 500 ppmv", "onze groeiende afhankelijkheid van olie- en gas-importen uit politiek instabiele regio's moet worden afgeremd en omgebogen", "we moeten de kansen benutten die het streven naar een CO₂-arme economie biedt", en "we moeten voorop willen lopen bij de vernieuwing en ecologische modernisering van bedrijfstakken die voor de economie van ons land belangrijk zijn".
- (2) Nederland is op veel gebieden te klein om nieuwe opties geheel op eigen kracht tot ontwikkeling en toepassing op de markt te brengen. Daarom is internationale samenwerking van belang met partijen binnen Europa, maar soms ook daarbuiten. Ook is wenselijk dat er een zekere werkverdeling in het energieonderzoek plaatsvindt, rekening houdend met de sterktes en zwaktes van ieder land, om aldus krachtige consortia te krijgen en een doelmatige besteding van middelen.
- (3) We moeten sterk rekening houden met de sterktes en comparatieve voordelen van Nederland ten opzichte van andere landen. Voorbeelden zijn: Nederland gasland; Nederland aanvoerhaven voor Europa; Nederland transportland; Nederland dienstenland (met veel consultancy firma's en ingenieursbureaus op energiegebied); Nederland off-shore land; Nederland landbouwkennisland; Nederland chemieland, en Nederland kennisontwikkelingsland. Deze sterktes en comparatieve voordelen kunnen worden vertaald naar energie-innovatie activiteiten die voor Nederland kansen bieden. Onderzoek is nodig om de sterktes en voordelen van ons land periodiek in kaart te brengen.
- (4) Veel sterker dan in het verleden, zouden de toepassers en gebruikers van kennis - te weten industrieën, adviesbureaus, consumenten en overheden - een centrale plaats in het keuzeproces moeten hebben. We moeten in het energieonderzoek leren meer vanuit serviceconcepten te werken, en meer vanuit een *demand side pull* in plaats van *technology push* benadering moeten opereren. Ook zouden we bij het ontwikkelen en toepassen van kennis een meer centrale plaats moeten geven aan *public-private-partnership*. Een voorbeeld hierbij kan de ICES-KIS aanpak zijn. Ook de EZ-aanpak van de energietransitie is hierbij interessant (zie hoofdstuk 9 van deze notitie). Daarnaast kunnen we leren van successen die langs

⁶ VROM-raad: *Milieu en Economie*, 2003; Algemene Energieraad: *Post-Kyoto*, 2003; Algemene Energieraad: *Energieonderzoek, de krachten gebundeld*, 2001

deze weg op andere beleidsterreinen (bijv. de landbouw) en in het buitenland, bijvoorbeeld Finland en Amerika, zijn geboekt.

- (5) Het veld van ontwikkelaars en toepassers van energieopties in Nederland moet (meer) leren van ervaringen die zijn opgedaan in het verleden, op andere beleidsterreinen en andere landen. Dit betekent dat bij het opzetten van nieuwe projecten middelen beschikbaar moeten zijn voor monitoring, evaluatie en communicatie.

Naast de bovengenoemde punten zijn de volgende criteria van belang:

1. Is er voldoende ontwikkelingspotentieel van de technologie. Het geven van een antwoord hierop vergt het maken van technologieverkenningen, van *technology road maps*, e.d.
2. Kan de technologie (mondiaal, regionaal, nationaal, lokaal) een wezenlijke bijdrage leveren aan het realiseren van een duurzame ontwikkeling van de energiehuishouding. Scenarioanalyses gebaseerd op onder meer technologieverkenningen, kunnen helpen hierop een antwoord te geven.
3. Welke bijdrage kan de optie, in concurrentie met andere opties, op termijn leveren aan de energiehuishouding in Nederland (resp. Europa). Een eis hierbij zou kunnen zijn dat minimaal 5% van de energievraag in 2030-2050 op kosteneffectieve en maatschappelijk acceptabele wijze door de betreffende optie moet kunnen worden gedekt.
4. Wat is de kwaliteit en de internationale zichtbaarheid van de betrokken onderzoekers, ontwikkelaars en toepassers van de nieuwe technologie. Diverse indicatoren kunnen helpen daar een antwoord op te geven.
5. Bestaat er in Nederland - resp. in Europa of elders - een innovatiesysteem waarbinnen de voorgestane kennisontwikkeling daadwerkelijk tot toepassing en liefst ook industriële bedrijvigheid en werkgelegenheid kan leiden; en zo ja, maken de betreffende onderzoekers en ontwikkelaars deel uit van dit systeem?

Het betreft hier een eerste aanzet. Verder debat hierover kan tot aanpassing of aanscherping van de criteria leiden. Het ministerie van EZ zou hierbij een leidende rol kunnen spelen.

Benadrukt zij dat deze criteria vooral betrekking hebben op het toepassingsgerichte onderzoek (incl. ontwikkelingswerk, demonstratie en marktintroductie). Bij het stimuleren van markttoepassing van technologie zal ook een criterium als kosteneffectiviteit een rol spelen, bijv. als het gaat om opties die moeten bijdragen de emissie van broeikasgassen terug te dringen en onze afhankelijkheid van energie uit politiek instabiele regio's terug te dringen.

2.5. Overzicht technologische opties die besproken worden

Wat betekent bovenstaande voor verschillende technologische opties?

In deze notitie zullen we ons in verschillende nieuwe technologische ontwikkelingen op het gebied van aanbod van, en vraag naar energiedragers verdiepen. De hierboven genoemde aandachtspunten bieden hierbij een richtsnoer voor de te behandelen vragen. Aan het eind van deze beschouwing zullen we proberen op hoofdlijnen enige voorzichtige conclusies te

Tabel 3: Energietechnieken die in deze studie worden besproken

Opwekkingstechnieken finale energiedragers		
Elektriciteit	Fossiel	<ul style="list-style-type: none"> • Verbeterde technieken voor elektriciteitsproductie uit kolen en gas • Elektriciteitsopwekking via 'schoon fossiel' (CCS)
	Kernenergie	<ul style="list-style-type: none"> • Kernsplijting • Kernfusie
	Hernieuwbare energiebronnen	<ul style="list-style-type: none"> • Zon-PV • Windelektriciteit • Elektriciteit uit biomassa
Gasvormige brandstoffen	Fossiel	<ul style="list-style-type: none"> • H₂, met CO₂ opslag • Aardgas voor mobiele toepassingen
	Hernieuwbare energiebronnen	<ul style="list-style-type: none"> • Biogas (hier niet behandeld) • H₂ en methaan (uit hernieuwbare bronnen)
Vloeibare brandstoffen	Fossiel	(Hier niet behandeld)
	Hernieuwbaar energiebronnen	<ul style="list-style-type: none"> • Biofuels (e.g. biodiesel, ethanol, methanol, DME)
Warmte (warm water)	Fossiel	<ul style="list-style-type: none"> • Geavanceerde technieken (WKK)
	Hernieuwbare energiebronnen	<ul style="list-style-type: none"> • Zon-thermisch

Energiebesparing		
Industrie		<ul style="list-style-type: none"> • Diverse bedrijfstakken
Gebouwde omgeving		<ul style="list-style-type: none"> • Schil van het gebouw • Apparaten
Vervoer		<ul style="list-style-type: none"> • Type vervoer • Voertuigontwerp • Aandrijving
Agrarische sector		(Hier niet behandeld)
Materiaalgebruik		<ul style="list-style-type: none"> • Verbetering efficiency materiaalgebruik • Verandering grondstoffen en materialen

trekken over de aantrekkelijkheid van onderzoek en ontwikkeling van diverse energieopties in Nederland.

In deze studie willen we vooral een beeld geven van een aantal innovatieve technieken die een rol kunnen spelen bij de transitie naar een duurzame energiehuishouding. Er wordt onder meer ingegaan op het technisch en economisch potentieel van de technieken, kansen en belemmeringen (zoals kosten, draagvlak) en mogelijke betekenis van de techniek voor Nederland.

We behandelen niet alle technieken. Allereerst wordt voor de finale energiedragers *elektriciteit*, *gasvormige brandstoffen*, *vloeibare brandstoffen* en *warmte* beschreven wat verwacht mag worden van een aantal geavanceerde technieken waarmee deze energiedragers (in de nabije toekomst) kunnen worden geproduceerd. Daarna wordt vanuit de gebruikssectoren *gebouwde omgeving*,

industrie en *vervoer* ingegaan op mogelijkheden om de efficiency van het energiegebruik verregaand te verbeteren. Voor ieder van de behandelde technieken wordt ook nagegaan wat het belang ervan voor Nederland kan zijn. Tabel 3 geeft een overzicht

Opgemerkt moet worden dat ook het huidige gebruik van materialen aanknopingspunten biedt om op een andere manier met fossiele brandstoffen om te gaan. Een aanzienlijk deel van onze energieconsumptie gaat zitten in het maken van materialen en producten. Door efficiënter van deze materialen en producten om te gaan kan op energiegebruik en milieuemissies worden bespaard. Op milieuemissies kan ook worden bespaard door substitutie van materialen, gebruik makend van de mogelijkheden die biomassa in deze biedt.

3. NIEUWE TECHNIKEN VOOR ELEKTRICITEITSPRODUCTIE

Het elektriciteitsgebruik zal naar verwachting de komende decennia stijgen, ook in Nederland, zowel absoluut als relatief. De mate waarin dat gebeurt hangt af van hoogte van de economische groei, de aard van de groei, en de verbetering van de efficiency van het elektriciteitsgebruik.

Het overgrote deel van elektriciteit wordt uit fossiele bronnen opgewekt. Dat is thans doorgaans de goedkoopste optie, zeker indien de externe kosten – waaronder de maatschappelijke kosten van milieu- en klimaateffecten - maar ten dele in de prijs van energieopwekking zijn verwerkt. Daarnaast zijn alternatieven soms technisch nog niet rijp om op grote schaal toegepast te worden of zijn er (nog) knelpunten bij de betrouwbaarheid, het rendement of de maatschappelijke acceptatie. In deze paragraaf bespreken we de stand van zaken.

3.1. Verbeterde technieken voor elektriciteitsproductie uit gas en kolen

Wat zijn te verwachten de ontwikkelingen bij elektriciteitsopwekking uit fossiele brandstoffen?

Gasgestookte elektriciteitsopwekking vindt thans vooral in zgn. STEG-eenheden (stoom- en gasturbines) plaats, kolengestookte opwekking voornamelijk in poederkoolcentrales. Het elektrisch rendement van een nieuwe STEG is op dit moment ca. 58% en van een nieuwe poederkoolcentrale ca. 44%. Bij beide is tot 2030 nog wel 5 à 6% aan verbetering van het omzettingsrendement te winnen.

Bij kolen is in ontwikkeling: kolenvergassing in combinatie met een STEG-eenheid, de zogenaamde KV-STEG die tot een hoger omzettingsrendement en lager milieubelasting moet leiden. In Nederland wordt deze techniek in Buggenum op praktijkschaal gedemonstreerd. Ook elders vinden demonstraties plaats. De ontwikkeling en toepassing van de KV-STEG verlopen minder voorspoedig dan tien jaar geleden werd gedacht, onder andere omdat intussen ook de technologie van de conventionele poederkoolcentrale is verbeterd. Sommigen denken dat de KV-STEG pas echt zal doorbreken als het afvangen en opslaan van CO₂ bij kolencentrales aantrekkelijk wordt of wordt verplicht (zie ook paragraaf 3.2).

Een toekomstige ontwikkeling is wellicht het toevoegen van een hoge temperatuur brandstofcel (type SOFC) aan de aardgasgestookte STEG-eenheid en/of de KV-STEG-eenheid. Dit moet tot nog hogere omzettingsrendementen leiden.

De aardgasvariant komt mogelijk vanaf 2010 in het commerciële stadium, de kolenvariant vanaf 2020 (bestaat nu alleen nog op papier).

Een verbetering van het omzettingsrendement van primaire brandstoffen in andere energiedragers (hier: elektriciteit en warmte) kan ook worden bereikt door de opwekking van elektriciteit en warmte te combineren. In Nederland gebeurt dit bij diverse gas- en kolengestookte centrales (stadsverwarming). Ook in de industrie staan veel installaties waarbij warmte- en krachtopwekking zijn gekoppeld (WKK; warmte-kracht-koppeling). Gecombineerde opwekking kan tegenwoordig ca. 20% besparing op het gebruik van primaire brandstoffen opleveren. Vroeger waren de voordelen van WKK groter; gescheiden

opwekking van elektriciteit en warmte wordt echter steeds efficiënter. In Nederland wordt van WKK al veel gebruik gemaakt. Er is nu wel een belemmering voor nieuwe investeringen in WKK, vooral vanwege de relatief lage elektriciteits- en hoge gasprijs. Daarom kunnen WKK centrales vaak alleen nog concurreren wanneer ze een zeer hoge bedrijfstijd hebben.

Wat zijn kansen op dit gebied voor Nederland?

Nederland beschikt over veel kennis en infrastructuur op het gebied van winning, transport, opslag, omzetting en eindgebruik van aardgas. Ook heeft het kennis over vergassing, bijvoorbeeld in Buggenum (Limburg) en natuurlijk bij Shell. Daarnaast wordt een bijdrage geleverd aan de ontwikkeling en toepassing van de SOFC brandstofcel. Een doorslaggevende rol in technologieontwikkeling op deze gebieden speelt Nederland echter niet, mede door het vrijwel ontbreken van een apparatenbouw industrie. Toch is de kennisontwikkeling van belang, door de internationale samenwerking en doordat de kennis ook ingezet kan worden voor de 'schoon fossiel' route (zie paragraaf 3.2.)

Tabel 4: Denkbare ontwikkeling van elektrisch rendement, kosten en CO₂ emissies van (grootschalige) elektriciteitsopwekking uit steenkool en aardgas. (Bron: Menkveld et al., ECN, Petten, 2004)

	El. Rendement (%)		Opwekkingskosten (€ct/kWh) ^{a)}		CO ₂ emissie (kg/MWh)	
	2000	2050	2010	2050	2000	2050
STEG	58	64	3,75	4,6	350	310
SOFC-STEG	-	74			300	275
STEG + CO₂ afvang	49	57	4,6	5,5	40	35
SOFC-STEG + CO₂ afvang	-	67	-	pm	-	30
Poederkool-centrale	44	51	pm	pm	760	655
KV-STEG	45	55	4,5	4,4	745	610
Poederkool-centrale + CO₂ afvang	36	42	pm	pm	93	80
KV-STEG + CO₂ afvang	38	46	5,3	5,1	44	36

a) Hierbij aangenomen prijsontwikkeling voor kolen: € 1,7/GJ in 2010, € 2,5/GJ in 2030, € 2,75/GJ in 2050; voor aardgas aangenomen: € 4/GJ in 2010, € 5,9/GJ in 2030, € 6,4/GJ in 2050 (oftewel 60% prijsverhoging tussen 2010 en 2050)⁷

⁷ De hier aangenomen vaste verhouding tussen de kosten van kolen en aardgas is onzeker. Zo denken sommige auteurs dat de prijs van steenkool door technologieontwikkeling stabiel zal blijven of zelfs zal dalen.

3.2. CO₂ afvang en opslag (CCS)

Geavanceerde technieken om met fossiele brandstoffenelektriciteit te produceren kunnen gecombineerd worden met technieken om CO₂ af te vangen, te comprimeren, te transporteren en ondergronds op te slaan (CCS: CO₂ Capture and Storage). In Nederland wordt deze technologie gezien als belangrijk onderdeel van de optie *schoon fossiel: de winning, het transport en het omzetten van koolstofhoudende stoffen in energie en/of andere stoffen, zodanig dat daarbij zo weinig mogelijk uitstoot van CO₂ naar de atmosfeer plaatsvindt*⁸. Gezien deze definitie omvat 'schoon fossiel' niet alleen technieken om CO₂ af te scheiden en op te slaan bij elektriciteitsopwekking, maar ook bij:

- + Installaties die CO₂ uit natuurlijk gewonnen aardgas halen om het als brandstof voor grootschalige consumptie geschikt te maken;
- + Industriële processen waarbij puur CO₂ nu al als afval vrijkomt (bijvoorbeeld bij raffinaderijen en bij kunstmestfabrieken);
- + Installaties die – op termijn wellicht op grote schaal - waterstof produceren voor de transportsector of voor huishoudens.

Bovendien omvat *schoon fossiel* opties zoals het gebruik van aardgas als brandstof voor automotoren in plaats van benzine.

In hoeverre kan CCS een bijdrage leveren aan het terugdringen van CO₂ emissies?

CO₂ afscheiding is een bestaande maar thans dure techniek. Nieuwe aanpakken zijn nodig om de kosten aanzienlijk te drukken. Uitzicht hierop bestaat. Het transporteren van CO₂ via pijpleidingen is een bestaande en veilig toe te passen techniek. Grootschalige toepassing van CO₂ transport zal naar verwachting geen grote problemen hoeven te leveren. Opslag van CO₂ in geologische formaties wordt ook al beproefd.

Becijferingen laten zien dat we in lege gasvelden of zoutwater aquifers mogelijk 40 tot 400 maal de huidige, door menselijk handelen veroorzaakte, mondiale CO₂-emissie⁹ kwijt kunnen. Daarnaast kan CO₂ worden opgeslagen in 'uitgeputte' olievelden, eventueel gecombineerd met nieuwe oliewinning. Ook kan het worden opgeslagen in diepgelegen kolenlagen, eventueel gecombineerd met winning van kolengas. Mondiaal wordt het totale opslagpotentieel geschat op tenminste 1000 en mogelijk 10.000 Gton CO₂. Nederland heeft opslagpotentieel voor naar schatting tenminste 10 Gton CO₂ onshore en 2 Gton offshore (EZ, 2003). Dit is ruim 60 keer de huidige nationale CO₂ emissie per jaar¹⁰.

De meeste vormen van CCS bevinden zich in het onderzoeks- of ontwikkelingsstadium. Er zijn diverse proefprojecten gaande of aanstaande. Verdere kennisontwikkeling kan ertoe leiden dat in de periode 2010-2020 CCS op grote schaal beschikbaar komt en een bijdrage kan leveren aan het terugdringen van broeikasgasemissies.

Is er maatschappelijk draagvlak voor 'schoon fossiel'?

Tot op heden krijgt de optie voorzichtige steun of het voordeel van de twijfel. Het draagvlak zal waarschijnlijk vooral worden bepaald door eventuele milieurisico's. Die risico's zitten vooral bij het opslaggedeelte van de technologie. Naar de huidige inzichten kan in diverse geologische formaties tenminste 1000 Gton CO₂ verantwoord worden opgeslagen. Onder

⁸ Definitie in EZ Beleidsnotitie Schoon Fossiel d.d. 22 september 2003.

⁹ In 2000 was deze uitstoot ca. 25 Gigaton CO₂.

¹⁰ In 2000 was deze uitstoot ca. 180 Megaton CO₂.

verantwoord wordt bijvoorbeeld verstaan dat jaarlijks minder dan 0,01 - 0,1 % van de opgeslagen CO₂ weer vrijkomt¹¹. Er moet nog veel onderzoek, incl. praktijkexperimenten, en demonstratie plaatsvinden om dit beeld te toetsen. Zekerheid is er dus nog niet.

Sommigen zien in CO₂ opslag een onwenselijke verlenging van het fossiele brandstoffen tijdperk. Anderen zien het als onmisbaar in een overgangsfase, omdat energiebesparing en hernieuwbare bronnen de komende decaden onvoldoende zullen kunnen bijdragen om de CO₂ uitstoot verregaand te beperken. Ook biedt deze optie aan landen die over grote fossiele brandstofvoorraden beschikken – denk aan landen met grote kolenvoorraden zoals China - de mogelijkheid deze tenminste gedeeltelijk te blijven winnen. De meeste milieugroepen geven thans aan onderzoek, ontwikkeling en demonstratie van de optie CCS het voordeel van de twijfel, mits de optie niet de verdere ontwikkeling en toepassing van energiebesparende en hernieuwbare energie technieken belemmerd.

Wat is de betekenis van schoon fossiel voor Nederland?

Nederland heeft opslagpotentieel voor CO₂, een uitstekende gas-infrastructuur, kennis en *know how* op het gebied van systemen en technieken die voor schoon fossiel van belang zijn (zoals bij TNO), en een brede groep van partijen die in de ontwikkeling en toepassing van deze technologie geïnteresseerd zijn en daarbij ook samenwerken.

De kosten van CCS bij elektriciteitsopwekking bedragen thans € 50 tot € 100 per ton vermeden CO₂ uitstoot, maar kunnen door RD&D op den duur waarschijnlijk worden teruggebracht tot ca. € 20 per ton vermeden CO₂ uitstoot. De productiekosten van elektriciteit gaan door CO₂ afvang, transport en opslag thans waarschijnlijk met 2 tot 3 €ct per kWh omhoog; op den duur kan dat waarschijnlijk tot circa 1 €ct per kWh worden beperkt.

CCS technieken kunnen ook worden gebruikt om uit fossiele brandstoffen (aardgas of kolen) waterstof te halen en de daarbij geproduceerde CO₂ af te vangen en op te slaan (zie paragraaf 4.1).

Hoe wordt internationaal het belang van deze optie gezien?

Internationaal wordt aan schoon fossiel een steeds groter belang toegekend. Het IPCC zal over CCS in 2005 een Special Report publiceren. Het bedrijfsleven toont in deze optie een toenemende interesse. Het IEA ziet CCS als een sleuteltechniek om in de eerste helft van de 21^{ste} eeuw de uitstoot van CO₂ significant terug te dringen (Haug, 2004; Gielen and Podkanski, 2004). Het lijkt een robuuste optie om de uitstoot van CO₂ de komende decaden aanzienlijk terug te dringen, mits ondergrondse opslag veilig en verantwoord plaats kan vinden. Dit lijkt mogelijk, maar praktijkexperimenten en demonstraties zijn nodig om daar beter zicht op te krijgen.

Dit alles rechtvaardigt om aan onderzoek, ontwikkeling en demonstratie op het gebied van CCS een hoge prioriteit te geven. Bijkomend voordeel is de synergie tussen toepassing van CCS technieken en de terugdringing van verzurende emissies. Verder onderzoek naar de risico's van CO₂ opslag zal moeten aantonen dat de techniek inderdaad veilig kan worden toegepast en maatschappelijk draagvlak verkrijgt. Daartoe moet bij de ontwikkeling van en marktintroductie van CCS stapsgewijs worden gewerkt. Van iedere stap (praktijkexperiment of demonstratie) moet worden geleerd (*learning by doing*). Dit vergt monitoring, evaluatie en communicatie, waarvoor in het ontwikkelingsproces ruimte moet

¹¹ De discussie over dit percentage loopt nog; er bestaat nog geen regelgeving hierover.

zijn. Gaandeweg ontstaat zo een nauwkeurig beeld van de optie en wat deze wel en niet vermag.

Wat gebeurt er in Nederland?

Bijna alle betrokken partijen in Nederland hebben elkaar gevonden in het opzetten van een gezamenlijk onderzoeksprogramma – CATO genaamd – van ruim 25 mln Euro kost en voor circa de helft door de overheid (met ICES-KIS geld) wordt gefinancierd. Het is in 2004 van start is gegaan en een looptijd heeft van 5 jaar. Diverse deelnemers aan CATO zitten ook in internationale programma's. De Nederlandse overheid financiert ook een experiment voor de ondergrondse opslag van CO₂ in Nederland, het zogenaamde CRUST project, dat door *Gaz de France* wordt uitgevoerd. In dit project wordt sinds mei 2004 CO₂ geïnjecteerd in een leeg aardgasveld onder de Noordzee, waarbij de monitoring van de impact hiervan wordt verricht door TNO-NITG. Voor het overige heeft de overheid in Nederland een met betrekking tot deze optie een 'wait and see' opstelling (EZ, 2003). Zeer recent begint hier wel enige verandering in te komen. Zo heeft CCS (uiteindelijk) een plaatsje gekregen in EOS en in de energietransitieaanpak van EZ .

3.3. Elektriciteit uit kernenergie

Er zijn twee manieren om kernenergie te gebruiken voor het opwekken van elektriciteit, namelijk door kernsplijting en door kernfusie. De huidige kerncentrales maken gebruik van kernsplijting. Kernfusie is nog in de experimentele fase. Commerciële toepassing zal volgens de EU nog minstens 50 jaar gaan duren (EZ, 2000). Nederland kan hierbij hooguit een ondersteunende rol spelen. We beperken ons daarom in dit hoofdstuk tot kernsplijting.

Kan energieopwekking uit kernsplijting helpen het CO₂ probleem op te lossen?

Kernenergie dekt momenteel ca. 7 % van het primaire wereldenergiegebruik (29 EJ van de 418 EJ in 2001). In 2001 genereerden 441 kerncentrales tezamen ruim 2500 TWh elektrische energie. Daarmee kon ca. 16% van de mondiale elektriciteitsvraag in 2001 worden gedekt. Zonder kernenergie zou in 2001 de CO₂ emissie wereldwijd waarschijnlijk 7 % hoger zijn geweest.

Onderzoek wijst uit dat als de hele nucleaire keten wordt meegenomen de CO₂ -uitstoot per opgewekte kWh waarschijnlijk 5-10% van de uitstoot bij gangbare aardgasgestookte centrales is. Dit percentage kan toenemen wanneer steeds armere uraanhoudende ertsen moeten worden gewonnen.

Om een substantiële bijdrage te kunnen leveren aan het terugdringen van de CO₂ uitstoot, zouden er veel meer kerncentrales moeten komen, zeker 10 maal het huidige opgestelde kernenergievermogen. Technisch kan dat en ook de voorraden nucleaire grondstoffen zijn toereikend voor tenminste de komende honderd jaar.

Waarom gebeurt het dan niet?

In veel landen, ook in Nederland, is de maatschappelijke acceptatie van kernenergie erg laag. Men vindt het kernenergiesysteem niet veilig genoeg (ongevallen zoals in Windscale, Harrisburg en Tsjernobyl) en niet schoon genoeg (opslag radioactief afval). Daarnaast vindt men de kans dat splijtstof in verkeerde handen komt en kerntechnologie en – materialen worden misbruikt voor kernwapens te groot. Bovendien zijn kerncentrales te

duur in aanschaf. En daarom voor veel energiebedrijven niet aantrekkelijk.

Kan er een technologie komen die tegemoet komt aan deze bezwaren?

Op al deze punten zijn technologisch en organisatorisch nieuwe ontwikkelingen gaande, maar of dat uiteindelijk voldoende is voor het realiseren van maatschappelijk draagvlak voor deze optie is thans moeilijk te zeggen:

- Er zijn gestage ontwikkelingen in de richting van veiliger centrales. Nieuwe concepten zijn in ontwikkeling die inherent veilig zouden zijn, waarmee bedoeld wordt dat ze niet kunnen smelten (zoals bij het ongeval in Harrisburg) of exploderen (zoals bij het ongeval in Tsjernobyl). Het lijkt echter nog minstens tot 2020 te duren voordat inherent veilige centrales eventueel in Nederland commercieel inzetbaar zijn. Proefcentrales draaien inmiddels wel, onder meer in China.
- Het afval, bestaande uit verschillende klassen van radioactiviteit, moet na een tussenopslag van tientallen jaren naar een eindopslag waar het tienduizenden tot honderdduizenden jaren veilig moet kunnen blijven liggen. In de VS wordt binnenkort de eerste ondergrondse opslagplaats in gebruik genomen. Nederland is nog niet zover.
- Technisch lijkt het mogelijk om, door bepaalde afvalstromen af te zonderen en te bestralen (transmutatie), de radioactieve levensduur van hoog-actief afval te beperken tot 300 – 600 jaar. Dit zou een bijdrage kunnen leveren aan het oplossen van het radioactief afvalprobleem. Deze transmutatie lijkt echter niet met al het langlevende afval te kunnen gebeuren. Ook maakt het kernenergie duurder; hoeveel is nog onduidelijk (CE, 2004).
- Het vraagstuk van proliferatie - het risico dat splijtstof in verkeerde handen komt en wordt misbruikt voor het maken van atoombommen - krijgt thans wereldwijd veel aandacht. Technologisch lijkt het mogelijk een kernenergiesysteem te ontwikkelen waarbinnen de kans op proliferatie aanzienlijk is gereduceerd. Er blijft echter een kans op misbruik bestaan. Daarom zijn (nieuwe) organisatorische maatregelen nodig om deze kans aanvaardbaar klein te maken.
- De kans op nucleair terrorisme is na 11 september 2001 meer in de aandacht gekomen, maar de conclusies zijn nog niet eenduidig. Het gaat hier vooral om het risico dat radioactief afval wordt gebruikt om 'vuile bommen' te maken, om mogelijke aanvallen op kerninstallaties (bijvoorbeeld op de tijdelijke opslagplaatsen van hoog-actief afval bij kerncentrales, of op de kernreactor zelf) met mogelijk Tjernobyl-achtige gevolgen voor de omgeving, en om proliferatie van splijtbaar materiaal.
- Nieuwe kerncentrales zijn veelal te duur t.o.v. gasgestookte centrales, vooral vanwege de veel hogere investeringskosten. Op dit moment zou de stroom uit een nieuw te bouwen kerncentrale zo'n 4 tot 5 €ct /kWh kosten; dit is duurder dan stroom uit een nieuwe gascentrale (ECN, 2004). De investeringskosten zouden een factor 2-4 moeten dalen om kerncentrales concurrerend te maken, aldus het internationale atoomagentschap IAEA, of de gasprijs zou zeer aanzienlijk moeten stijgen.
- Het internaliseren van de externe kosten bij energiegebruik zou gunstig kunnen zijn voor de economische positie van kernenergie. De Europese Commissie heeft de externe kosten¹² voor een aantal opties in kaart laten brengen, zie tabel 5.

¹² In deze studie zijn externe kosten is de meeste gevallen opgevat als 'costs of damages to human health, building materials, crops, global warming, amenity losses and ecosystems'. Voor CO₂ is echter een soort schaduwprijsbenadering gevolgd.

Wat zou Nederland aan kernenergie moeten doen?

Om een bijdrage te kunnen leveren aan een duurzame ontwikkeling van de energievoorziening, zal de kernenergietechnologie naar het oordeel van de raden aanzienlijke veranderingen moeten ondergaan. Daarop zou de aandacht in het kernenergieonderzoek vooral moeten zijn gericht. De huidige technologie lijkt onvoldoende gekwalificeerd voor het spelen van een rol in een energiehuishouding die bijdraagt aan duurzame ontwikkeling.

Tabel 5. Externe kosten energiegebruik (Bron: CE, Delft, 2004).

	Nederland	EU
Kolen	3-4 €/kWh	4-7
Gas	1-2	1-2
Kernenergie	0,7	0,4
Wind	N/a	0,1-0,2
Biomassa	0,5	N/a

De directe betekenis van geavanceerd onderzoek op de genoemde gebieden lijkt voor Nederland beperkt. Daarom zou Nederland zich moeten richten op investering in kennisontwikkeling die nodig is om internationale ontwikkelingen te kunnen volgen en adopteren, bijvoorbeeld met betrekking tot het bewerken en opslaan van radioactief afval.

3.4. Elektriciteit uit zonnecellen*Is stroom uit zon haalbaar en betaalbaar?*

De hoeveelheid inkomende zonne-energie is een veelvoud van wat er op dit moment wereldwijd aan energie wordt gebruikt. In West Europa is het technisch mogelijk met zonnecelsystemen (zon-PV¹³) jaarlijks meer elektriciteit op te wekken dan er in 2000 werd geconsumeerd. In Nederland geldt dit voor minstens de helft van onze elektriciteitsconsumptie.

Zon-PV wordt al toegepast, in autonome en in net-gekoppelde systemen. Het grootste probleem voor net-gekoppelde toepassingen is dat de opgewekte stroom thans relatief nog zeer duur is. Momenteel kost in Nederland elektriciteit uit zonnecellen 60-80 €/kWh. Om concurrerend te worden moet deze prijs minstens met een factor 10 tot 15 omlaag. Op dit technologisch haalbaar is, is thans niet duidelijk. De investeringskosten bedragen thans € 5000 tot 6500 per kW. Een prijsdaling tot ca. € 1000 per kW lijkt in ieder geval haalbaar, getuige gedetailleerde studies die hiernaar zijn uitgevoerd. De stroomprijs van zon-PV zal dan in ons land kunnen dalen tot ca 12 €/kWh¹⁴. Het zal nog een aantal decennia

¹³ Zon-PV staat voor de photovoltaische omzetting van zonne-energie in elektriciteit met behulp van zonnecellen

¹⁴ Bij een aanschafprijs van 1000 € per kW bedragen de jaarlijkse kosten, inclusief Onderhoud en Bediening, tenminste 10% hiervan, dus 100 € per kW. Gegeven de

duren voordat dit niveau wordt bereikt. In recente literatuur wordt door betrokkenen gesuggereerd dat prijsdalingen tot beneden dit niveau, mogelijk tot ca. 7 €ct per kWh, ook denkbaar is. Nader onderzoek moet dit onderbouwen. Tevens moet dan worden nagegaan in welke mate energieopslag bij grootschalige toepassing de kostprijs van zonnestroom verhoogd.

Meer algemeen geldt dat Nederland, qua instralingniveau, niet een aantrekkelijk land is om zonnecellen toe te passen. In zonnige gebieden zijn de perspectieven hiervoor beter, omdat de zonne-instraling daar (ruim) twee keer hoger kan zijn dan in Nederland, en dus de kostprijs van zonnestroom (ruim) twee keer lager.

Zonnecelsystemen kunnen thans al wel een concurrerende optie zijn in gebieden waar geen elektriciteitsnet ligt of op plekken waar dit net te ver weg ligt, dus bijvoorbeeld in rurale gebieden in ontwikkelingslanden. Voor de sociaal-economische ontwikkeling van deze gebieden kunnen zonnecelsystemen van groot belang zijn. De totale markt hiervan (in MW opgesteld vermogen) is echter klein; de impact ervan op terugdringing van de CO₂ uitstoot is nog kleiner.¹⁵

Wat voor een beleid moeten we voeren om de prijs te laten dalen?

De daling van de kostprijs van zonnecellen kan beschreven worden door de zogenaamde leercurve. Die curve laat zien dat na iedere verdubbeling van het cumulatief geïnstalleerd zonnecelvermogen op de wereld de prijs van zonnecellen met ongeveer 20% is gedaald. Als dit ook voor de toekomst zou gelden, laat de curve zien dat Nederland nooit in staat zal zijn om op eigen houtje de prijs van zonnestroom tot bijvoorbeeld 25 €ct per kWh te verlagen; het zonnecelvermogen dat hiervoor geïnstalleerd moet worden zou te groot en te kostbaar zijn.

Twee factoren spelen bij de kostprijsdaling een rol: 1) 'learning by doing' via markttoepassingen, en 2) onderzoek en ontwikkeling. Het bewandelen van beide routes is nodig. Wel is de tweede route doorgaans aanzienlijk kosteneffectiever dan de eerste. In landen als Duitsland en – tot voor kort – Nederland lijkt de balans doorgeslagen naar het bewandelen van de eerste route. Een deel van het geld voor markttoepassingen zou effectiever aan RD&D besteed kunnen worden; de eerder genoemde prijsdaling van gemiddeld 20% zou dan kunnen worden opgeschroefd tot wellicht 25%.

Om tot een aanzienlijk betere performance van zon-PV te komen lijkt de ontwikkeling van een nieuwe generatie zonnecellen – soms wel de derde generatie genoemd – nodig. Dit vergt tijd en vooral middelen voor onderzoek en ontwikkeling. Praktijktoepassingen blijven echter nodig om ervaring op te doen en daarvan te leren en om de potenties van de technologie publiekelijk te demonstreren.

Zijn er, naast hoge kosten, nog andere knelpunten?

instraling van zonne-energie in Nederland, kan jaarlijks per kW ongeveer 800 kWh worden opgewekt. De opwekkosten per kWh zouden dan uitkomen op 12,5 €ct.

¹⁵ Indien 2 miljard mensen per persoon, via een Solar Home System (SHS), over 50 Watt zon-PV vermogen zouden beschikken, zou dit een opgesteld zonnecelvermogen van 100 GigaWatt opleveren. Jaarlijks zou hiermee ca. 150 TWh elektriciteit kunnen worden geproduceerd. Ter vergelijking: Nederland gebruikt thans jaarlijks ruim 110 TWh. De energierterugverdientijd van SHS is thans overigens al gauw 8 jaar. De bijdrage die SHS aan het terugdringen van de CO₂ uitstoot kan leveren is daarom klein.

Het draagvlak onder de bevolking voor de ontwikkeling en toepassing van zonnecellen is momenteel in Nederland (en bijvoorbeeld ook in Duitsland) hoog. Dit werkt gunstig voor het ontwikkelen en toepassen van deze technologies, en dus voor het realiseren van kostprijsreducties.

Een nadeel van de huidige zonnecelsystemen is dat de energierugverdiertijd relatief lang is, voor systemen in Nederland die aan het net zijn gekoppeld ca. 6 jaar. Met nieuwe productietechnieken en nieuwe typen zonnecellen zal deze terugverdiertijd naar verwachting tenminste worden gehalveerd.

Een aspect om op termijn rekening mee te houden is de inpassing van zonne- en windenergiesystemen in de elektriciteitsinfrastructuur. Als het aandeel van deze hernieuwbare bronnen in de elektriciteitsopwekking groter wordt dan ca. 10%, zijn doorgaans extra voorzieningen nodig zoals buffering (tijdelijke opslag van energie) en vraag- en aanbodmanagement (een grotere draaiende reserve; installatie van snel regelbaar back-up vermogen); dit leidt tot meerkosten die substantieel kunnen zijn.

Wat zou Nederland kunnen doen op het gebied van Zon-PV?

Omdat Zon-PV mondiaal een groot potentieel heeft, is het van belang deze technologie verder te ontwikkelen. Nederland kan daar met haar goede kennisinfrastructuur een belangrijke rol bij spelen. Die rol ligt niet primair bij uitbreiding van het opgesteld vermogen in Nederland. De markt voor zonnecellen ligt vooral in zonnige gebieden, waarbij een belangrijke nichemarkt de gebieden zijn waar een elektriciteitsnet ontbreekt en waardoor thans 2 miljard mensen geen goede toegang tot elektriciteit hebben. Maar de Nederlandse research en bedrijvigheid op het gebied van Zon-PV, die internationaal een hoog aanzien hebben, kunnen wel bijdragen aan de verdere technische ontwikkeling van zonnecellen, zonnecelproductieprocessen en zonnecelsystemen. Doel hiervan moet zijn de kostprijs van stroom uit zonnecelsystemen aanzienlijk omlaag te brengen. Wel zal de ontwikkelde kennis vooral buiten Nederland toegepast moeten gaan worden. De bedrijvigheid hierbij – bijvoorbeeld van ingenieursbureaus en van onderzoeksinstituten als ECN - zal deels echter ook in Nederland plaatsvinden. Echter, ook in Nederland bestaan er nichemarkten voor zonneceltoepassingen die bedrijvigheid opleveren. Bij de ontwikkeling van deze markten is tevens een overweging dat zonneceltoepassingen voor een breed publiek een inspirerende waarde hebben, wat voor het draagvlak van de te realiseren energietransitie aanstekelijk kan werken.

3.5. Elektriciteit uit windenergie

Wat kan wind bijdragen aan onze energievoorziening?

Voor ons land zijn de formele beleidsdoelen 1500 MW op land (2010) en 6000 MW op zee (2020). Thans staat voornamelijk op land ca. 1000 MW opgesteld. Als de gestelde doelen worden gerealiseerd, zou wind zo'n 20% van de Nederlandse stroomvraag in 2020 kunnen leveren (ECN, 2004). Op dit moment is dat ongeveer 1%. Om zo'n hogere bijdrage te bereiken moet het huidige plaatsingstempo op land gehandhaafd worden en plaatsing op zee zeer voortvarend worden opgepakt. Ook moeten mogelijke problemen bij de inpassing van het windvermogen in het net, in samenwerking met landen zoals Duitsland en Denemarken, tijdig worden onderkend en opgelost.

Op langere termijn is nog veel meer mogelijk. Voor Nederland is de totale potentie op land geschat in een studie van de Stichting Natuur en Milieu. Volgens deze studie is er voor ca. 2200 MW een geschikte locatie te vinden. Op zee kan waarschijnlijk vele malen meer – tot wellicht 30.000 MW (met een stroomproductie van ongeveer 100 TWh per jaar) - worden gerealiseerd.

In West Europa is er een potentieel van 60-300 GW op land en 90-350 GW op zee. De Europese windindustrie wil dat potentieel flink gaan aanboren en streeft ernaar om in 2020 zo'n 180 GW (in 2002 was dit 24 GW) in bedrijf te hebben.

Mondiaal is het, volgens diverse studies, in beginsel mogelijk de gehele elektriciteitsvraag met windenergie te dekken (Hoogwijk, 2004).

Wat zijn belangrijke problemen bij elektriciteitsopwekking met wind?

Technisch gezien is het bouwen van zowel kleine als grote windturbines die betrouwbaar functioneren en elektriciteit produceren geen probleem. Elektriciteit uit wind is op dit moment nog wel duur t.o.v. conventionele opwekking, maar door toepassing op grote schaal en verdere technische verbeteringen zullen de kosten nog kunnen dalen. In Nederland kost windenergie op land nu volgens ECN 8-9 €ct per kWh en op zee 10-11 €ct per kWh (ECN, 2004). Een daling tot 3 à 4 €ct per kWh op gunstige locaties behoort op lange termijn (25 jaar) tot de mogelijkheden (WEA, 2000). Op de Noordzee lijkt een prijsdaling tot ca. 5 €ct per kWh haalbaar (Junginger et al., 2004)

Bij grootschalige inzet van windenergie moet in de elektriciteitsvoorziening voldoende snel regelbaar back-up vermogen of opslagcapaciteit beschikbaar zijn. In Noord-Duitsland zijn daar op dit moment al wat problemen mee. Dit back-up vermogen en/of deze opslag brengt extra kosten met zich mee. Deze additionele kosten kunnen 1,5 €ct per kWh windelektriciteit bedragen (Hoogwijk, 2004); de additionele kosten hangen onder meer af van de penetratiegraad van windenergie in het net.

Staan die windmolens niet erg in de weg?

Het accent in het plaatsen van windturbines lijkt te verschuiven van land naar zee. Op land blijkt het lastig te zijn om nieuwe locaties voor het installeren van windturbines beschikbaar te krijgen, vooral omdat er discussie is over verstoring van het landschap, vogelsterfte en geluidshinder. Op zee speelt dit minder, hoewel ook daar de impact op natuurwaarden aandacht moet hebben. De sterfte van volgens door aanvaring met een windturbine lijkt overigens nauwelijks een probleem te zijn.

Waar zou voor windenergie het accent in het beleid moeten liggen?

Hoewel duurder dan op land, zou er sterk ingezet moeten worden om windmolens op zee te plaatsen. Daar is verreweg de meeste ruimte en lijken de eventuele nadelen het kleinst. Denkbaar is dat op gunstige locaties windenergie over ca. 20 jaar kan concurreren met conventionele elektriciteit, mits hierbij de externe kosten in rekening worden gebracht.

Een substantiële bijdrage van windenergie aan de Europese elektriciteitsvoorziening halverwege deze eeuw is mogelijk. Een integraal plan voor de Noordzee van de betreffende landen zou meerwaarde kunnen hebben: een hoge benutting van het windaanbod tegen lagere kosten, met aandacht voor mogelijke aantasting van natuurwaarden, waaronder mariene ecosystemen. Daarnaast vergt inpassing van

windvermogen in het totaal van de elektriciteitsvoorziening aandacht, om de betrouwbaarheid van de elektriciteitsvoorziening ook met veel windvermogen te kunnen garanderen.

Helaas heeft de kennisontwikkeling op dit gebied in Nederland, anders dan gehoopt, niet tot een bloeiende windturbine-industrie in ons land geleid. Andere landen (Denemarken, Duitsland) waren meer succesvol. Daar moeten we lering uit trekken. Tevens moet – samen met marktpartijen – worden vastgesteld waar in ons land activiteiten op het gebied van onderzoek, ontwikkeling en demonstratie - gegeven ambities, know-how en omstandigheden - het best op gericht kunnen worden. Kansen voor Nederland lijken er te liggen bij de ontwikkeling van offshore activiteiten, zoals fundatie en onderhoud van molens, en bij de productie van onderdelen van de windturbines.

3.6. Elektriciteit uit biomassa

Bio-energie is energie die kan worden gewonnen uit biomassa (biologisch materiaal). De biomassa die hiervoor gebruikt kan worden is er in vele vormen, zoals bomen (wilg, populier), riet (incl. suikerriet), hennep, snoeihout, suikerbieten, plantaardige oliën, biologisch huishoudelijk en industrieel afval, kippenmest en stortgas. Bio-energie kan overal in de energievoorziening ingezet worden: bij warmte- en stoomproductie, elektriciteitsopwekking en de productie van gasvormige en vloeibare brandstoffen. Op dit moment wordt biomassa (meestal afval) in Nederland vooral ingezet in de elektriciteitsopwekking. Het is driekwart van het totale aandeel dat hernieuwbare energiebronnen leveren aan de energievoorziening in ons land. Het totale aandeel is echter nog klein. In landen als Finland, Zweden en Oostenrijk is dit aandeel aanzienlijk groter. Elders speelt ook de aanmaak van vloeibare brandstoffen een belangrijke rol. Een voorbeeld is Brazilië, dat uit suikerriet ethanol maakt voor de transportsector.

Wat is het potentieel van bio-energie?

Bio-energie kan een grote bijdrage gaan leveren aan de wereldenergievoorziening. Thans wordt ruim 1/10 deel (ca. 45 EJ per jaar) van het wereldenergiegebruik met bio-energie gedekt. De biomassa wordt vooral voor traditionele toepassingen zoals verwarming en koken gebruikt, bijvoorbeeld in Azië (WEA, 2000). De opgave is om biomassa hoogwaardig in te zetten, dus voor de productie van moderne energiedragers. Thans is de bijdrage van 'moderne biomassa' wereldwijd ca. 6 EJ per jaar (WEA, 2004).

De schattingen over biologische afvalstromen die benut kunnen worden variëren wereldwijd van 30 tot 90 EJ per jaar. Schattingen van de hoeveelheid biomassa die mondiaal via energieteelt gewonnen kan worden lopen sterk uiteen. Een recente studie van UU en RIVM noemt voor het midden van deze eeuw als maximaal toepasbaar potentieel 300-675 EJ per jaar (Hoogwijk, 2004). Als de kosten van de biomassa niet hoger mogen zijn dan 2\$/GJ, zakt dit potentieel tot 130-270 EJ per jaar. Dit is in lijn met de World Energy Assessment (WEA, 2000) die stelt dat op de lange termijn een inzet van 100-300 EJ haalbaar lijkt.

Overigens is het waarborgen van de voedselvoorziening en van biodiversiteit uitgangspunt bij dergelijke potentiële schattingen.

Wat kan Nederland zelf aan biomassa produceren en wat wil Nederland aan bio-energiegebruiken?

In het kader van het biomassa transitieproject van EZ is voor een zeer hoog ambitieniveau gekozen. In 2040 zou 30% van de primaire wereldenergievraag door biomassa moeten worden gedekt. Voor Nederland zou dit in 2040 neerkomen op ongeveer 1 100 PJ, bij een totale primaire energievraag van 3600 PJ¹⁶.

Op dit moment levert biomassa in Nederland een bijdrage van 37 PJ per jaar. In het actieplan biomassa van EZ wordt voor 2010 gestreefd naar 83-97 PJ.

Wanneer alle landbouwgrond in Nederland zou worden ingezet voor bio-energieproductie, dan nog zou maar 2/3 van genoemde 1 100 PJ geproduceerd kunnen worden. Daarnaast zijn er – beperkt - reststromen (afval, residuen) die benut kunnen worden.

Hieruit blijkt dat voor het jaar 2010 het aanbod uit eigen bronnen in principe voldoende is, maar dat daarna import van biomassa noodzakelijk zal zijn (houtchips, reststromen bosbouw, pellets uit geteelde biomassa, biobrandstoffen). De markt voor biomassa moet nog ontwikkeld worden. Nederland kan met zijn kennis over de teelt van gewassen, zijn havens, zijn chemische industrie en zijn kennisontwikkeling op het gebied van bio-energie een belangrijke rol gaan spelen bij de teelt, verwerking, transport, overslag, omzetting, veredeling en toepassing van bio-energie in Noordwest Europa.

Het ambitieniveau van 30% bio-energie in Nederland in 2040 is onrealistisch hoog. Het merendeel van de bio-energie zou geïmporteerd moeten worden, bijvoorbeeld uit Zuid-Amerika. Dit vereist het ontstaan van een omvangrijke wereldmarkt, wat veel tijd vergt. Bovendien mag worden verwacht dat import van 30% van de energiebehoefte van Nederland alleen mogelijk is als bio-energie ook wereldwijd op grote schaal - bijv. 30-50% van de wereldenergievraag - wordt toegepast. Het gaat dan al gauw om 200 EJ per jaar, of meer. Het lijkt onmogelijk dit in de komende 25 jaar te verwezenlijken.

Wat kost elektriciteit uit biomassa?

Het mee- en bijstoken van biomassa (veelal afval) in kolencentrales is nauwelijks duurder dan gebruik van steenkool. Bij andere technieken, zoals bio-WKK, kunnen de productiekosten thans oplopen tot 10-15 €/kWh. Onderzoek en ontwikkeling zijn erop gericht deze kosten aanzienlijk te reduceren. Op den duur lijkt concurrentie met elektriciteitsopwekking uit kolen en gas een haalbare optie, mits externe kosten in rekening worden gebracht.

Wat moet er nog aan techniekontwikkeling gebeuren?

Aan de aanbodkant is belangrijk dat de teelt van energiegewassen met een hoog rendement en een lage milieubelasting gebeurt, met oog voor biodiversiteitsvraagstukken. Nederland kan hier onder meer vanuit Wageningen aan bijdragen.

Elektriciteit uit verbranding van biomassa berust vrijwel steeds op toepassing van uitontwikkelde technieken. De omzettingsrendementen hierbij zijn echter laag. Daarom is nodig dat nieuwe technieken ontwikkeld worden. Hierbij lijkt vergassing van biomassa om er vervolgens elektriciteit of brandstoffen van te maken een belangrijke route. Ook andere aanpakken zijn denkbaar, zoals vergisting of pyrolyse van biomassa. Er zijn nog flinke RD&D inspanningen nodig om het tot betrouwbare én commercieel aantrekkelijke opties te

¹⁶ Vergelijk dit met ons huidige primaire energiegebruik van ruim 3000 PJ per jaar.

brengen. Nederland speelt hierin een betekenisvolle rol. Veel ontwikkeling en toepassing van kennis en technologie op dit gebied vindt overigens in Scandinavische landen plaats (Finland, Zweden, Denemarken). We moeten daar nauw contact mee houden.

Is het gebruik van bio-energie duurzaam?

Het duurzaam gebruik van bio-energie vereist onder meer dat de voorraad biomassa niet afneemt. Als er dus hout wordt gebruikt, moet er weer een equivalente hoeveelheid worden aangeplant.

Een ander aspect van duurzaamheid is de vraag of het inzetten van biomassa de voedselproductie of het behoud van biodiversiteit bedreigt. De concurrentie met andere functies van landgebruik kan problemen geven, maar is in principe oplosbaar. Hoe dit wordt opgelost is bepalend voor de bijdrage die biomassa aan de energievoorziening kan leveren (Hoogwijk, 2004).

Een derde aspect is emissies. Het bij stoken van biomassa in kolencentrales resulteert in lagere SO₂ emissies, maar meestal in hogere NO_x emissies. Dit laatste geldt ook in vergelijking met gasgestookte centrales. Biomassaverbranding geeft ook een hogere uitstoot van fijn stof. Afhankelijk van de kwaliteit van de biomassa en de gebruikte technieken vormt ook de uitstoot van andere stoffen een belangrijk aandachtspunt. Tenslotte het transport van biomassa. Een veel gehoord argument is dat het transport veel energie kost en daarom een flink stuk van de bijdrage aan CO₂-emissiereducties tenietdoet. Dat blijkt wel mee te vallen. Recent onderzoek van onder andere de UU laat zien dat transport over grote afstanden weinig energie - dus weinig CO₂ emissies - hoeft te kosten (Hamelinck, 2004).

Het hebben van draagvlak lijkt in Nederland geen groot probleem. Het imago van het gebruik van bio-energie is overwegend groen, ondanks kritische geluiden over het gebruik van sommige biomassastromen, zoals vervuild hout en mest. Een goede analyse van, en voorlichting over de voors en tegens, met daarnaast verdere ontwikkeling van de techniek, is belangrijk voor het succesvol vergroten van de biomassa-inzet.

Waar zouden we ons in Nederland op moeten richten?

Biomassa is een hernieuwbare energiebron met grote mogelijkheden, en bovendien nú inzetbaar in vooral de elektriciteitsopwekking. Op termijn zit daarnaast potentie in de toepassing als transportbrandstof, en als grondstof voor (nieuw) producten en materialen. Nederland heeft met de Universiteit Wageningen een goede kennispositie in de ontwikkeling van de productiviteit van (energie)gewassen. Daarmee zou ook buiten Nederland een rol van betekenis gespeeld kunnen worden, bijvoorbeeld bij het vermarkten van nieuw ontwikkelde gewassen.

Nederland zou logistiek voor Noordwest Europa een belangrijke rol kunnen spelen bij de ontwikkeling van een internationale markt voor biomassa, gebruik makend van de Rotterdamse haven.

Nederland heeft een belangrijke chemische industrie en een goede kennispositie op het gebied van onder meer vergisting en vergassing en het mee- en bijstoken van biomassa. Voor diverse andere technologieën geldt waarschijnlijk dat ontwikkelingen buiten Nederland doorslaggevend zullen zijn; Nederland kan dan hooguit meeliften bij de introductie daarvan.

4. GASVORMIGE BRANDSTOFFEN

Het leeuwendeel van de gasvormige brandstoffen die wij gebruiken heeft een fossiele basis. Slechts een heel klein deel wordt wereldwijd uit hernieuwbare bronnen gemaakt. In sommige gevallen is de oorzaak dat de techniek nog niet voldoende is ontwikkeld (onvoldoende betrouwbaar, laag omzettingsrendement, afwezigheid infrastructuur, e.d.). In andere gevallen omdat de gangbare productie uit fossiele brandstoffen – mede gezien de aanwezige infrastructuur - een veel betere concurrentiepositie heeft. Meestal gaat het hierbij om aardgas (methaan).

Hier bekijken we nieuwe mogelijkheden voor het maken van gasvormige brandstoffen. We beperken we ons in eerste instantie tot de mogelijkheden van waterstof: wat zijn de kansen van een waterstofeconomie? Daarna gaan we kort op enkele andere opties in.

4.1. Productie en gebruik van waterstof

Wat wordt verstaan onder 'de waterstofeconomie'?

De waterstofeconomie is een metafoor voor een wereld waarin waterstof de belangrijkste energiedrager is, dus de economie op waterstof draait. Een groot voordeel van het gebruik van waterstof is dat bij de verbranding ervan geen CO₂ of andere verbrandingsgassen vrijkomen. Wel moet worden onderkend dat waterstof geen energiebron is maar een energiedrager. Het moet dus uit andere energiebronnen worden gemaakt.

Overschakelen op waterstof om in onze behoefte aan schone energiedragers te voorzien, vergt een majeure operatie. Er moeten nieuwe conversietoestellen (bijv. brandstofcellen) worden geïntroduceerd voor de productie van warmte en/of elektriciteit. Er moet een veilig en betrouwbaar transport- en distributienet voor waterstof worden aangelegd. En - last but not least - er moet waterstof worden gemaakt.

Elders (in IJsland) bestaan plannen om met deze omschakeling ('transitie') reeds op korte termijn een begin te maken.

Wat kun je allemaal met waterstof?

Waterstof kan op diverse manieren als energiedrager worden ingezet.

- In de gebouwde omgeving, via bijmenging in het huidige aardgasnet. Tot 3% bijmenging (op volumebasis) is zonder meer mogelijk, dus zonder aanpassingen aan gasnet of conversieapparatuur. Als oude apparatuur wordt vervangen kan tot 12% in het huidige net worden bijgemengd en tot 25% als ook het net wordt vernieuwd (ECN, 2004). Bijmengen van waterstof is wel een relatief dure optie om CO₂ uitstoot tegen te gaan.
- In de gebouwde omgeving en industrie, als vervanger van aardgas. Waterstof kan in STEG-centrales worden ingezet (elektriciteitssector; industrie) en in brandstofcellen die thans in ontwikkeling zijn (gebouwde omgeving; elektriciteitssector; industrie; transportsector).
- Als buffermedium voor elektriciteit uit hernieuwbare bronnen die een wisselende productie kennen (wind; zon). Daarbij wordt door elektrolyse elektrische energie omgezet in waterstof energie. Later kan de waterstof dan weer in elektrische energie

worden omgezet, bijvoorbeeld met behulp van een brandstofcel. Vanwege het lage omzettingsrendement en de hoge kosten van dit proces, is opslag in waterstof alleen een optie als andere opslagmethoden geen soelaas (meer) bieden.

- Als transportbrandstof. Het voertuig moet zijn uitgerust met een brandstofcel en met elektrische aandrijving. Er zijn twee mogelijkheden: er wordt rechtstreeks waterstof getankt, of er wordt benzine (of een andere brandstof, zoals methanol) getankt, waarna in het voertuig - via een reformer - uit de brandstof waterstof wordt gemaakt voor gebruik in de brandstofcel. Deze opties zijn thans niet concurrerend met andere mogelijkheden om bij transport tot energiebesparing en vermindering van emissies te komen.

Hoe komen we aan waterstof?

Waterstof is geen energiebron, maar een energiedrager die, net als elektriciteit, moet worden geproduceerd. Dat kan op verschillende manieren:

- Het meest toegepast is de productie van waterstof uit fossiele brandstoffen. Dit kan via reforming van aardgas, via vergassing van kolen, et cetera, al dan niet in combinatie met productie van elektriciteit (*co-productie*) en afvang en opslag van CO₂ (CCS).
- Het kan ook uit biomassa worden gemaakt, bijvoorbeeld via vergassing, eventueel te combineren met CO₂ afvang en opslag (waardoor de concentratie van CO₂ in de atmosfeer op den duur zelfs kan worden verlaagd!)
- Ook is elektriciteit te gebruiken: waterstof kan dan worden geproduceerd via elektrolyse van water. De benodigde stroom kan afkomstig zijn uit fossiele brandstoffen, uit kernenergie, maar ook uit hernieuwbare energiebronnen.
- Er wordt onderzoek gedaan naar ook andere productievormen, zoals de productie van waterstof met behulp van warmte van zeer hoge temperatuur (bijv. in kerncentrales) en met behulp van zonlicht.

En wat kost het?

Op dit moment is de enige technologie die qua rendement en kosten voor grootschalige productie van waterstof in aanmerking komt de reforming van aardgas. Daarnaast lijkt waterstofproductie uit steenkool economische mogelijkheden te bieden. Beide routes kunnen met het afvangen en opslaan van CO₂ worden gecombineerd. De optie die daarna qua kosten aantrekkelijk is, is omzetting van bio-energie in waterstof. Heel duur is het maken van waterstof uit elektriciteit, bijvoorbeeld uit kernenergie, windenergie of zonne-energie, zie figuur 1 (uit: ECN, 2004).

Wat kan de bijdrage van waterstof zijn aan een duurzame energievoorziening?

Bij (op volumebasis) 10% bijmenging van waterstof in het aardgas dat in 2050 in de gebouwde omgeving wordt gebruikt, kan in Nederland jaarlijks naar verwachting 1 Mton CO₂ emissiereductie bereikt worden.

Een verdergaande reductie komt in beeld als het aardgas geheel door waterstof kan worden vervangen. Stel dat in 2050 25% van de gebouwde omgeving is overgeschakeld van aardgas naar waterstof, dan wordt naar schatting 8 Mton minder CO₂ uitgestoten (ECN, 2004).

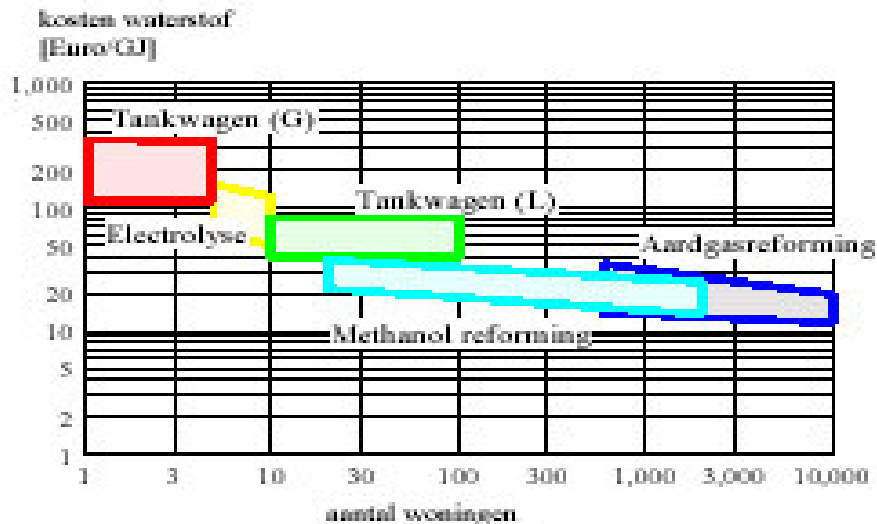
Waterstof kan ook een dominante energiedrager in de transportsector worden; daarvoor is wel nodig dat er een gedetailleerde waterstofinfrastructuur wordt ontwikkeld.

Bij het toepassen van brandstofcellen neemt door het waterstofgebruik ook de NO_x emissie af. Daar waar dieselmotoren worden vervangen is het ook positief voor het

terugdringen van fijn stof emissies.

We kunnen concluderen dat de bijdrage van waterstof aan CO₂ emissiereductie en de reductie van andere emissies aanzienlijk kan zijn, mits de waterstof klimaatneutraal wordt geproduceerd. Wel moet worden beseft dat het thans een hele dure optie is. Het zal waarschijnlijk nog decennia vergen voordat grootschalige toepassing van waterstof mogelijk wordt.

Figuur 1: Verschillende technologieën voor de productie/levering van waterstof in de gebouwde omgeving: indicatieve kosten en karakteristieke schaalgroottes. Bron: ECN, 2004.



Hoever zijn de toepassingen momenteel ontwikkeld?

Het transport van waterstof via een distributienet is technisch geen probleem. De kosten van aanleg van een 100% waterstofnet zijn nog onderwerp van onderzoek. Wanneer waterstof wordt bijgemengd in het huidige aardgasnet, beperken de kosten zich tot de productie van waterstof. De waterstof is wel aanmerkelijk duurder dan het aardgas. Waterstof wordt nu al op flinke schaal geproduceerd en toegepast in de industrie (raffinaderijen, kunstmestproductie, ammoniakproductie). Via reforming met behulp van stoom wordt het uit aardgas gemaakt. In de Rotterdamse haven ligt voor het transport van waterstof een leidingstelsel (distributienet), inclusief een opslagfaciliteit.

Er rijden thans, op experimentele basis, enkele voertuigen op waterstof. Een voorbeeld is de proef in tien Europese steden, waaronder Amsterdam, met stadsbussen. De meeste autofabrikanten hebben ook al auto's rondrijden, maar die ontwikkeling loopt achter op de bussen, met name vanwege het ontbreken van een economische oplossing voor waterstofopslag in het voertuig en de hoge kosten van de brandstofcel.

Eerste experimenten met kleinschalige stationaire brandstofcellen in woningen, voor de productie van warmte en elektriciteit (micro-WKK), worden thans uitgevoerd. Hierbij wordt aardgas met behulp van stoom via een reformer in de woning omgezet in waterstof en CO₂.

Wat moet er nog worden verbeterd?

De kosten van onder meer opslag en van conversietechnieken (brandstofcellen) moeten aanzienlijk omlaag en de toepasbaarheid vergroot om te kunnen concurreren met andere opties. Daarbij moet worden bedacht dat de prijs/prestatie verhouding van andere opties ook steeds beter wordt. In de hele waterstofketen (productie, transport, opslag, omzetting) moeten de omzettingsrendementen worden verbeterd. Ook moeten bij fossiel brandstofgebruik de kosten van CO₂ afvang en opslag worden verlaagd. Daarnaast is de veiligheid van waterstofgebruik een punt van aandacht.

Wat kan Nederland bijdragen; wat zijn speerpunten?

Het kunnen beschikken over waterstof is op lange termijn vrijwel een vereiste wanneer de brandstofcel echt doorbreekt¹⁷. Verdere ontwikkeling van de brandstofcel is hierbij cruciaal, waarbij de ontwikkelingen in de auto-industrie thans bepalend zijn. Nederland kan aan deze ontwikkeling slechts een beperkte bijdrage leveren.

Waterstof zal voorlopig primair uit fossiele brandstoffen worden gemaakt, later naar verwachting uit biomassa. Combinatie met CO₂ verwijdering en opslag is hierbij een nieuwe technologie. Nederland kan op dit gebied een betekenisvolle rol spelen.

Grootschalige inzet van waterstof vereist infrastructuur. Dat is technisch geen probleem, maar wel duur, zeker zolang de benodigde doorbraken bij de ontwikkeling van brandstofcelauto nog niet gerealiseerd zijn. Het tijdig uitvoeren van experimenten – niet te laat maar ook niet te vroeg! - in transport, industrie en gebouwde omgeving, is van belang om ervaring op te doen en marktontwikkeling mogelijk te maken.

Onderzoek naar het maken en toepassen van waterstof heeft de laatste jaren weer veel aandacht. Diverse overheden (bijv. DoE USA, Europese Commissie) en onderzoeksorganisaties (bijv. NWO) maar ook bedrijven (bijv. auto-industrie, AKZO, Shell) geven er geld aan uit. Gezien de op te lossen problemen zal het echter nog lange tijd (decennia) duren voordat 'de waterstofeconomie' werkelijk in zicht komt.

4.2. Andere gasvormige brandstoffen

Zijn uit biomassa ook andere gasvormige brandstoffen te maken?

Dat kan inderdaad. Via vergisting kan uit biomassa biogas (voornamelijk methaan) worden gemaakt. Op kleine schaal wordt dit wereldwijd al veelvuldig toegepast. Ook via vergassing kan een methaanrijk gas worden geproduceerd, SNG genaamd: Substitute Natural Gas. In Nederland wordt het ook wel *groen aardgas* genoemd. De technieken om dit te doen zijn in het ontwikkelingsstadium. Onder meer ECN en Gastec werken eraan.

¹⁷ Opgemerkt moet worden dat er ook brandstofcellen zijn die andere brandstoffen kunnen verwerken bij de omzetting naar elektriciteit.

Uit biomassa kan via vergassing ook DME (dimethyl ether) worden gemaakt dat is te gebruiken als een relatief schone brandstof voor bijvoorbeeld verbrandingsmotoren, net als LNG. De kosten hiervan zijn thans hoog.

Zijn er ook andere interessante ontwikkelingen?

Een van de schoonste fossiele brandstoffen is aardgas. Aardgas is breder inzetbaar dan thans gebeurt. Zo is toepassing van aardgas in de transportsector een optie die vaak wordt genoemd maar nog weinig wordt toegepast. Nederland zou op dit gebied, gezien haar mogelijkheden, een grotere rol kunnen spelen.

Een interessante techniek voor landen die over grote en goedkoop winbare voorraden steenkool beschikken (zoals China) kan wellicht de productie van DME (zie hierboven) via vergassing van steenkool zijn.

5. VLOEIBARE BRANDSTOFFEN UIT BIOMASSA

Uit biomassa kunnen vloeibare biobrandstoffen worden gemaakt. Er zijn vele typen zoals: biodiesel (RME) uit koolzaad; biodiesel uit houtige gewassen (via vergassing en Fischer-Tropsch synthese); ethanol uit suikerriet, graan of suikerbieten; ethanol (via hydrolyse) uit houtige gewassen; methanol uit houtige gewassen (via vergassing), en ETBE (dat half uit biomassa, half uit aardolie wordt gemaakt).

Waar en in welke mate worden biobrandstoffen al toegepast?

Productie en toepassing staan in Nederland nog aan het begin. In andere landen is men verder. Bijvoorbeeld in Frankrijk waar men 5% biodiesel bijmengt en in Zweden waar ethanolbussen rijden. Ook in Duitsland wordt relatief veel biodiesel toegepast. Op de wereldmarkt voor biobrandstoffen speelt de EU overigens een ondergeschikte rol t.o.v. Brazilië en de VS. In verschillende landen is wel aanzienlijke uitbreiding gepland. Zo streeft de EU ernaar dat in 2010 de transportbrandstoffen voor 5,75% uit biomassa zijn gemaakt.

Commerciële toepassing - veelal gesubsidieerd door de overheid - is er voor biodiesel uit oliezaad en voor bio-ethanol / ETBE uit vooral suikerriet. Voor de overige biobrandstoffen is er nog geen volledige keten van productie tot-en-met eindgebruik en bevinden de conversietechnieken zich meestal nog in de RD&D fase. Op pilot schaal zijn recent methanol en Fischer-Tropsch diesel via vergassing uit biomassa geproduceerd (Duitsland). Commerciële toepassing wordt pas na 2010 verwacht (ECN, 2004).

Wat kost het?

Aan de UU is de afgelopen jaren onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van biobrandstoffen. Daaruit ontstaat voorlopig het volgende beeld:

Het maken van biodiesel uit koolzaad kost momenteel ongeveer 25 € per GJ. Voor ethanol uit suikerriet is dit ca. 11 € per GJ en voor ethanol uit suikerbieten ca. 40 € per GJ. Ter vergelijking: het produceren van conventionele benzine en diesel kostte de afgelopen tien jaar 2,5 - 7 € per GJ, afhankelijk van de olieprijs. Aan de pomp betaalt men er, zoals bekend, veel meer voor. In mei 2004 kostte benzine in Nederland ca. 31 € per GJ (1,1 € per liter) en diesel ca. 18 € per GJ (0,7 € per liter).

De prijs van biodiesel uit koolzaad en van ethanol uit suikerbiet zal de komende jaren naar verwachting nog wat kunnen zakken maar relatief duur blijven. De prijs van ethanol uit suikerriet kan onder gunstige omstandigheden omlaag naar uiteindelijk ca 8 € per GJ.

Voor nieuwe technieken om biobrandstoffen uit houtige gewassen te maken, is het beeld dat methanolproductie thans waarschijnlijk ca 12 € per GJ zou gaan kosten (op termijn wellicht 9 € per GJ), ethanol ca 22 € per GJ (op termijn wellicht 11 € per GJ), en FT diesel ca 18 € per GJ (op termijn wellicht 13 € per GJ).

Overigens: het maken van waterstof uit houtige gewassen (via vergassing) zou nu waarschijnlijk zo'n 16 € per GJ gaan kosten (op termijn wellicht 9 € per GJ).

Dit overzicht laat zien dat transportbrandstoffen uit biomassa uiteindelijk alleen goedkoper geproduceerd kunnen worden dan de conventionele als men aanneemt dat de conventionele brandstoffen belangrijk in prijs zullen stijgen, bijvoorbeeld door internalisering van externe kosten (waaronder een CO₂ tax) of door sterke stijging van de olieprijs (zo kostte de geproduceerde benzine en diesel in 1980 ca 14-15 € per GJ).

Wat zijn de toekomstmogelijkheden?

Over de toekomstmogelijkheden van biobrandstoffen wordt verschillend gedacht. Het zal vooral afhangen van de concurrentiepositie van biobrandstoffen t.o.v. verbeterde benzine- en dieselloepassing, aardgas en waterstof. De technologische ontwikkeling in de conversie van biomassa en de uiteindelijke prijs die per km transport moet worden betaald zijn ook bepalende factoren. En tenslotte is er de concurrentie met het gebruik van biomassa voor elektriciteitsopwekking (wat thans aantrekkelijker is) en als *feedstock* voor de productie van goederen en materialen.

Wil de automobilist het?

Met vloeibare biobrandstoffen kan de mobiliteitsbehoefte op vrijwel onveranderde wijze worden vervuld. Als de productie van biomassa verantwoord plaatsvindt (m.b.t. voedselvoorziening en behoud biodiversiteit), is het draagvlak naar verwachting positief. Bij methanol is er wel een zorgpunt, vanwege veiligheidsaspecten. De vraag die rest is vooral wat het de consument (resp. de belastingbetaler) gaat kosten.

Wat zou Nederland kunnen doen?

Op Europees niveau is er een stimuleringsbeleid voor het inzetten van biobrandstoffen (richtlijn 2003/30/EG), te weten 2% in 2005 en 5,75% in 2010. Deze richtlijn moet in Nederland nog worden geïmplementeerd. De genoemde streefcijfers in de richtlijn zullen in Nederland niet eenvoudig gehaald kunnen worden, omdat het gebruik van biobrandstoffen hier nog in de kinderschoenen staat.

Bovendien kunnen thans alleen maar relatief dure opties worden ingezet. De vraag is of van zo'n inzet niet een verkeerd signaal uitgaat. Vooral ontwikkeling van nieuwe technologie zou gestimuleerd moeten worden. Op termijn zou dat wel eens veel kosteneffectiever kunnen zijn dan nu biobrandstoffen te subsidiëren die op termijn weinig kansrijk lijken.

Gezien de kennis en industrie in Nederland zou wellicht vooral op biomassavergassing en Fischer-Tropsch synthese moeten worden ingezet, naast het analyseren en stimuleren van andere kansrijke routes. Meer algemeen gesteld moeten we ons richten op het veredelen van bio-energiestromen en op het benutten van logistieke mogelijkheden (import en verwerking van bio-brandstoffen, zie ook paragraaf 3.6).

6. NIEUWERE VORMEN VAN WARMTEOPWEKKING

Veel warmte wordt in Nederland in combinatie met elektriciteit geproduceerd, zowel in de elektriciteitssector (stadsverwarming) als in de industrie (WKK). De ontwikkeling van verbeterde technieken hiervoor is reeds aan de orde geweest (zie paragraaf 3.1). In de gebouwde omgeving is warmte nodig voor tapwater en ruimteverwarming. Er zijn een aantal technieken om de warmteproductie meer duurzaam te maken. Tabel 6 geeft hiervan een overzicht. We onderscheiden geavanceerd fossiel en hernieuwbaar. Deze technieken moeten concurreren met de conventionele HR-ketel.

Tabel 6. Opties voor een milieuvriendelijker warmteaanbod in de gebouwde omgeving

Stadsverwarming	Restwarmte uit elektriciteitscentrale of AVI of uit een gasmotor WKK in de wijk via warmtedistributienet	Commercieel toepasbaar, maar op dit moment relatief duur
Mini/micro WKK	Een soort elektriciteit leverende CV-ketel waarvoor 3 technologieën in beeld zijn: stirlingmotor, brandstofcel, gasmotor	Experimenteel stadium, veldtest
Warmtepomp	Onttrekt warmte aan de omgeving, verhoogt de temperatuur van de warmte door compressie of absorptie en geeft de warmte vervolgens af.	Demonstratiefase en eerste introductie (275 MWth geplaatst).
Zonneboiler	Zonnecollector en voorraadvat.	Commercieel toepasbaar. In 2002 stonden in NL 68.000 zonneboilers.

De HR-ketel kan technisch niet verder verbeterd worden naar een nog hoger rendement. De ketel wordt thans in Nederland op grote schaal toegepast. Door combinatie met bijvoorbeeld een zonneboiler of warmtepomp kan het omzettingsrendement van het totale systeem wel worden verhoogd.

Een andere optie is micro-warmtekrachtkoppeling: het gecombineerd opwekken van warmte en elektriciteit op huishoudelijke schaal, bijvoorbeeld met behulp van een brandstofcel. Onduidelijk is nog in hoeverre micro-WKK werkelijk tot energiebesparing leidt. Hoewel duur, kan het bij inzet van waterstof wel tot vermindering van CO₂ uitstoot leiden.

Is dat niet allemáál erg duur?

Een HR-ketel kost ca. € 2000 in bestaande bouw en € 1500 bij nieuwbouw. Toepassing van een warmtepomp kost € 4500 tot € 9000 per woning. Een zonneboiler ruim € 2500 en een zon-gas-combi € 5000. De meerkosten van een micro-WKK installatie t.o.v. een HR-ketel zijn thans minimaal € 5000. De kosten voor een warmtedistributienet bij

stadsverwarming zijn € 5000 per woning, veel duurder dan een aardgasaansluiting. Met andere woorden: ja, alle alternatieven zijn duurder tot zeer veel duurder. Wel leiden ze, onder voorwaarden, tot vermindering van emissies.

Is er al een zinnige keuze te maken tussen de opties?

De warmtevraag voor ruimteverwarming daalt terwijl de vraag naar warm tapwater stijgt. Warmtedistributie wordt financieel steeds moeilijker. Warmtepompen worden de laatste jaren steeds aantrekkelijker, maar blijven toch nog duur. Inzet van de zonneboiler wordt steeds logischer vanwege de toenemende vraag naar warm tapwater en het belang van brandstofbesparing (emissiereductie) daarbij.

Voor een micro-WKK geldt dat een hogere warmtevraag de rentabiliteit bevordert (er kan meer stroom worden verkocht), dus waarschijnlijk een goede optie is voor de bestaande bouw (want minder geïsoleerd). Bij nieuwbouw bespaart een micro-WKK op aardgas weinig energie t.o.v. gescheiden elektriciteitsopwekking en een zon-gas-combi. Hier zal dus de uiteindelijke kostprijs van belang zijn.

Wat kan de bijdrage aan vermindering van de CO₂ uitstoot zijn?

Stel er zijn in 2050 1 miljoen zonneboilers geplaatst. Er wordt dan in de huishoudelijke sector 0,3 Mton CO₂ emissie per jaar vermeden. Voor de ruim 6 miljoen woningen die Nederland telt is het reductiepotentieel dus ongeveer 2 Mton CO₂ per jaar.

Door in huishoudens 1 miljoen warmtepompen te plaatsen, kan in 2050 de CO₂ emissie naar schatting ook met 0.3 Mton worden teruggebracht.

Duidelijk is dat op de totale warmtevraag in de gebouwde omgeving (thans resulterend in ca. 30 Mton CO₂ emissie per jaar) met milieuvriendelijke en efficiënte warmteproductietechnieken een CO₂ emissiereductie van hooguit enkele megatonnen te behalen valt.

Wat is dus de conclusie?

Toepassing van zonneboilers en warmtepompen op grote schaal zal niet lukken zonder specifiek daarop gericht overheidsbeleid.

De toepassing van zonneboilers in Nederland is een markt waar de Nederlandse overheid invloed op kan uitoefenen. Op het gebied van de ontwikkeling, verbetering en toepassing van de zonneboiler bezit Nederland, gezien kennis, ervaring, infrastructuur en industriële productiecapaciteit, een sterke positie. Dit geldt zeker voor de Nederlandse markt. Uitbouw hiervan naar de Europese markt behoeft nog steeds aandacht.

Ontwikkeling en toepassing van warmtepompen gebeuren in hoge mate buiten Nederland. Nederland moet op dit gebied kennis ontwikkelen gericht op implementatie.

Het succes van micro-WKK is zeer afhankelijk van ontwikkelingen rondom de lage temperatuur brandstofcel. Deze ontwikkelingen vinden bijna geheel buiten Nederland plaats en zijn vooral gericht op toepassing van deze brandstofcel in de vervoerssector (auto's, bussen).

Gezien de beperkte bijdrage van genoemde technieken aan CO₂ emissiereductie en de bescheiden rol van Nederland in het internationale veld, lijken deze technieken geen 'natuurlijke' speerpunt voor het technologiebeleid van Nederland. Een uitzondering hierop lijkt de zonneboiler zijn.

7. ENERGIEBESPARING

Dat verbetering van de energie-efficiëntie een bijdrage levert aan een duurzamere energiehuishouding behoeft geen toelichting. Minder energie gebruiken betekent minder emissies en vervuiling, lagere energiekosten, een geringere kwetsbaarheid voor energieprijsstijgingen, een geringere importafhankelijkheid, en een minder snelle uitputting van schaarse hulpbronnen. Een zo laag mogelijke energiebehoefte, bijvoorbeeld in huishoudens, leidt doorgaans ook tot betere mogelijkheden om die behoefte (deels) met hernieuwbare energiebronnen te dekken. In deze dit hoofdstuk gaan we na wat we van energiebesparing kunnen verwachten. Daarbij richt beperken we ons tot mogelijkheden om minder energie te gebruiken door de efficiency van ons gebruik te verbeteren. Ook geven we enige aandacht aan de mogelijkheden van verbetering van materiaalefficiency en van substitutie van materialen.

7.1. Energiegebruik en verbetering van de energie-efficiency in Nederland

Hoe heeft het energiegebruik in Nederland zich de afgelopen decennia ontwikkeld?

Tabel 7 geeft een beeld van het primaire energiegebruik in Nederland tussen 1990 en 2000, totaal en in diverse sectoren. Het energiegebruik wordt mede bepaald door de economische ontwikkeling. Daarom geven we in figuur 2 hoe de relatie tussen economische ontwikkeling en energiegebruik er vanaf 1950 uitziet.

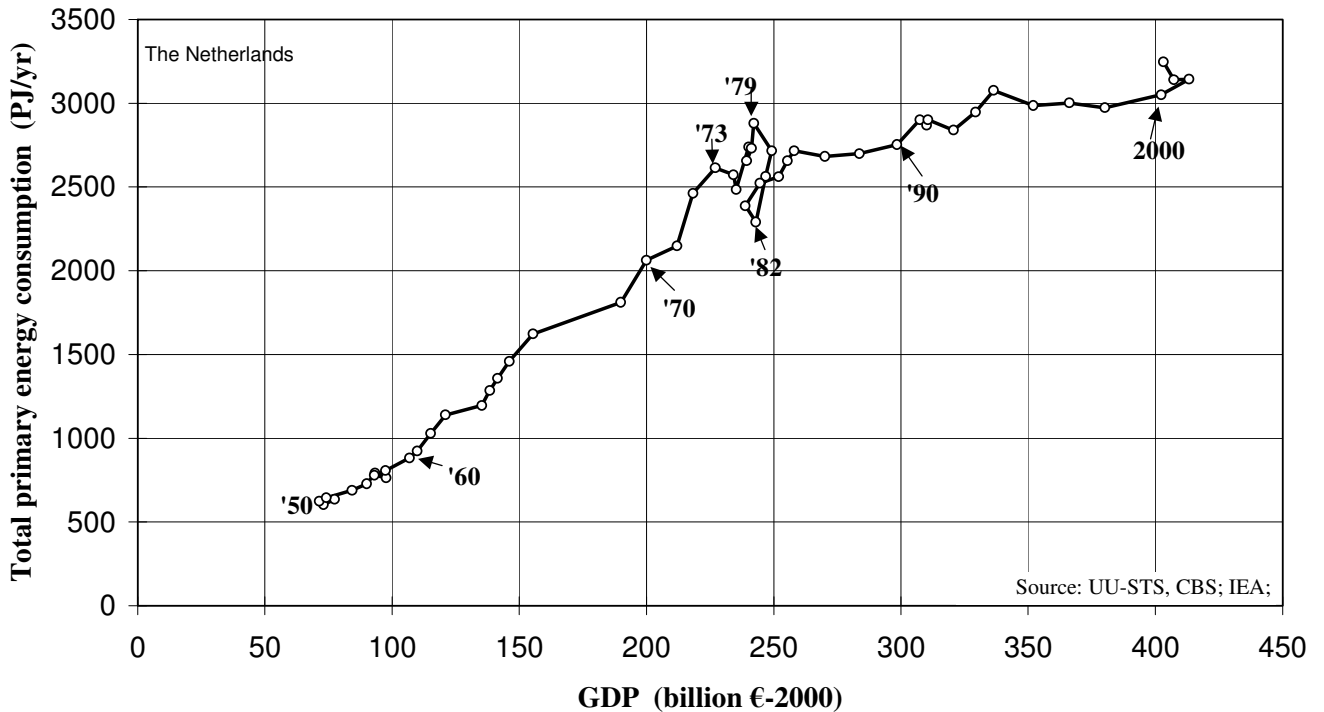
Tabel 7. Primair energiegebruik (PJ) in Nederland in de jaren 1990, 1995 en 2000. (Bron: SenterNovem, Utrecht, 2004).

	1990	1995	2000
Huishoudens	518	569	604
Industrie	1.167	1.243	1.298
Land- en tuinbouw	186	211	232
Handel, diensten, overheid	418	443	542
Transport	414	464	510
Totaal	2.703	2.930	3.186

Wat zegt figuur 2 over de ontwikkeling van de energie-efficiency in Nederland?

De figuur laat zien dat het mogelijk is economisch sterk te groeien terwijl het energiegebruik min of meer constant wordt gehouden: in 1999 was het energiegebruik bijna even hoog als in 1979 terwijl in die periode de economie (het BBP) groeide van ca. 240 naar ca. €380 miljard. Dit is vrijwel geheel te danken aan verbetering van de efficiency waarmee energie wordt gebruikt. De figuur laat echter ook zien dat sinds 2000 het energiegebruik toeneemt. Deze trend is geheel anders dan we rond 1980 konden waarnemen: toen ging stagnatie van de economie gepaard met afname van de energieconsumptie.

Figuur 2: De ontwikkeling van het primaire energiegebruik en het BBP in Nederland sinds 1950 (Bron: Copernicus Instituut, Universiteit Utrecht)



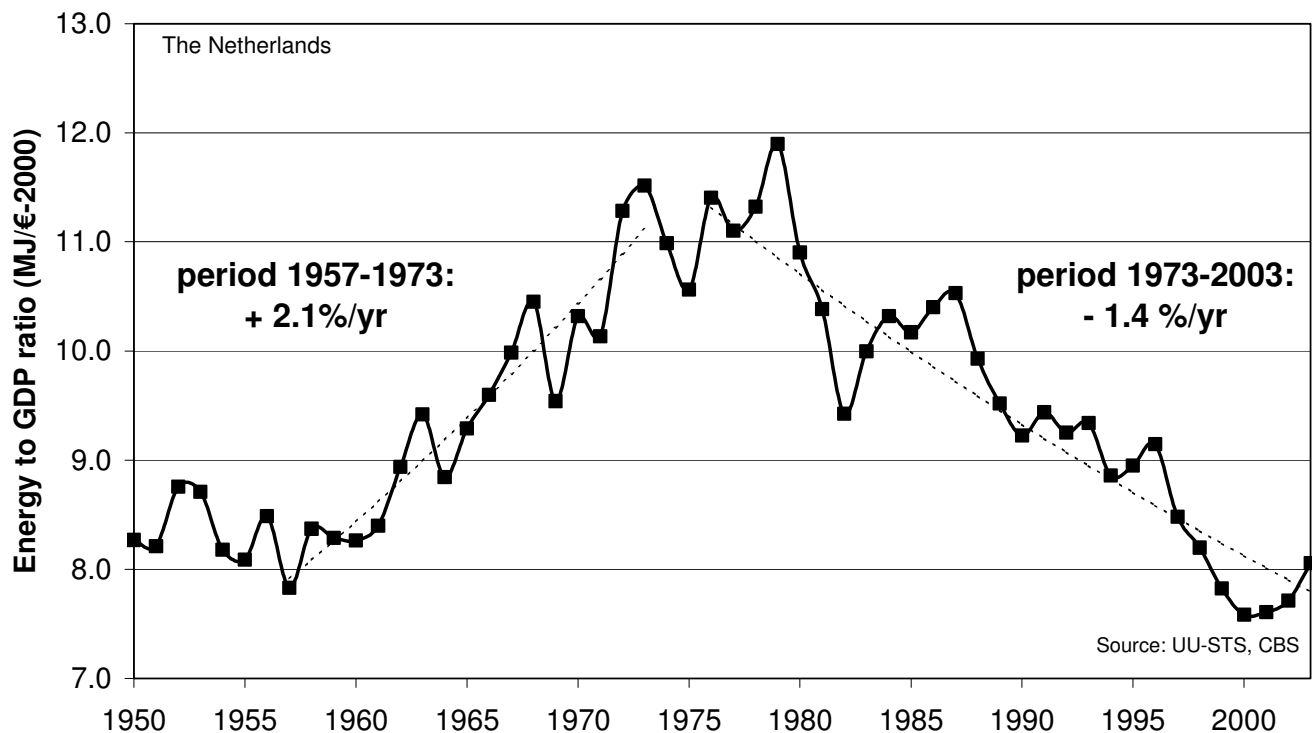
Door het energiegebruik per jaar en het BBP per jaar op elkaar te delen, krijgen we de energie-intensiteit van de economie. In figuur 3 wordt voor Nederland het verloop van de energie-intensiteit in de afgelopen decennia weergegeven.

Figuur 3 laat zien dat de energie-intensiteit van onze economie sinds de oliecrises van de jaren zeventig van de vorige eeuw belangrijk is gedaald. In enkele perioden was die daling meer dan 2% per jaar. De laatste tien jaar is de energie-intensiteit met ca. 1,4 % per jaar afgenomen. Hetzelfde getal vinden we voor de periode 1973-2002 (zie figuur 3). Die afname is vrijwel geheel te danken aan verbetering van de energie-efficiency.

Op welke efficiencyverbetering is het beleid in Nederland gericht?

Het beleid in Nederland was er tot voor kort op gericht de efficiency jaarlijks met 2% te verbeteren. Autonoom, dus zonder een hierop gericht overheidsbeleid, gebeurt dit met ongeveer 1% per jaar. Omdat de praktijk de laatste jaren een lagere efficiencyverbetering laat zien dan beoogd, is in 2002 het ambitieniveau aanmerkelijk teruggeschroefd. Het beleid is er thans op gericht het niveau dat in de laatste tien jaar is gehaald (een verbetering met ca. 1,3 % per jaar) te handhaven [EZ, 2000, pag. 48]. Gezien het verloop sinds 2000 en de afgenomen aandacht voor energiebesparing in Nederland, mogen we er echter niet al te zeker van zijn dat dit lagere niveau in ieder geval wordt bereikt.

Figuur 3: De ontwikkeling van de energie-intensiteit van de Nederlandse economie sinds 1950 (Bron: Copernicus Instituut, Universiteit Utrecht)



Een hoog niveau van efficiencyverbetering kan alleen worden bereikt als dit ook in het buitenland wordt nagestreefd. Pas sinds kort krijgt energiebesparing in de beleidsontwikkeling van de Europese Commissie meer aandacht. Er ligt een voorstel van de Commissie om de energie-efficiency additioneel met 1% te verbeteren, boven op de verbetering die autonoom wordt gerealiseerd. Dit betekent in de praktijk een te realiseren verbetering van om-en-nabij 2% per jaar.

Neemt door verbetering van de energie-efficiency de energieconsumptie niet toe?

Inderdaad is er bij energiebesparing sprake van een zeker *rebound effect*: naarmate de activiteit (door besparing) minder energie vraagt, wordt het energiegebruik goedkoper waardoor het gebruik van energie wordt gestimuleerd. Dit effect doet naar schatting 15-25 % van de efficiencyverbetering teniet, een beperkt effect dus.

Dat het verbeteren van de energie-efficiency aanmerkelijk effect heeft is zichtbaar in de ontwikkeling van ons nationale energiegebruik gerelateerd aan de ontwikkeling van ons BBP (zie figuur 2): tussen 1979 en 1999 was er in Nederland netto nauwelijks toename van het binnenlands energiegebruik terwijl de economie met ca. 60% groeide. Dit wordt *ontkoppeling* genoemd.

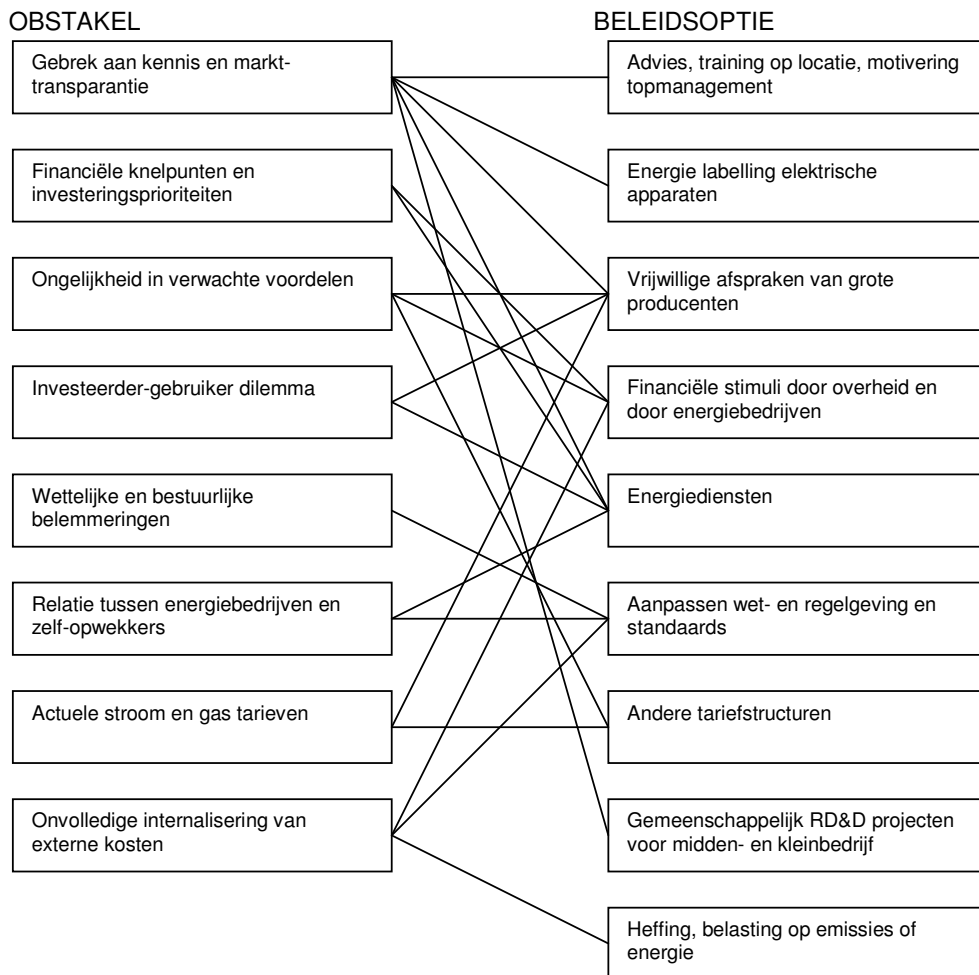
Is een jaarlijkse verbetering van de energie-efficiency met 2% haalbaar?

De Verkenningcommissie Energieonderzoek publiceerde in 1996 een rapport waarin werd gesteld dat het in beginsel mogelijk is de energie-efficiency tussen 1990 en het midden van de 21^{ste} eeuw met een ongeveer een factor 4 te verbeteren. Gemiddeld zou dit neerkomen

op een verbetering met ca. 2% per jaar. Diverse andere studies, waaronder de World Energy Assessment van UNDP, UN-DESA en de World Energy Council (WEA, 2000), bevestigen dit beeld. Ook de studie Ecofys die in opdracht van VROM-raad en Energieraad is uitgevoerd komt tot deze conclusie (Ecofys, 2004)

Veel besparingsmogelijkheden zijn commercieel beschikbaar. Veel nieuwe mogelijkheden vergen onderzoek en ontwikkeling. Veel bestaande energiebesparingstechnieken verdienen zich binnen de levensduur terug; toepassing ervan zou de energie-intensiteit van ons land met 25-30 % kunnen reduceren. Toch worden ze om een reeks van redenen lang niet altijd toegepast. Figuur 4 geeft een aantal barrières voor het verbeteren van de energie-efficiency. Ook staat aangegeven welke beleidsinstrumenten zoal worden ingezet om deze barrières (deels) te slechten. Belangrijke barrières zijn ook dat de fractie energiekosten als onderdeel van de totale kosten veelal laag is. Daarnaast is een barrière het bestaan van 'lock-in' op conventionele technologie.

Figuur 4: Obstakels en beleidsopties voor verbetering van de energie-efficiency (Bron: World Energy Assessment, UNDP, New York, 2000).



Een gedetailleerd overzicht van besparingsmogelijkheden in Nederland wordt gegeven in het databestand ICARUS-4 (2001) dat door de Universiteit Utrecht is ontwikkeld. Een recent overzicht wordt ook gegeven in de studie van Ecofys (Ecofys, 2004). Hieronder worden voor de belangrijkste gebruiksectoren de conclusies samengevat

7.2. Energiebesparing in de industrie

Het primaire energiegebruik van de Nederlandse industrie was in 2000 ongeveer 1300 PJ (zie tabel 7). De grootste energievraag zit in de chemische industrie, de raffinage, de basismetaalindustrie en de papier- en kartonindustrie. Het gaat met name om directe verhitting in processen (fornuizen, ovens) en de productie van stoom. Ook het energiegebruik in de voedings- en genotmiddelen sector is van betekenis, zij het dat het vaak om veel kleinere bedrijven gaat. In deze bedrijfstakken wordt veel warmte/kracht (WKK) ingezet.

Hoeveel energie kan de industrie nog besparen?

Op de korte en middellange termijn kan veelal nog enkele tientallen procenten bespaard worden. Op de lange termijn, afhankelijk van RD&D op dit gebied, kan nog meer bespaard worden. Technisch lijkt het mogelijk is om, op de lange termijn, de energie efficiency te verbeteren met een factor 1,5-2. Het economisch potentieel is op middellange termijn grofweg de helft hiervan (Ecofys, 2004).

Een substantiële verbetering van de energie efficiency is in vrijwel iedere industriesector mogelijk. Het gaat wel vaak om maatwerk, dus om procesgebonden oplossingen. In sommige gevallen betreft het ingrijpende veranderingen in het productieproces zelf, in feite het bouwen van een nieuwe fabriek.

Bij het verbeteren van de energie-efficiency van processen in de industrie gaat het om verbeterde of nieuwe technieken voor smelten, gieten, drogen, koelen, steriliseren, kraken, scheiden, transporteren, et cetera. Ook kan het gaan om een betere integratie van de verschillende processtappen. Naast verbetering of vernieuwing van de processen, kan het energieverbruik worden verminderd door bijvoorbeeld materiaalefficiënt productontwerp, recycling van materialen, en materiaalsubstitutie. De industriesector besteedt hier thans aandacht aan in het kader van de nieuwe generatie meerjarenafspraken.

Wat zijn de belangrijkste barrières in Nederland?

Belangrijke barrières zijn:

- Globalisering van bedrijvigheid: beslissingen investeringen nieuwe fabrieken worden in toenemende mate internationaal en niet nationaal genomen.
- Kosten: de industrie eist een korte terugverdientijd bij hun investeringen, vaak 1-3 jaar. Wordt de terugverdientijd langer, dan krijgen andere investeringen al snel de voorkeur.
- De in veel gevallen lage energiekosten als onderdeel van de totale productiekosten.
- Technologieontwikkeling; RD&D is nodig voor de (verdere) ontwikkeling van doorbraaktechnieken. Omdat investeringen hierin risicovol zijn en zich mogelijk pas op (middel)lange termijn terugverdienen, heeft dit in de industrie doorgaans

- geen prioriteit
- De relatief lage elektriciteitsprijs en hoge gasprijs (voor WKK met een lage bedrijfstijd).

Wat kan Nederland daaraan doen? Zijn voorbeelden te geven?

- Vormgeving aan energiebesparingsbeleid op internationaal niveau.
- Meerjarenafspraken met bedrijfstakken over verbeteringen van de energie-efficiency die belangrijk verder gaan dan wat autonoom al gebeurt.
- Partnerships tussen overheid en bedrijfsleven toegespitst op de ontwikkeling van doorbraaktechnieken in gezamenlijk gefinancierde programma's.
- Internalisering van externe kosten (CO₂ tax; CO₂-emissiehandel).
- Regelgeving, zoals het vaststellen van standaards waaraan technologieën over 10 of 20 jaar moet voldoen (zie toepassing hiervan in Californië).

7.3. Energiebesparing in de gebouwde omgeving

De gebouwde omgeving kunnen we verdelen in de sector dienstverlenende bedrijven (kantoren) en de sector huishoudens (woningen). Tabel 8 laat zien hoe in 2002 de energievraag in deze sectoren over de verschillende energiefuncties was verdeeld.

Tabel 8. Primair energiegebruik in 2002 in Nederland in de gebouwde omgeving per functie (Bron: Ecofys, Utrecht, 2004).

	Verwarming	Tapwater	Koelen	Licht	Witgoed	Transport	Overig (appar.)
Kantoren	18 %		17 %	26 %		16 %	23 %
Woningen	68 %	17 %		5 %	6 %		4 %

Hoeveel kan er nog in kantoorgebouwen worden bespaard?

Het technisch besparingspotentieel voor kantoorgebouwen op lange termijn is ruim 90 %. Inclusief apparatuur is dit 80%. Het beeld is dus dat technisch op lange termijn een factor 10 verbetering van de energie-efficiency van de schil van gebouwen mogelijk is. Inclusief apparatuur is dit een factor 5.

In bestaande gebouwen zijn voor alle energiefuncties al op korte termijn forse besparingen mogelijk. De technieken, zoals vermindering ventilatieverliezen, efficiëntere warmte- en koudeopwekking, automatische zonwering, hoogrendement verlichting, en efficiëntere computers, kennen weinig technische inpassingproblemen. De investeringskosten, de lage energiekosten en het niet afgeschreven zijn van bestaande apparatuur vormen veelal de belangrijkste drempel voor vernieuwing. Daarbij is ook een knelpunt dat de voordelen van besparingsmaatregelen lang niet altijd bij de investeerder terechtkomen.

Bij nieuw te bouwen kantoren zijn belangrijke besparingsopties de warmtepomp, een betere passieve benutting van zonne-energie, het gebruik van warmte/koude opslag en het verhogen van de thermische massa van het gebouw. Bij dit laatste is het zoeken naar

bruikbare concepten nog in het onderzoeksstadium.

Door de schaalgrootte is toepassing van aquifers ten behoeve van warmte/koude opslag bij kantoorgebouwen nu al rendabel. Wel kan op den duur de beschikbaarheid van aquifers een knelpunt gaan vormen.

En in woningen?

In woningen wordt energie gebruikt voor ruimteverwarming, verwarming van tapwater, verlichting, witgoed (koelkasten, wasmachines, e.d.) en overige toepassingen (apparaten). Het besparingspotentieel voor nieuwe woningen op korte termijn (15 jaar) is bijna 60%. Op lange termijn (50 jaar) bezien is dit ruim 90%. De energievraag van woningen kan dus vrijwel geheel vermeden worden. Een factor 10 verbetering van de efficiency ligt dus binnen de mogelijkheden.

In nieuwe, goed geïsoleerde en geventileerde woningen is op lange termijn de grootste besparing te realiseren door warmteopslag en door efficiëntere apparaten. Voor nieuw te bouwen woningen zijn op de lange termijn twee scenario's relevant:

- 1) Verdergaande energiebesparing in combinatie met energieopslagsystemen die de warmtebehoefte van een woning tot vrijwel nul reduceren. De behoefte aan een aparte gas- of warmte-infrastructuur kan dan verdwijnen. De energie-infrastructuur is dan in sterke mate geëlektrificeerd.
- 2) De (duurzame) energievoorziening van een woning levert warmte als bijproduct, bijvoorbeeld via een micro-warmtekracht systeem; het verder reduceren van de warmtebehoefte dan als bijproduct beschikbaar is dan niet zinvol.

Op de korte termijn zijn inspanningen gericht op het verbeteren van de huidige woningvoorraad het meest effectief. Oplossingen ter vermindering van het warmteverlies door ventilatie (goede isolatie) en efficiëntere warmteopwekking hebben het meeste effect mede omdat de verwarmingsfunctie thans tweederde deel van de energievraag is. Ook bij de apparatuur is nog een halvering van het energiegebruik mogelijk. Een belangrijke ingreep is het vervangen van de verwarmingsketel door nieuwe efficiëntere apparaten. Interessante ontwikkelingen op dit gebied zijn onder meer de hybride CV ketel (o.a. Gastec Technology), de Stirlingmotor (ontwikkeling in onder andere Nieuw Zeeland en Engeland; in Nederland werkt Enatec eraan) en de gas-warmtepomp.

Wat zijn barrières en wat doet de overheid daar nu aan?

- Voor de lange termijn opties is nog onderzoek en technische ontwikkeling nodig.
- Voor de korte termijn opties zijn in hoofdzaak de kosten het knelpunt. De investering wordt niet snel terugverdiend. Voor particulieren kunnen positieve neveneffecten (bijv. verbetering comfort) soms helpen die drempel te slechten.
- Een probleem is tevens dat de energiekosten vaak slechts een klein deel van de totale uitgaven uitmaken.
- Bij huurwoningen speelt het probleem dat de opbrengsten van de maatregel bij de bewoner terechtkomen en niet direct bij de investeerder.

Voorbeelden van huidig beleid zijn:

- RD&D op het gebied van energiegebruik in de gebouwde omgeving.
- Mogelijkheden voor steun bij het ontwikkelen en demonstreren van nieuwe, energiezuinige apparatuur.

- Subsidies voor besparingsmaatregelen, hoewel deze meer recent wel onderwerp van bezuinigingen zijn.
- Energieprestatienorm bij nieuwbouw, waarbij de discussie is of deze norm niet sneller moet worden aangescherpt.
- Themacampagnes gericht op energiebesparing.
- Regulerende energiebelasting voor kleinverbruikers.
- Energie-labelling van apparaten.

Intensivering van het beleid lijkt nodig om in de gebouwde omgeving de energie-efficiency drastisch te verbeteren. In het beleid zou vooral meer aandacht moeten komen voor het energie-efficiënter maken van de bestaande bouw (zie ook 7.5)

7.4. Energiebesparing in transport en vervoer

Het primaire energiegebruik van de transportsector was in 2000 ongeveer 510 PJ. Meer dan de helft van het gebruik vond plaats bij personenauto's. Het brandstofverbruik en de belasting van het milieu kunnen ook worden verminderd door vermindering vervoersvraag, verandering type vervoer (bijv. naar fiets), hogere gebruiksgraad, verbeterde routing, verbetering rijgedrag, beter onderhoud voertuig, toepassing alternatieve brandstoffen, en verhoging van de energie-efficiency van voertuigen.

Hoe kunnen we de energie-efficiency van voertuigen verhogen?

In de jaren negentig lag het gemiddelde energiegebruik van personenauto's in de Europese Unie op 7-8 liter per 100 km, zowel voor nieuwe auto's als voor de bestaande voorraad. In 1998 is er een overeenkomst getekend met de Europese autofabrikanten om de specifieke CO₂-emissie van personenauto's terug te brengen tot gemiddeld 140 gram per km voor nieuwe auto's die in 2008 worden verkocht. Dit komt overeen met een brandstofgebruik van iets minder dan 6 liter per 100 km, dus een efficiencyverbetering met ongeveer 20%.

Technologisch is overigens meer mogelijk. De verbetering kan gevonden worden in het voertuigontwerp en de aandrijvingstechniek. Op betrekkelijk korte termijn kan het brandstofverbruik van personenauto's worden teruggebracht naar 3 liter per 100 km. Dit kan worden bereikt door verbetering van de aërodynamische eigenschappen, de transmissie en de motor, reductie van het voertuiggewicht, verhoging van de bandendruk, en toepassing van boordcomputers en een start-stop systeem. Er is al een auto op de markt die dit lage verbruik haalt; de auto was in 2001 5000 Euro duurder dan een vergelijkbare, minder efficiënte auto (ICARUS-4, 2001).

In het kader van het *Partnership for a New Generation of Vehicles* is in Amerika een middenklasser ontwikkeld die 3.0 – 3.4 liter per 100 km gebruikt.

Verdere verbetering van de efficiency van auto's is mogelijk door toepassing van elektrische aandrijving. Er zijn drie routes:

- *Elektrische aandrijving met opslag van elektriciteit in accu.* Tot nu toe is dit geen succesvolle route, vooral door de beperkte actieradius van deze auto's.
- *Hybride auto.* elektrische aandrijving gecombineerd met én conventionele aandrijving en een kleine accu (die tijdens het rijden wordt opgeladen). Dit type

auto is in 1997 op de markt gekomen en wordt thans door verschillende fabrikanten geleverd..

- *Elektrische aandrijving met elektriciteitsproductie in de auto.* De elektriciteit wordt geproduceerd met een brandstofcel. In de meeste ontwerpen wordt de brandstofcel gevoed met waterstof. De waterstof kan direct worden getankt, maar ook met een reformer in de auto worden gemaakt uit bijvoorbeeld methanol, DME, benzine of aardgas.

Tabel 9 laat zien dat door verbetering van de aandrijving van de auto de efficiency van autotransport met een factor kan 2 toenemen. Gecombineerd met andere maatregelen, zoals een lager voertuiggewicht, kan dit zelfs een factor 4 worden.

Voor het goederenvervoer via weg, spoor en water geldt dat het verbeteringspotentieel een factor 2-3 is, dus lager dan bij personenvervoer. Opvallend is dat met name bussen thans de *driver* zijn voor toepassing van nieuwe technologieën, zoals de aardgasbus en de brandstofcelbus.

Het genoemde verbeteringspotentieel staat overigens los van besparingen die door verschuiving van het ene transportmiddel naar het andere (*modal shift*) worden bereikt.

Tabel 9. Geschatte voertuigefficiency voor verschillende typen aandrijving. Bron: Åhman, 2003 (Gepubliceerd in: Ecofys, Utrecht, 2004).

Type aandrijving	Voertuigefficiency ¹⁾	
	Finaal ¹⁾	Primair ²⁾
Accu / elektrische aandrijving	61%	31%
Hybride auto	29%	28%
PEM brandstofcel met methanol	29%	21%
PEM brandstofcel met waterstof	34%	25%
Verbeterde verbrandingsmotor	20%	19%
Huidige verbrandingsmotor	14%	13%

1) Gedefinieerd als (gebruikte energie bij de wielen) / (totale energiegebruik voertuig)

2) Gelijk aan 1, vermenigvuldigd met de efficiency van de productie van de brandstof

Wat is de auto van de toekomst?

Deze vraag is nog niet goed te beantwoorden. Tabel 9 laat zien dat er meerdere wegen zijn om tot een sterk verbeterde aandrijving van de auto te komen. Het is thans te vroeg om aan te geven welke optie gaat winnen.

Bij de brandstofcelauto zal het afhangen van de ontwikkeling van de prijs en prestatie van de brandstofcel, van de waterstoftechnologie (opslag, distributie) en van de auto zelf. Bij de elektrische auto's is vooral de ontwikkeling van veel betere accu's van belang. De hybride auto is inmiddels te koop en gooit dus hoge ogen. Tenslotte kan ook de conventionele auto nog een heel stuk zuiniger worden. Bij dit alles kan het nodig zijn ook aan andere typen brandstoffen te werken om de milieubelasting van het vervoer verder te beperken. Welke combinatie van auto en (alternatieve) brandstof het meest aantrekkelijk wordt valt nu niet te zeggen.

Welke rol kan Nederland spelen?

Op vele terreinen zullen de ontwikkelingen door moeten gaan. Geleidelijk aan zal dan meer duidelijkheid ontstaan over de kansen van de verschillende ontwikkelingen. Vrijwel al deze ontwikkelingen vinden in internationaal verband plaats. Nederland speelt hierin een kleine rol. Wel is de rol van de Europese Unie van belang. Scherpere normen voor auto's, bijvoorbeeld, kan Nederland niet of nauwelijks alleen invoeren. Hiervoor is regelgeving op Europees niveau nodig. Aanscherping van de regelgeving, het initiëren van partnerships (zoals in Amerika) en het bevorderen van RD&D lijken belangrijke beleidsmogelijkheden om de energie-efficiency en milieubelasting van de transport- en vervoersector in Europa aanmerkelijk te verbeteren.

De ontwikkeling van de genoemde technologieën vindt vooral buiten Nederland plaats. Nederland heeft ook bijna geen eigen auto-industrie. Wel wordt er door onderzoeksgroepen in ons land met ontwikkelaars van technologie in het buitenland samengewerkt.

Resumerend kunnen we stellen dat de transportsector voor ons land geen speerpuntgebied als het gaat om het ontwikkelen en toepassen van nieuwe technologie. Wel kan Nederland invloed uitoefenen op het beleid dat door de Europese Unie wordt gevoerd. Gezien de bijdrage van transport en vervoer aan de milieubelasting van ons land verdient dit zeker aandacht. Daarnaast kan Nederland een rol spelen bij het toepassen van alternatieve brandstoffen (aardgas, biobrandstoffen, en op termijn wellicht waterstof).

7.5. Energiebesparing door een ander of efficiënter materiaalgebruik*Wat kan een ander en efficiënter materiaalgebruik bijdragen?*

Een aanzienlijk deel van de fossiele brandstoffen (40%) die wij mondiaal gebruiken wordt toegepast in de industriële sector. Hier worden materialen en producten gefabriceerd. Het beter omgaan met deze materialen en producten kan tot aanzienlijke besparingen op de consumptie van fossiele brandstoffen leiden en tot substantiële vermindering van broeikasgasemissies. Voorbeelden van maatregelen zijn: hergebruik (recycling) van materialen en producten, afvalpreventie, herontwerp van producten (*'downgauging'*) met als doel het materiaalgebruik te reduceren, verlenging van de levensduur van producten, en substitutie. Zo zijn besparingen tot 60% mogelijk bij verpakkingen en in de bouw (Hekkert, 2000). Veel opties kennen een betrekkelijk gunstige terugverdientijd. Het streven naar ketenefficiëntie moet daarom zowel verbetering van de energie-efficiency als van de materiaalefficiëntie omvatten. Het ligt voor de hand dat hierbij vooral aandacht aan energie-intensieve materialen (zoals papier, staal en kunststoffen) moet worden besteed.

Is ook winst te boeken door meer biomassa als grondstof voor producten en materialen te gebruiken?

Een ontwikkeling van recente datum is, dat wordt onderzocht in hoeverre biomassa in plaats van fossiele brandstoffen kan worden gebruikt als grondstof voor (nieuwe) producten en materialen, waaronder bulkchemicaliën. Op het gebied van biotechnologie kan de productie van bulkchemicaliën en intermediaire producten een belangrijk aandachtsveld worden, aangeduid met 'White Biotechnology', naast biotechnologisch onderzoek ten behoeve van de voedselvoorziening ('Green Biotechnology') en voor medische toepassingen ('Red Biotechnology'). In Europees verband wordt thans in kaart gebracht wat de mogelijkheden, kosten en risico's van 'White Biotechnology' zijn. Ook

bedrijven en kennisinstellingen in Nederland zijn hierbij betrokken. Dit moet onder meer leiden tot het identificeren van technologieën die speciale aandacht in het RD&D beleid zouden moeten krijgen. Voor ons land kan onderzoek op het gebied van 'White Biotechnology' - gezien de aanwezige industrie en kennisinfrastructuur - nieuwe, bio-chemische bedrijvigheid opleveren en bijdragen aan het verminderen van fossiel brandstofgebruik en CO₂ uitstoot. Harde uitspraken hierover zijn thans echter niet te doen.

7.6. Resumerend over energiebesparing

Wat is het totale potentieel voor energiebesparing?

Het technisch potentieel voor de verbetering van de energie efficiency is hoog, op lange termijn zeker, maar ook op de korter termijn is veel te bereiken. Op korte termijn kan de energie-efficiency op – macro-economisch gezien – attractieve wijze in veel gevallen met enkele tientallen procenten worden verbeterd. Op de lange termijn (2050) lijkt een verbetering van de energie-efficiency met een factor 3-4 haalbaar, mits hierop in internationaal verband beleid wordt gevoerd.

Er zijn vele barrières die het realiseren van het technisch potentieel voor efficiency verbetering in de weg staan. Deze zijn vaak sectorafhankelijk en zeker niet alleen economisch van aard, hoewel verbetering van de prijs/prestatie verhouding in veel gevallen wel geboden is. Maar daarnaast spelen ook management, interesse, kennis, imago, *lock-in* effecten en gebruikersgemak een rol. Het is niet realistisch om te denken dat deze barrières vanzelf, zonder overheidsbeleid, zullen worden geslecht.

In de gebouwde omgeving zal de (externe) warmtevraag tot vrijwel nul te reduceren zijn (nieuwbouw). De vraag naar elektriciteit blijft bestaan maar kan door verbetering van apparatuur worden beperkt. Omdat het bij de gebouwde omgeving om een binnenlandse markt gaat, de potenties voor energiebesparing groot zijn, en het kennisniveau goed is, verdient deze sector speciale aandacht van de overheid.

In de energie-intensieve industrie is al veel bereikt. Veelal betrof het geleidelijke verbeteringen, maar soms ook radicale aanpassingen. Vaak spelen andere ontwikkelingen – zoals verandering van markten of verbetering van producten - hierbij een belangrijke rol. Duidelijk is dat energiebeleid in de energie-intensieve industrie vooral investeringsbeleid is, waarbij de internationale context van de concerns van belang is.

In veel gevallen is ontwikkeling van doorbraaktechnologie mogelijk en ook vereist als we nieuwe slagen willen maken. Het RD&D beleid van de overheid zou hierop in kunnen spelen, bijvoorbeeld in de vorm van samenwerkingsprogramma's met de industrie (model ICES-KIS) gekoppeld aan lange termijn afspraken over verbetering van energieprestaties en/of milieubelasting.

In de transport- en vervoersector zijn het vooral internationale ontwikkelingen die de efficiency van transportsystemen verbeteren. De energie-efficiency van bestaande verbrandingsmotoren en de auto in zijn geheel kan nog aanzienlijk worden verbeterd. Hybride aandrijving en, op termijn, brandstofceltechnologie lijken de belangrijkste doorbraaktechnologieën. Nederland moet zich voor het stimuleren van de ontwikkeling en toepassing van meer efficiënte transportsystemen vooral op Brussel (EU en de Europese

Commissie) richten.

Daarnaast kan een aanzienlijke besparing op de energieconsumptie en de uitstoot van CO₂ worden bereikt door materialen anders of efficiënter in te zetten (bijv. door recycling of door substitutie) of door biomassa in plaats van fossiele brandstoffen als grondstof voor het maken van materialen te gebruiken.

Wat kan het effect zijn van nationaal energiebesparingsbeleid?

Het internationale karakter van zowel veel energiegebruikende sectoren als van sectoren die apparaten produceren, legt beperkingen op aan de mogelijkheden van een klein land als Nederland om – los van de omgeving - een verregaande energiebesparing te realiseren. Daarom zal het besparingsbeleid vooral op de schaal van de Europese Unie vorm moeten krijgen.

Dat wil niet zeggen dat Nederland in innovatieprocessen die tot verbetering van de energie- of materiaal-efficiency leiden geen rol van betekenis kan spelen. Bijvoorbeeld in sectoren waar Nederland een heel sterke positie heeft zal een Nederlandse inspanning er zeker toe doen (zoals glastuinbouw, zuivelindustrie, petrochemie, mogelijk ook scheepstransport). Ook andere landen zouden zich op hun sterke sectoren kunnen richten. Internationaal zou ook een zekere 'burden sharing' afgesproken kunnen worden: het verdelen van de inspanning van technologieontwikkeling over de verschillende landen. Ook zijn er sectoren, zoals de gebouwde omgeving, die een sterk nationaal karakter hebben en waar elk land een eigen invloedrijke rol kan spelen.

Tot voor kort was de doelstelling van het Nederlandse energiebeleid om vanaf 1995 de energie-efficiency met ca. 2% per jaar te verbeteren. Deze doelstelling is niet gehaald. Daarom is de doelstelling teruggebracht tot wat wel is gehaald, te weten 1.3 % per jaar.

Dit wil overigens niet zeggen dat het nationale besparingsbeleid niet succesvol was. Bepaalde instrumenten hadden zeker effect: de meerjarenafspraken over energiebesparing in de jaren negentig, het milieuactieprogramma van de energiedistributiebedrijven, de energieprestatie normering voor de nieuwbouw, de regulerende energiebelasting, de Europese afspraak over beperking van de CO₂-uitstoot door personenauto's en ook traditionele investeringssubsidies zoals de EIA/EINP. Harde uitspraken over het effect van alle gebruikte instrumenten zijn echter lang niet altijd te doen, omdat *monitoring* van dit effect onvoldoende plaatsvindt en vaak ook moeilijk in kaart te brengen is.

Wat zijn mogelijkheden voor nieuwe instrumenten om energiebesparing te bevorderen?

Klassiek is het stimuleren van RD&D, maar er is meer, aanhakend bij de ontwikkelingsfase van een techniek. Suggesties voor nieuwe instrumenten en aandachtsvelden voor energiebesparing worden gegeven in tabel 10.

Tabel 10. Nieuwe insteken en instrumenten voor energiebesparing¹⁸.

Toegepast onderzoek	<ul style="list-style-type: none"> - Focus op energiefuncties bij verbetering efficiency. - Stimulering (internationale) netwerkvorming en samenwerkingsverbanden bij onderzoek en ontwikkeling - In Nederland: verdere beperking van het aantal aandachtsvelden en technieken dat wordt onderzocht. - Organiseren van competities tussen instituten bij het zoeken naar oplossingen.
Technologie-ontwikkeling	<ul style="list-style-type: none"> - Aansluiten bij sterktes en comparatieve voordelen. - Clusteranalyse en ontwikkeling <i>road maps</i>. - Technologieontwikkelingsconvenanten. - <i>Public-private partnerships</i> bij onderzoek en ontwikkeling van doorbraaktechnologie. - Technologieforderende normstelling. - In Nederland: sterkere aansturing vanuit de markt / gebruiker (<i>demand side pull</i>) in plaats van de techniek / de onderzoekers (<i>technology push</i>). - Op Europese schaal: '<i>burden sharing</i>' op het gebied van technologieontwikkeling: welk land doet wat?.
Marktintroductie	<ul style="list-style-type: none"> - Energiebesparingdoelstellingen op Europees niveau, bijv. een richtlijn van 2% efficiencyverbetering per jaar. - (Nieuwe) demonstratieregelingen. - <i>Technology procurement</i> ('inkoopeisen overheid'). - Gouden standaard voor energie-efficiency (als aanvulling op minimum standaard). - Stapsgewijze aanscherping van standaards (zoals EPR). - Bevordering nichemarktontwikkeling door creëren experimenteerruimte, marktintroductiesubsidies en aanpassing regelgeving. - Verdere internalisering van externe kosten. - Versterking CO₂ beleid (emissiehandel; 'white certificates'; CO₂ tax).

¹⁸ Grotendeels ontleend aan het rapport van Ecofys (2004). Veel van deze instrumenten zijn ook in te zetten voor verduurzaming van energieaanbod technieken.

8. RIVALISERENDE TOEKOMSPERSPECTIEVEN

Ter voorbereiding van het energie- en milieubeleid worden vaak scenario's opgesteld die mogelijke ontwikkelingen in de energievoorziening en daarmee samenhangende milieubelasting over de lange termijn beschrijven, op basis van aannamen over de ontwikkeling van onder meer bevolking, economie, technologie en beleid. Daarmee geven deze scenario's een beeld van de mogelijke toepassing van diverse energie opties. Hier gaan we na wat recente en belangrijke scenariostudies zeggen over de kansen van verschillende technieken. De beschouwing is in hoge mate ontleend aan een studie van ECN die in opdracht van VROM-raad en Energieraad is uitgevoerd (Brugging, 2004).

Wat zijn methodieken om scenario's te maken?

Er bestaan verschillende scenario aanpakken. Veel scenario's redeneren vanuit het heden naar de toekomst (*forecasting*), andere vanuit een gewenste toekomst naar nu (*backcasting*). Vanuit een transitieperspectief wordt vooral gezocht naar transitiepaden die tot een gewenste uitkomst leiden, bijvoorbeeld een gewenste concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer, een gewenste betrouwbaarheid van de energievoorziening, en daarbinnen een zo kosteneffectief mogelijke energievoorziening.

Veel scenariostudies (bijv. van IPCC, CPB, RIVM en EZ-LTVE) gaan uit van verschillende veronderstellingen over twee maatschappelijke veranderingsprocessen: de mate van globalisering (versus regionalisering) van de samenleving en de mate waarin het eigen belang (versus het maatschappelijk belang) voorop staat in de ontwikkelingen die plaatsvinden. Combinatie van de uitersten leidt dan tot 4 wereldbeelden, door IPCC aangeduid met A1 (globalisering / eigen belang), A2 (regionalisering / eigen belang), B1 (globalisering / maatschappelijk belang), en A2 (regionalisering / maatschappelijk belang). In de Lange Termijn Visie Energievoorziening van EZ worden deze wereldbeelden aangeduid met *Vrijhandel* (A1), *Isolatie* (A2), *Solidariteit op wereldschaal* (B1) en *Ecologie op kleine schaal* (B2). Het CPB noemt deze wereldbeelden *Mondiale economie* (A1), *Transatlantische markt* (A2), *Sterk Europa* (B1) en *Regionale gemeenschappen* (B2).

In deze aanpak wordt de technologische ontwikkeling vooral als resultante van de beschreven wereldbeelden gezien. Men kan daar kritiek op hebben (Bruggink, 2004). Technologie kan ook gezien worden als een autonome drijvende kracht. In de bovengenoemde scenariostudies wordt dat soms ondervangen door binnen de vier wereldbeelden verschillende aannamen over techniekontwikkeling te maken. Hieruit blijkt dat genoemde scenariostudies moeilijk gebruik kunnen worden om uitspraken te doen over robuuste technologieën: technieken die in vrijwel ieder wereldbeeld een belangrijke rol spelen en dus zeker aandacht verdienen.

In een scenariostudie van Shell uit 2001 wordt een andere aanpak gekozen. Aangenomen wordt dat technologie meerdere kanten op kan gaan en, net als aannamen over de voorraad brandstoffen, van doorslaggevende betekenis is voor de inrichting van de energievoorziening op lange termijn (2050). Shell heeft – op mondiale niveau - twee scenario's ontwikkeld die beschrijven waartoe andersoortige technologische trajecten kunnen leiden en welke sociale prioriteiten daartoe aanleiding kunnen geven. Het eerste heet *Dynamics as Usual* waarin de transitie naar een duurzame wereld wordt

gecombineerd met een evolutionaire ontwikkeling van de technologie. De tweede heet *Spirit-of-the-coming-age* en wordt gekenmerkt door onverwachte technologische doorbraken die tot stand komen door consumentenvoorkeuren.

Wat leren de scenario's over brandstofinzet en technologiekeuze op lange termijn?

In de verschillende studies varieert de vraag naar energie in 2050 tussen de verschillende scenario's met ruwweg 30% (Shell), respectievelijk 60% (IPCC) respectievelijk een factor 3 (LTVE-EZ),

In de beelden A1 en B1 worden hernieuwbare energiebronnen en/of kernenergie dominant. In de beelden A2 en B2 blijft de rol van kolen sterk. De Shell-studie wijst erop dat snelle technologische vooruitgang niet noodzakelijk leidt tot meer inzet van hernieuwbare bronnen of kernenergie. Het kan ook leiden tot een langer en schoner gebruik van fossiele brandstoffen.

De studies laten zien dat het denkbaar is dat in de tweede helft van deze eeuw de mondiale energievraag voor tenminste de helft door hernieuwbare energiebronnen wordt gedekt. Voor Nederland ligt dit, vanwege geografische en klimatologische beperkingen, echter veel lastiger.

De scenario's bieden in het algemeen weinig inzicht in specifieke veronderstellingen over de technologiekeuze. Voor zover er over deze keuze uitspraken worden gedaan laat de onderbouwing te wensen over. De indruk bestaat dat de perceptie van de onderzoekers en onderzoeksorganisaties die de studies hebben uitgevoerd een belangrijke rol heeft gespeeld wat betreft de technologiekeuze. Dit is anders in de LTVE-EZ studie, maar deze doet geen kwantitatieve uitspraken.

Wat leren scenariostudies over het te voeren transitiebeleid?

Scenario's kunnen gebruik worden voor het identificeren van robuuste technologieën. Het zijn technologieën die in (vrijwel) ieder scenario in belang toenemen en bijdragen aan het oplossen van duurzaamheidsproblemen. De genoemde scenariostudies geven hiervoor maar heel beperkt handvatten. Zo blijkt energiebesparing van belang, de inzet van aardgas en de bijdrage van hernieuwbare energiebronnen waaronder biomassa en wind. Gaat het om meer specifieke keuzes voor conversietechnologie dan is echter weinig consensus te bespeuren. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat geavanceerde optie om fossiele brandstoffen veel schoner te gebruiken (zoals CCS) tot op heden lang niet altijd goed in scenariostudies worden meegenomen. Als bovendien à priori wordt aangenomen dat in een of meerdere toekomstbeelden klimaatverandering door de uitstoot van broeikasgassen niet als een probleem wordt gezien (zoals in de LTVE-EZ studie), zal het afvangen en opslaan van CO₂ er per definitie niet als een technologie uitkomen waaraan we moeten werken. Dit verklaart mede waarom deze optie in het energie(onderzoek)beleid van Nederland tot op heden zeer weinig aandacht heeft gekregen.

De verbetering van de energie-intensiteit in de diverse scenario's ligt tussen de 1% en 2,2% per jaar. Deels komt dit door veranderingen in de economische structuur. Laten we dit effect weg, dan laten de scenario's een verbetering van de energie-efficiency zien variërend van 0,5% tot 1,7% per jaar. Gerekend over 50 jaar, leidt dit tot een tot een totale efficiencyverbetering van 22% tot 58%. Dit is aanmerkelijk minder dan de factor 4 die als besparingspotentieel uit technologische verkenningen volgt (zie hoofdstuk 7). Een verklaring hiervoor is dat aannamen over efficiencyverbetering aan de vraagkant vaak worden gebaseerd op historische ontwikkelingen en niet op technologische mogelijkheden,

waardoor deze mogelijkheden onderbelicht blijven. Het modelleren van het implementatiepotentieel van energiebesparing zou derhalve een waardevolle aanvulling kunnen vormen op bestaande computermodellen die voor scenariostudies worden gebruikt.

In de Shell-scenario's wordt gewezen op de grote invloed van *'disruptive technologies'*, zoals de invloed van gentechnologie op biomassatoepassingen. Met dergelijke technologische onzekerheden wordt in scenariostudies doorgaans geen rekening gehouden.

Transitiebeleid wordt gekenmerkt door acties op drie niveaus: landschap, regime en niche (zie advies VROM-raad en Energieraad). De hier behandelde scenariostudies spelen vooral een rol op landschapsniveau. Scenario's kunnen ook worden ontwikkeld om het beleid op regimeniveau te ondersteunen. Daarnaast kunnen scenario's een rol kunnen spelen bij het analyseren van kansrijke mogelijkheden op nicheniveau en bij de overgang van niche- naar regimeniveau. Een poging hiertoe is de ontwikkeling van socio-technische scenario's aan de Universiteit Twente (Elzen et al., 2004). Deze ontwikkeling staat nog in de kinderschoenen maar zou een waardevol instrument kunnen worden bij het ontwikkelen en vormgeven van energietransitiepaden waaraan in ons land wordt gewerkt en bij het beoordelen van voorstellen voor experimenten op dit gebied.

9. NAAR EEN EFFECTIEF INNOVATIEBELEID: REFLECTIES OP HET ENERGIEONDERZOEK- EN HET ENERGIETRANSITIEBELEID

Om duurzame economische ontwikkeling te bevorderen is de ontwikkeling en toepassing van kennis een steeds belangrijkere factor (IBO, 2002). De Europese Unie ziet dit belang en heeft dit vertaald in ambitieuze doelstellingen (*Lissabon agenda*). Nederland heeft dit beleid ondersteunt. Het kabinet wil dat Nederland binnen Europa tot de koplopers behoren op het gebied van de kenniseconomie.

Het gaat bij deze kennis niet alleen om technische kennis (RD&D) maar om alle kennis is nodig is om een idee of inventie om te zetten in een commercieel succesvol product of dienst (bijv.: nieuwe organisatievormen; nieuwe logistieke concepten; nieuwe marketingconcepten). Het voeren van een technologiebeleid is derhalve belangrijk maar niet voldoende: het innovatiebeleid moet breder zijn gericht.

Waarom is het legitiem dat de overheid zich met innovatie bemoeit?

Overheidsbeleid gericht op innovatie is van groot belang omdat door beperkingen van de markt (*markt falen*) lang niet alle innovaties die van maatschappelijk belang zijn tot stand komen. Anders geformuleerd: de maatschappelijke baten van kennisontwikkeling zijn groter dan de private baten. Overheidsbeleid is daarnaast van belang omdat om allerlei redenen het innovatiesysteem vaak onvoldoende goed functioneert (*systeem falen*). Nadere toelichtingen hierop zijn elders te vinden (zie bijv.: IBO, 2002; Turkenburg, 2002).

9. 1. Trends en inzichten die voor het innovatiebeleid van belang zijn.

Welke trends zijn voor het te voeren energie-innovatiebeleid van belang?

Belangrijke *trends* voor een effectief beleid zijn (IBO, 2002; WEA, 2004):

- De versnelling van technologische ontwikkeling en de opkomst van doorbraak-technologie (ICT, biotechnologie). Doorbraaktechnologie vergroot het belang van kennisdiffusie. Informatietechnieken zoals internet bieden geweldige mogelijkheden voor technologieoverdracht, capaciteitsontwikkeling en bewustwording.
- Verdere internationalisering van economie en beleid. Dit leidt tot meer internationale concurrentie en mogelijk ook tot verdere internationalisering van het wetenschaps- en innovatiebeleid. Multinationale bedrijven spelen in het energieveld een steeds grotere rol. Omdat markten en bedrijven steeds meer internationaal opereren, zullen beleidsinterventies van overheden coördinatie en harmonisatie vragen teneinde deze markten effectief te laten werken en tegelijk het bereiken van maatschappelijke doelen te waarborgen.
- Een derde ontwikkeling is de toenemende afhankelijkheid bij het realiseren van innovaties op lange termijn van publiek ontwikkelde kennis. Bedrijven concentreren zich meer en meer op commercieel toepasbaar onderzoek. Het belang van overdracht van kennis van publieke instellingen naar de private sector neemt daartoe toe, en dus het belang van publiek-private samenwerking.
- Binnen de energiesector is, als vierde ontwikkeling, de thans gaande zijnde liberalisering en privatisering van belang. Toezicht van de overheid en nauwe betrokkenheid bij dit proces is van belang om maatschappelijke doelen, zoals ecologische modernisering van het energiesysteem door technologische vernieuwing,

- te realiseren.
- Binnen Nederland is een ontwikkeling dat grote industrieën voor het maken van energieapparatuur niet of nauwelijks meer bestaan. Dit zal de kennisparadox die Nederland kent – wel in staat zijn hoogwaardige kennis te ontwikkelen, maar deze vervolgens niet kunnen commercialiseren – kunnen versterken. Anderzijds is er in Nederland, ook op energiegebied, een sterke dienstensector die van kennisontwikkeling gebruik maakt. De genoemde kennisparadox zal opgelost moeten worden door onder meer veel sterker vanuit *behoeften* ('demand side pull') in plaats van *mogelijkheden* ('technology push') aan kennisontwikkeling te werken. Deze ontwikkeling zal bovendien steeds meer in internationaal verband moeten geschieden. De rol die Nederland in die verbanden speelt zal vooral op de sterke kanten van onze kennisinfrastructuur en op de comparatieve voordelen van ons land moeten zijn gebaseerd (zie hoofdstuk 2).

Zijn er ook inzichten veranderd die van belang zijn voor het te voeren energie-innovatiebeleid?

Naast de hierboven genoemde trends spelen de volgende veranderingen van *inzichten* een rol:

- Fossiele brandstoffen zijn in veel grotere mate tegen relatief lage kosten te winnen dan lange tijd - mede onder invloed van het *Rapport aan de Club van Rome* en de oliecrises van de jaren zeventig - is gedacht. Dit maakt het voor alternatieve opties zoals energiebesparing en hernieuwbare energiebronnen, lastiger om te concurreren dan we destijds – in de periode 1974-1984, toen de ontwikkeling van deze opties in een stroomversnelling terechtkwam – dachten.
- Door vergroting van de importafhankelijk van fossiele brandstoffen en door spanningen in het Midden-Oosten en in andere politiek instabiele regio's, kan de voorzieningszekerheid en daarmee de kosten van met name aardolie gedurende lange tijd grote problemen geven. Ook monopolievorming bij aardgasleveringen kan tot problemen leiden. Dit maakt het van belang naar vermindering van de afhankelijkheid van importen uit politiek instabiele regio's te streven, diversiteit in leveranciers van energie te bevorderen, en te zoeken naar aantrekkelijke mogelijkheden om kolen te gebruiken als grondstof voor het maken van vloeibare en gasvormige brandstoffen.
- Naast voorzieningszekerheid is in de jaren tachtig het klimaatbeleid een van de belangrijkste drijfveren voor het voeren van een adequaat energiebeleid geworden. Tot het begin van de jaren negentig werd hierbij gedacht dat vermindering van CO₂ emissies alleen kon worden bereikt door energiebesparing, het gebruik van hernieuwbare energie bronnen en/of het toepassen van kernenergie. Inmiddels lijkt het ook mogelijk fossiel brandstoffen te gebruiken zonder – of met sterk gereduceerde – uitstoot van CO₂ naar de atmosfeer tegen een beperkte stijging van de productiekosten. Wel is daarvoor vereist dat CO₂ veilig en acceptabel in de ondergrond wordt opgeslagen. Dit inzicht maakt dat prioriteiten in het te voeren energieonderzoek-beleid en innovatiebeleid opnieuw moeten worden doordacht.
- Tenslotte moeten de veranderde inzichten met betrekking tot innovatie en de rol van de overheid in dit proces worden genoemd. Omdat er op het gebied van innovatie, zoals eerder opgemerkt, niet alleen sprake is van falen van de markt maar ook van falen van het systeem waarop de overheid zich moet richten, speelt zij in het innovatieproces een essentiële rol.

9.2. Reflecties op de ontwikkeling van een nieuwe energieonderzoekstrategie (EOS) en van nieuwe energieonderzoekprogramma's

Door het ministerie van Economische Zaken wordt sinds enkele jaren gewerkt aan het ontwikkelen van een nieuwe energieonderzoekstrategie (EOS) en nieuwe, lange termijn energieonderzoekprogramma's. De nieuwe strategie is in 2001 gepresenteerd (EZ, 2001). Het heeft geleid tot het opnieuw vaststellen van prioriteiten in het onderzoek en recent tot het ontwerpen en vaststellen van nieuwe, lange termijn energieonderzoekprogramma's (SenterNovem, 2004).

Wat zijn de resultaten?

In dit proces zijn eerst de hoofdlijnen van de nieuwe strategie vastgesteld, te weten:

- (1) focus van het publiek gefinancierde energieonderzoek op een beperkt aantal thema's;
- (2) efficiëntere inzet van de beschikbare middelen;
- (3) versterking van de internationale samenwerking.

Vervolgens is bepaald wat in het onderzoek de speerpunten moeten zijn. Daarbij is gewerkt met twee criteria:

- (1) bijdrage aan een duurzame energiehuishouding van ons land in 2010 en 2030;
- (2) kennispositie van Nederland voor de betreffende optie.

In het proces zijn, tezamen met betrokkenen, ruim 60 onderzoeksgebieden onderscheiden. *Speerpunten* zijn onderzoeksgebieden die op beide criteria hoog scoren; daarop wordt het publiek gefinancierde onderzoek voortaan geconcentreerd. Scoren ze alleen hoog op 'bijdrage aan duurzame energiehuishouding', dan wordt het een *kennisimport thema* genoemd; deze kennisimport moet middels het onderzoeksbeleid worden gefaciliteerd. Scoren ze alleen hoog op het criterium 'kennispositie Nederland', dan is het een *kennisexport thema* en niet een gebied waar EZ veel aandacht aan wil geven. Scoren onderzoeksgebieden op beide criteria laag dan is het *geen R&D thema*.

Via marktconsultatie zijn de ruim 60 onderzoeksgebieden in de vier categorieën ondergebracht. De speerpunten en importthema's zijn vervolgens in vijf aandachtsgebieden gegroepeerd:

1. Energie-efficiency in de industriële en agrarische sector;
2. Biomassa;
3. Nieuw Gas;
4. Gebouwde omgeving;
5. Opwekking en netten.

Voor ieder van de vijf aandachtsgebieden is vervolgens een commissie gevormd met als taakstelling een lange termijn onderzoekprogramma te formuleren waaraan de komende jaren gewerkt moet worden. De conceptprogramma's zijn voorgelegd aan *stakeholders* voor commentaar. De programma's zijn daarna voor vaststelling aan de Minister aangeboden. Najaar 2004 heeft dit geleid tot een oproep voor het indienen van onderzoeksvoorstellen.

Welke opmerkingen zijn hierbij te maken?

In het licht van de visies en inzichten die eerder in deze notitie zijn gepresenteerd, kunnen kanttekeningen worden geplaatst bij zowel het proces als de uitkomsten van het proces:

1. Veel visies en ideeën zoals die in deze notitie en in het gezamenlijke advies van VROM-raad en Energieraad zijn verwoord, zijn terug te vinden in EOS. Dit is verheugend. Op veel punten zal echter verdere voortgang moeten worden geboekt.
2. Een van de hoofddoelen van de nieuwe strategie was het focussen van het energieonderzoek op een beperkt aantal thema's. Het aantal onderzoeksgebieden waaraan voortaan gewerkt wordt is in EOS belangrijk teruggebracht. Maar de vijf aandachtsgebieden en de daarop geformuleerde programma's zijn zo ruim gesteld dat de beoogde focussing voor een belangrijk deel weer ongedaan is gemaakt. Het energieonderzoeksveld kan in hoge mate op de bestaande voet en aan de bestaande onderwerpen blijven doorwerken. ECN hoeft, anders dan zij even vreesde, niet gereorganiseerd te worden.
3. De financiering van onderzoek door EZ wordt op speerpunten gericht maar ook op kennisimport thema's. Wat hierbij selectiecriteria zijn betreffende bijvoorbeeld aard en omvang van onderzoeksprojecten is niet geheel duidelijk. Een scherper aanzetten van het onderzoeksbeleid op dit punt is nodig om een te grote versnippering te voorkomen.
4. Een van de belangrijkste problemen van het (energie)onderzoek in ons land is het gebrek aan vermogen de ontwikkeling van hoogwaardige kennis te koppelen aan het commercieel gebruik van die kennis. Het is opvallend dat het aanpakken van dit onvermogen niet een van de hoofddoelen van de nieuwe energieonderzoekstrategie is.
5. Het gebruik van twee criteria bij het evalueren van onderzoeksgebieden maakt het proces makkelijk, maar het doet geen recht aan de enkele punten die eveneens aandacht behoeven. Het potentiële belang van een onderzoeksgebied voor nieuwe bedrijvigheid in ons land (of in Europa) had, gezien de kennisparadox van ons land, als derde criterium meegenomen moeten worden. Een vierde criterium zou heel wel de ontwikkelingspotentie van een technologie in ons land kunnen zijn (zie hoofdstuk 2).
6. Onduidelijk is wat het ontwikkelen van kennis in ons land met als doel import van technologie mogelijk te maken, precies betekent voor de aard, omvang, kwaliteit en inbedding van het onderzoek dat in Nederland moet worden uitgevoerd. Als dit niet scherp wordt omschreven, kan wederom vrijwel ieder onderzoeksveld tot ontwikkeling worden gebracht.
7. Terecht is versterking van de internationale samenwerking een van de hoofddoelen van de nieuwe strategie. Echter, in bij de vormgeving van de strategie en van de onderzoeksprogramma's waren het internationale veld en internationale *stakeholders* niet of nauwelijks betrokken. Dat moet verbeteren. Mogelijk biedt hiervoor bijvoorbeeld Eranet aanknopingspunten.
8. Aan het bepalen van de - technisch-economisch gezien - mogelijke bijdrage van de ruim 60 energieonderzoekgebieden aan het realiseren van een duurzame energiehuishouding in ons land lag niet een grondige analyse ten grondslag; slechts de mening van een (heel) klein aantal betrokken partijen was bepalend. Hetzelfde geldt voor het bepalen van de internationale kennispositie van de verschillende onderzoeksgebieden in ons land. In het selectieproces biedt dit veel ruimte voor behartiging van eigen in plaats van nationale belangen en voor consolidatie van de bestaande situatie. Bij de uitkomsten van het proces kunnen derhalve vraagtekens worden geplaatst. Het inschakelen van onafhankelijke, buitenlandse experts – zoals de gelopen paar jaar door landen als Finland en Zweden is gedaan – kan helpen dit probleem aan te pakken.
9. Bij de formulering van de uiteindelijke onderzoeksprogramma's waren de mogelijke gebruikers van het onderzoek lang niet altijd vertegenwoordigd. In veel gevallen lijkt

technology push wederom (veel) dominanter dan *demand side pull* te zijn geweest. Dit beperkt de kans op doorwerking van kennisontwikkeling in de markt.

10. Het energieonderzoekbeleid zou ertoe bij moeten dragen dat ook private partijen (weer) in energie RD&D investeren. Het opzetten van publiek-private samenwerkingsverbanden (vergelijkbaar met de aanpak in de derde ronde van de besteding van ICES-KIS middelen) kan hieraan tegemoet komen.

9.3. Reflecties op het energietransitiebeleid van EZ

Om zowel economisch, sociaal als ecologisch een duurzame ontwikkeling van de samenleving mogelijk te maken is een vernieuwing van het energiesysteem nodig. Deze transitie vergt beleid waarvan de contouren in NMP-4 zijn geschetst. Het ministerie van EZ heeft deze uitdaging opgepakt en een aanpak voor de energietransitie ontwikkeld waarover de Tweede Kamer op 27 April 2004 is geïnformeerd in de notitie '*Innovatie in het Energiebeleid – Energietransitie: stand van zaken*' (EZ, 2004).

Hoe ziet de transitieaanpak van EZ eruit?

Kenmerken van de voorgestane transitieaanpak zijn (EZ, 2004, blz. 3):

- (1) lange termijn oriëntatie;
- (2) systeembenadering;
- (3) samenwerking tussen overheid en maatschappelijke *stakeholders*;
- (4) concrete acties op korte termijn.

EZ heeft deze benadering toegepast op drie thema's: (1) gas; (2) industriële energie-efficiency, en (3) biomassa. Deze thema's zijn gekozen omdat ze volgens toekomststudies van EZ deel uitmaken van een duurzame energiehuishouding op lange termijn. Daarnaast is als ruimtelijk en integrerend thema gekozen: (4) Rijnmond als experimenteelgebied.

Op deze vier thema's zijn in samenspraak met *stakeholders* lange termijn visies ontwikkeld, transitiepaden geformuleerd en ideeën voor experimenten geopperd. De transitiepaden zijn geclusterd tot vier hoofdroutes, te weten:

1. Efficiënt en groen gas;
2. Ketenefficiency;
3. Groene grondstoffen;
4. Alternatieve motorbrandstoffen.

Daarnaast bestaat er al een vijfde route:

5. Duurzame elektriciteit.

Op deze vijf hoofdroutes zal, volgens EZ, "*de overheid zijn energie- en innovatiebeleid de komende jaren in toenemende mate concentreren*". Een overzicht van de hoofdroutes en de bijbehorende transitiepaden wordt geven in tabel 11.

Een *transitiepad* is gedefinieerd als "*een consistent geheel van acties, vervulde randvoorwaarden en leerervaringen die tot een verwezenlijking van de geformuleerde ambities leiden*". Een *experiment* is "*een actie waarin wordt nagegaan hoe een energiesysteem zich in een concrete praktijksituatie gedraagt en hoe de omgeving op dit nieuwe systeem reageert*".

Tabel 11. De hoofdroutes en transitiepaden in de energietransitieaanpak van EZ

Hoofdroutes	Erkende transitiepaden 2004
1. Efficiënt en Groen Gas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Energiebesparing gebouwde omgeving 2. Energiebesparing glastuinbouw 3. Micro- en miniwarmtekracht 4. Groen gas 5. Schoon aardgas
2. Ketenefficiency	<ol style="list-style-type: none"> 1. Energiebesparing in processen 2. Duurzame Agroketen 3. Duurzame Papierketen
3. Groene Grondstoffen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Biomassaproductie 2. Biomassaverwerking 3. Biosyngas 4. Bioplastics
4. Alternatieve Motorbrandstoffen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aardgas 2. Biofuels
5. Duurzame Elektriciteit	<ol style="list-style-type: none"> 1. Biomassa 2. Wind

Voor het doen van experimenten (mogelijk zo'n twintig) wordt door EZ 35 miljoen Euro uitgetrokken via de zogenaamde Unieke Kansen Regeling (UKR). Dit bedrag komt boven op de andere budgetten die voor energie-innovatie worden uitgegeven, in 2005 naar verwachting ruim 170 miljoen Euro (zie ook tabel 2).

Enkele eisen voor een eventuele subsidie aan een experiment zijn, dat bij het experiment een coalitie van *stakeholders* (technologieaanbieder, exploitant, gebruikers) is betrokken, dat in de gevormde coalitie een marktpartij leidend is, dat betrokken partijen bereid zijn ook zelf substantieel in het experiment te investeren, dat ieder van de deelnemers expliciete leerdoelen moet hebben gesteld, en dat de deelnemers bereid moeten zijn over het geleerde naar elkaar en de buitenwereld te communiceren.

De transitieaanpak wordt door EZ nadrukkelijk in een internationale context geplaatst. Er wordt naar gestreefd dat de Nederlandse aanpak aansluit op zowel de verdere internationalisering van energiemarkten en vorming van transnationale conglomeraten als de Europese kaderprogramma's voor onderzoek en ontwikkeling. Dit wil EZ op een aantal manieren realiseren:

Ten eerste, moeten de Nederlandse deelnemers aan de energietransitie goed kunnen leren van ontwikkelingen die zich elders voordoen.

Ten tweede, wordt naar nieuwe samenwerking gezocht met overheden, kennisinstituten en bedrijven uit landen die een zelfde soort aanpak voorstaan als Nederland; doel hierbij is om ervaringen op praktijkniveau uit te wisselen, de Nederlandse transitieaanpak internationaal te verankeren, en eventueel te komen tot taakverdeling en specialisatie tussen de landen. Ten derde, ambieert Nederland een pro-actieve rol te spelen op Europees niveau, door enerzijds de ervaringen met de transitieaanpak in te brengen in EU-beleidsprocessen, en anderzijds een actievere betrokkenheid te tonen bij "Brusselse" beleidsvoorbereiding. Ook dit moet ertoe leiden dat de Nederlandse transitieaanpak wordt

verankerd in internationale kaders (naast de EU bijv. ook de IEA) en netwerken (EU kaderprogramma's en platforms). Ten vierde, worden buitenlandse bedrijven nadrukkelijk uitgenodigd om van de Nederlandse 'experimenteeruimte' gebruik te maken.

Er is een 'Intervisiegroep' geformeerd die EZ moet adviseren over het bevorderen van de 'sense of urgency' bij veel (markt)partijen en over het benutten van kansen die de energietransitie voor deze partijen biedt ('sense of opportunity'). Tevens is door EZ, VROM en LNV tezamen een koploperloket opgericht, met als doel initiatiefnemers van transitie-experimenten hun weg te laten vinden door regelgeving en instellingen. Het loket zal zich richten op het verwerven van medewerking voor vergunningen e.d. Ook is een taak belemmerende regels op te sporen die tijdelijk of definitief moeten verdwijnen.

Een kernthema in de transitieaanpak van EZ is *'al doende leren, al lerende doen'*. De ervaringen met de energietransitie zullen door EZ worden gebruikt om beleidsinconsistenties en versnippering van beleid aan de orde te stellen.

Welke kanttekeningen zijn bij de transitieaanpak van EZ te maken?

Hieronder wordt van de opmerkingen en kanttekeningen die gemaakt kunnen worden een beeld gegeven:

1. Het ministerie van EZ heeft het vraagstuk van de energietransitie voortvarend aangepakt en adresseert hierbij een aantal belangrijke knelpunten. De aanpak van EZ grijpt precies aan op het punt waar het innovatieproces in Nederland stagneert: het valoriseren van kennis en het ontwikkelen van kennis gericht op valorisatie. Dat kan tot nieuwe kansen leiden.
2. In de aanpak wordt gezocht naar de nieuwe rol die de overheid in het samenspel met de markt moet spelen gezien enerzijds de (voorgestane) vergroting van de marktwerking in het energieveld en anderzijds de toenemende internationalisering en globalisering van economische processen en van beleidsontwikkeling. De nieuwe (gewenste) rol kan volgens de *stakeholders* in de energietransitie worden beschreven in termen van makelaarschap, partnerschap en leiderschap. Opvallend is dat door de *stakeholders* hier een vierde punt aan toe is gevoegd: de overheid moet betrouwbaar zijn! Het is de taak van EZ en de andere betrokken ministeries om daar voortvarend inhoud aan te geven.
3. In het transitieproject wordt met een open agenda gewerkt. Er worden doelen gesteld, maar de invulling daarvan kent, terecht, een hoge mate van flexibiliteit. De aanpak past bij het proces van *'al doende leren, al lerende doen'*.
4. Er wordt een aanpak gevolgd waarbij marktpartijen en andere *stakeholders* nauw zijn betrokken of zelfs het voortouw hebben, zoals bij de formulering van visies en experimenten. Terecht wordt door EZ opgemerkt dat dit tot vergroting van het draagvlak leidt.
5. Door op een breed front te werken beoogt EZ ook risico's te spreiden; lang niet alle experimenten zullen immers een succes worden. Gezien het enthousiasme waarmee *stakeholders* de kansen benutten die de aanpak biedt, lijkt de aanpak aan te slaan.

We concluderen dat de aanpak verfrissend is en op diverse punten in lijn met visies en inzichten zoals beschreven in deze notitie. EZ, en met name de ambtenaren die aan de ontwikkeling van deze aanpak hebben gewerkt, dienen hiervoor gecompliceerd te

worden.

Zijn er ook meer kritische opmerkingen te maken?

Er zijn zeker meer kritische opmerkingen te maken. Ze staan hieronder weergegeven met het doel een bijdrage te leveren aan de uitbouw en versterking van het energietransitie-beleid.

6. De aanpak van EZ richt zich op een deel van de energievoorziening. De gebouwde omgeving, de transportsector en de agrarische sector vallen er (grotendeels) buiten. Het is zaak dat op deze terreinen door de ministeries die voor deze aandachtsvelden verantwoordelijk zijn even voortvarend als door EZ wordt gewerkt aan het opzetten van transitiebeleid en dat hierbij met betrekking tot het onderwerp energie tussen de ministeries nauw en 'warmbloedig' wordt samengewerkt. Tot op heden is hiervan te weinig sprake.
7. De transitieaanpak van EZ richt zich op een onderdeel (fase) van het totale innovatieproces en lijkt tamelijk geïsoleerd van de andere fasen van het proces tot stand te zijn gekomen. Het is van belang om *alle* beleidsvorming die nodig is om een transitie van de energiehuishouding richting duurzaamheid mogelijk te maken daarop te richten. De transitieaanpak van EZ zoals die nu vorm krijgt en de ervaring die hiermee wordt opgedaan kan hierbij als uitgangspunt dienen. Het gaat dan bijvoorbeeld om het betrekken van het energieonderzoekbeleid (EOS) dat deels andere prioriteiten en insteken heeft dan de energietransitieaanpak. Dat is vreemd. Het gaat ook om het energie-innovatiebeleid dat langs geheel andere sporen - via een reeks van fondsen, budgetten, instituties en regelingen zowel binnen als buiten het Ministerie van EZ - vorm krijgt, zie tabel 2¹⁹. Het totale budget van deze sporen is vele malen groter dan het budget voor de aanpak van de energietransitie; het transitiebeleid mag hier niet aan voorbij gaan. Het gaat ook om wet- en regelgeving en het ontwikkelen van (voor Nederland) nieuwe instrumenten die de transitie naar een duurzame energiehuishouding kunnen bevorderen. Er zal bovendien een koppeling moeten worden gelegd tussen de transitieaanpak en het innovatiebeleid zoals dat elders binnen het departement van EZ en ook landelijk (via het Innovatieplatform) vorm krijgt. Ook moet er meer aandacht komen voor de internationale setting van de transitieaanpak: wat moet er in Brussel gebeuren en wat in Nederland om de energietransitie te doen slagen; hoe kunnen de experimenten, bijv. op het gebied van biomassa, internationaal worden ingebed rekening houdend met de sterktes en comparatieve voordelen van de betrokken landen.
8. De transitiepaden die door EZ zijn geformuleerd, bestrijken een breed terrein. De meeste paden zijn interessant en veelal ook in lijn met het technologisch perspectief zoals in de hoofdstukken 3 t/m 7 van deze notitie geschetst. Toch doet zich de vraag voor of niet à priori naar een grotere inperking van het aantal paden moet worden gestreefd, om – door het creëren van meer kritische massa per pad – uiteindelijk een grotere kans op succes in de markt te bereiken. Met het huidige budget van 35 miljoen Euro zal het niet mogelijk zijn op bijna alle paden ten minste twee zinvolle

¹⁹ In 2002 ging het hierbij om regelingen als WBSO, IOP, ICES-KIS, EET, BSE, SMT en First Movers. Het gaat deels ook om basis- en doelfinancieringen van ECN, NRG, TNO en SDE, om bepaalde financieringen van NOVEM, SENTER, NWO en STW en om op energie-innovatie gerichte Europese geldstromen.

- experimenten te starten. De beschikbaarstelling van middelen en het aantal geformuleerde transitiepaden zouden beter met elkaar in balans moeten worden gebracht.
9. Beseft moet worden dat een succesvol experiment niet meteen tot marktdiffusie leidt. Daar komt veel meer bij kijken. Ook in dit stadium kan steun door een gericht overheidsbeleid onontbeerlijk zijn. De follow-up van de experimenten lijkt nog onvoldoende te zijn doordacht. Een mogelijke oplossing hierbij zou een vorm van trajectfinanciering kunnen zijn.
 10. Opvallend is dat het begrip experiment in de transitieaanpak van EZ louter een technologische invulling krijgt, terwijl in de theorievorming over transitie management onder het doen van experimenten ook andere acties worden verstaan. Men kan dan denken aan kleinschalige experimenten op het gebied van leefstijl en aan experimenten met nieuwe instituties (Rotmans et al., 2000). Ook kan men denken aan experimenten met nieuwe samenwerkingsvormen met overheden, onderzoeksinstituten en bedrijven in het buitenland.
 11. Hoewel bij de ontwikkeling van visies en experimenten *stakeholders* buiten de kring van de overheid veelal het voortouw hadden, kun men zich afvragen of de gebruikers van kennis en technologie voldoende in beeld zijn gekomen. Ook is een vraag of in het proces voldoende vanuit gebruikers is gedacht. Teveel lijken, ook in de transitieaanpak van EZ, de aanbieders van technologie een doorslaggevende stem te hebben (*technology push*), te weinig lijkt er naar markten, marktontwikkeling en marketing van de beoogde technologie te worden gekeken. Daarnaast is het de vraag of in het proces altijd de juiste mensen en partijen om de tafel hebben gezeten. Zo zeggen deelnemers aan het proces dat grote bedrijven niet of te weinig werden gezien. Nagegaan moet worden hoe ook deze bedrijven betrokken en geëngageerd kunnen worden.
 12. Bij de formulering van transitiepaden door *stakeholders* kan belangenbehartiging een kritische analyse van de potenties van deze paden tegenwerken. Daarom is het van belang dat de overheid ervoor zorgt dat de perspectieven van de paden onafhankelijk van de betrokken *stakeholders* laat evalueren, bijvoorbeeld door een ter zake deskundige buitenlandse organisatie in te schakelen. Ook technologieverkenningen, systeemanalyses, clusteranalyses en wellicht ook het maken van socio-technische scenario's kunnen helpen de kansen voor Nederland in kaart te brengen.
 13. In het innovatieproces moet meer ruimte komen voor leren en het trekken van lessen. Dit vergt monitoring en evaluatie. In de transitieaanpak van EZ moet hiervoor, ook financieel, ruimte komen. Daarnaast dient veel meer geleerd te worden van ervaringen in het verleden (bijv. de ontwikkeling en introductie van windturbines, zonneboilers, zonnecellen, de warmtepomp, de HR-ketel, kleine gasturbines, et cetera), van andere beleidsterreinen (bijv. landbouw) en van het buitenland (bijv. Finland, Duitsland, VK en USA).
 14. Bij de ontwikkeling van transitiepaden is de optie 'schoon fossiel' in hoge mate buiten beeld gebleven. Dit is merkwaardig, temeer daar binnen ICES-KIS *bottum-up* een brede coalitie van geïnteresseerde partijen is gevormd die tezamen een programma van onderzoek en activiteiten hebben geformuleerd, CATO genaamd (CO₂ Afvang, Transport en Opslag), dat ruim 25 miljoen Euro gaat kosten en waarvan de overheid 12 miljoen subsidieert. De EZ notitie over het transitiebeleid erkent dat deze optie in de transitieaanpak onderbelicht is gebleven. Wel wordt aangegeven dat een transitiepad Schoon Fossiel eventueel alsnog uitgewerkt kan worden. Via het transitiepad 'schoon fossiel gas' (zie tabel 11) lijkt hiervoor inmiddels aandacht te komen. Aanbevolen wordt

dit pad breder in te steken en te spreken over 'schoon fossiel'.

15. Bij de formulering van transitiepaden is onder meer uitgegaan van een operationele doelstelling voor energiebesparing van 1.3% besparing per jaar. Deze doelstelling wordt bovendien gezien als een afgeleide van de CO₂ doelstelling. In deze notitie (zie inleiding hoofdstuk 7) is aangegeven dat het belang van energiebesparing veel verder gaat dan alleen CO₂ emissie reductie. Het is derhalve vreemd en onverstandig dat door EZ en VROM het energiebesparingsbeleid thans als afgeleide van het CO₂ beleid wordt gezien. Daarbij is de te realiseren energiebesparing van 1,3% per jaar – gezien het grote belang, de grote mogelijkheden en de kosteneffectiviteit van energiebesparing – weinig ambitieus te noemen; de Europese Commissie heeft vooralsnog een aanmerkelijk hoger ambitieniveau, te weten ca. 1% boven op wat autonoom als plaats vindt. In de praktijk komt dit neer op een besparing met 1.7 tot 2 procent per jaar.
16. Veel paden zijn gelieerd aan het gebruik van biomassa en gebaseerd op een zeer optimistische visie over de potenties van deze optie en een ambitieniveau dat onrealistisch en onnodig hoog is (te weten 30% bijdrage van biomassa aan onze energiebehoeften in 2040 en 20% tot 45% van de grondstofvoorziening van de chemische industrie in 2040). Het beschikbaar komen van biomassa in Nederland op grote schaal (dit moet via import) en tegen aantrekkelijke prijzen is echter allerminst gegarandeerd. Dit aspect moet in het beleid meer aandacht krijgen. Dit betekent dat de mogelijkheden, kansen en ontwikkelingsroutes van de optie *biotrade* grondig in kaart gebracht moeten worden.
17. Ook moet worden gewaarschuwd tegen te hoge verwachtingen wat betreft de toekomst van een waterstofeconomie. Het zal naar verwachting nog tenminste 25 zo niet 50 jaar duren voordat deze optie op grote schaal kan doorbreken. Bij de verdere ontwikkeling van het transitiebeleid moet hiermee rekening worden gehouden. De aandacht moet in dit stadium vooral op *research, development en demonstration* zijn gericht en nog niet of nauwelijks op marktintroductie, laat staan markttoepassing (dus geen bouw van een waterstoffabriek in bijv. Eemshaven of het nemen van stappen voor het aanleggen een waterstofinfrastructuur op een van onze eilanden).

10. SAMENVATTING CONCLUSIES

In deze notie zijn we ingegaan op het technologisch perspectief voor de transitie van de energiehuishouding richting duurzaamheid. Naast een verkenning van de mogelijkheden van verschillende energieopties is stilgestaan bij beleid dat wordt gevoerd om deze opties te ontwikkelen en, zo mogelijk, op de markt te brengen. Tevens is stilgestaan bij het energieonderzoeksbeleid (EOS) en de energietransitieaanpak van het ministerie van EZ. De conclusies worden hier samengevat.

Vernieuwing van energietechniek vergt onderzoek, ontwikkeling en demonstratie, in deze notitie vaak afgekort tot RD&D of tot energieonderzoek. Daar is geld voor nodig. Vergeleken met andere landen besteedt Nederland veel geld aan energieonderzoek, te weten 2% van de mondiale inspanning. Toch is de inspanning die we leveren als percentage van het BBP sinds 1975 bijna gehalveerd.

Een groot deel van het door de Rijksoverheid beschikbaar gestelde energieonderzoeksgeld wordt thans in ons land besteed aan energiebesparing en aan hernieuwbare energiebronnen.

Het energieonderzoek heeft verschillende functies: kennisontwikkeling, beleidsondersteuning, technologische innovatie, en internationale samenwerking. De historie laat zien dat de meeste van deze functies goed worden vervuld, maar dat we grote problemen hebben bij het valoriseren van onze kennis (technologische innovatie). Er zijn wel successen te melden, maar op vele gebieden heeft het energieonderzoek niet tot de gewenste ontwikkeling van industriële bedrijvigheid geleid. Daar zijn verschillende verklaringen voor, zoals: systematische overschatting van de mogelijkheden van ons land, de *technology push* aanpak in de ontwikkeling van technologie in plaats van een aanpak die in sterke mate op behoeften in de markt is gebaseerd, de positie van de maakindustrie in ons land die de laatste 25 jaar sterk achteruit is gegaan, de zich wijzigende omstandigheden zoals de liberalisering en privatisering van energiebedrijven, en problemen rondom de maatschappelijke inbedding van technologie (regelgeving, maatschappelijke acceptatie).

Een oorzaak is waarschijnlijk ook dat we in het energieonderzoek heel versnipperd werken. Vrijwel alles wat technologisch interessant zou kunnen zijn krijgt in ons land aandacht. We moeten leren de aandacht te focussen op een beperkt aantal opties. Dit vergt een goed vormgegeven selectieproces en de ontwikkeling van criteria die het selecteren mogelijk maken. In het selectieproces zouden min of meer gezamenlijke toekomstbeelden (maatschappelijke doelen) moeten worden ontwikkeld van waaruit wordt gewerkt. Ook moet rekening worden gehouden met de sterktes en comparatieve voordelen van ons land. Daarbij moet worden onderkend dat veel technologische systemen slechts in internationaal verband tot stand kunnen worden gebracht; partijen in Nederland zullen zich hierbij doorgaans op de ontwikkeling en markttoepassing van onderdelen van deze technologische systemen moeten richten. Tot slot is van belang dat de toepassers en gebruikers van kennis een meer centrale plaats in het keuzeprocess krijgen.

Bij het formuleren van criteria kunnen de volgende punten een rol spelen: is er voldoende ontwikkelingspotentieel van de technologie; kan de technologie een substantiële bijdrage leveren aan een duurzame energiehuishouding; wat is de kwaliteit en internationale 'inbedding' van de betrokken onderzoekers en bedrijven; vindt de kennisontwikkeling plaats binnen een innovatiesysteem dat tot industriële bedrijvigheid en werkgelegenheid kan leiden.

Aan de hand van deze overwegingen kunnen we in het kader van dit overzicht geen grondig en afgewogen oordeel geven over de verschillende technologieën. Wel kunnen we laten zien welke kansen, zorgen, en aandachtspunten voor beleid we zien.

Gegeven de genoemde criteria, komen we - op hoofdlijnen - tot de volgende conclusies voor het in Nederland te voeren beleid met betrekking tot verschillende energietechnieken:

- Verbetering van de energie-efficiency biedt nog steeds grote mogelijkheden. Het beleid zou daar sterker op gericht moeten zijn. In Nederland moet de aandacht vooral op de energie-intensieve industrie (bijv. ontwikkeling en demonstratie van doorbraaktechnologie) en op de gebouwde omgeving zijn gericht (bijv. warmtevraagreductie, en ontwikkeling en toepassing van meer duurzame CV systemen). Via de EU moet een versnelling van het verbeteren van de energie-efficiency in de transportsector worden gerealiseerd. Om tot versnelling van de ontwikkeling en toepassing van efficiëntere processen, technieken en systemen te komen, moeten nieuwe insteken worden gevolgd en beleidsinstrumenten worden ingezet. In tabel 10 van deze notitie wordt hiervoor een aantal suggesties gedaan.
- Een groot deel van onze energieconsumptie is gericht op het verwerken van grondstoffen voor de productie van materialen en op het gebruik van die materialen voor het maken van producten. Door efficiënter met materialen en producten om te gaan (bijvoorbeeld door recycling) of op andere grondstoffen over te schakelen (bijvoorbeeld van aardolie naar biomassa), kan het energiegebruik belangrijk worden beperkt en/of de CO₂ uitstoot aanzienlijk worden teruggedrongen. Ook hier liggen voor Nederland kansen. Nagegaan moet worden wat in deze de ontwikkeling en productie van materialen via bio-chemische technologie voor ons land kan betekenen.
- De inzet van hernieuwbare energiebronnen is belangrijk en biedt op de lange termijn grote mogelijkheden. Het is denkbaar dat in de tweede helft van deze eeuw de mondiale vraag naar energie voor tenminste de helft door hernieuwbare energiebronnen wordt gedekt. Voor Nederland ligt dit door geografische en klimatologisch beperkingen veel lastiger. Vooral vanwege economische overwegingen blijft de toepassing van moderne technieken om hernieuwbare energiebronnen te gebruiken de komende decennia nog relatief beperkt van omvang. Op de lange termijn lijkt het mogelijk ca. een kwart van onze huidige energiebehoeften te dekken met hernieuwbare energiebronnen waarover we in ons land beschikken (onshore en offshore). Om dit te bereiken vragen ook technische aspecten aandacht, zoals een zodanige inpassing van het grootschalig gebruik van windenergie in de elektriciteitsvoorziening dat de betrouwbaarheid van deze voorziening gegarandeerd blijft. Een grotere penetratie van hernieuwbare bronnen in ons land vergt import van energie uit deze bronnen.

- Zon PV lijkt voor een mondiale ontwikkeling richting duurzaamheid een belangrijke optie. In zonnrijke regio is introductie van zon PV nu al een goede zaak, met name in gebieden waar geen elektriciteitsnet ligt. Voor Nederland ligt dit gecompliceerder omdat we over een uitstekende elektriciteitsinfrastructuur beschikken en de instraling van zonne-energie minder gunstig is dan in veel andere gebieden. Het huidige rendement van de zonnecellen is dan ook te laag en de kostprijs nog te hoog om zonnestroom voor ons economisch aantrekkelijk te maken. Voor grootschalige toepassing zou die kostprijs van stroom uit zonnecelssystemen (thans ca.60 - 80 €ct per kWh) met een factor 10 tot 15 moeten dalen. Een daling tot ca. 12 €ct per kWh lijkt voor ons land de komende decennia mogelijk. Verkend moet worden of een verdere prijsdaling tot niveaus waarop met alternatieven kan worden geconcurrereerd haalbaar is. Ook de kosten van een inpassing van zon-PV in het net moeten in kaart worden gebracht; deze inpassing dient zodanig te geschieden dat de betrouwbaarheid van onze elektriciteitsvoorziening gegarandeerd blijft. Toepassing van zon-PV zal vooralsnog vooral in zonnige gebieden attractief worden. Industriële bedrijvigheid zal (op den duur) dus vooral in die regio's tot stand komen. Nederland beschikt over hoogwaardige kennis op het gebied van zonnecelproductie en systeemontwikkeling en –toepassing. Deze *know how* gaat met hoogwaardige bedrijvigheid en werkgelegenheid in ons land gepaard. Deze kennis zal (vooralsnog) hoofdzakelijk op toepassingen buiten Nederland moeten worden gericht. Een andere vraag die speelt is, hoe we ons geld moeten besteden om zo kosteneffectief mogelijk tot verlaging van de kostprijs van zonnestroom te komen. Twee routes dragen hiertoe bij. De eerste is markttoepassing (*learning by doing*), de tweede RD&D (*learning by searching*). Daartussen moet een goede balans bestaan. Die balans was in ons land de laatste jaren doorgeslagen naar *learning by doing* (markttoepassing). Voor de toekomst van de zonneceltechnologie lijkt het verstandiger ons geld relatief meer aan het verbeteren van de technologie via RD&D te besteden en relatief minder aan markttoepassing van de zonnecelssystemen. Om tot een veel betere performance van zonnecellen te komen en een zeer sterke verlaging van de kostprijs van zonnestroom mogelijk te maken, moet worden gewerkt aan een nieuwe generatie zonnecellen - ook wel de *derde generatie cellen* genoemd. Dit vergt financiering van vooral RD&D en daarnaast van toepassingen in de markt voor zover hiermee geleerd kan worden of dit voor de verdere ontwikkeling van de technologie essentieel is.
- Windenergie kan naar verwachting op termijn concurreren met conventionele elektriciteitsopwekking uit fossiele bronnen, zeker als de externe kosten van conventionele opwekking worden doorberekend. Windenergie kan een substantiële bijdrage leveren aan de Europese energievoorziening. Voor Nederland heeft wind op zee een aantal voordelen t.o.v. plaatsing op land: ruimte te over en nauwelijks een NIMBY probleem. Aanbevolen wordt een internationaal plan voor de winning van windenergie op de Noordzee te ontwikkelen. Het energieonderzoek in Nederland moet hierop aansluiten, rekening houdend bij de sterktes en comparatieve voordelen van ons land en die van andere landen (met name Duitsland en Denemarken). Tevens moet in Europees verband de integratie van grote windvermogens in het Europese elektriciteitssysteem aandacht krijgen teneinde ook op termijn de betrouwbaarheid van de elektriciteitsvoorziening te kunnen garanderen.

- Teelt van biomassa is in Nederland maar heel beperkt mogelijk, wel het ontwikkelen van productieve energiegewassen (in Wageningen) die elders geteeld kunnen worden. Nederland zou ook kunnen inzetten op het veredelen van biobrandstoffen die in Nederland worden aangevoerd. Ook import van biomassa en de logistieke verwerking ervan (Rotterdamse haven) verdient aandacht. In internationaal verband moet aan de ontwikkeling van biomassa als energiebron worden gewerkt. De rol die Nederland hierbij speelt moet op de sterktes en comparatieve voordelen van ons land (en die van de andere landen) zijn gebaseerd.
- Bij biofuels is inzet op het maken van biobrandstoffen uit houtige gewassen de te verkiezen route. Daarmee zijn - op termijn - grotere winsten voor milieu, economie en het gebruik van schaarse grond te behalen dan met biobrandstoffen uit bijvoorbeeld koolzaad of suikerbiet. Tezamen met de industrie zou onder meer de vergassing van biomassa (waarna uit het gas verschillende biobrandstoffen, biomaterialen of energiedragers zoals elektriciteit kunnen worden gemaakt) aandacht moeten krijgen. Biobrandstoffen vormen echter nog voor langere tijd een relatief dure optie voor de energievoorziening. Biomassa voor elektriciteitsopwekking al dan niet gecombineerd met de productie van biomaterialen lijkt voorlopig aantrekkelijker. Daar zou in het huidige innovatiebeleid met betrekking tot de toepassing van biomassa ook het accent moeten liggen.
- Ontwikkeling van een derde route, te weten *schoon fossiel*, is - naast energiebesparing en het gebruik van hernieuwbare energie - nodig om in de komende decaden op verschillende schaalniveaus (mondiaal, regionaal, nationaal) verregaande reducties van de uitstoot van CO₂ mogelijk te maken. Dit vereist een intensieve en initiatiefrijke aanpak. Het in 2003 door EZ geformuleerde beleid op dit gebied – dat kan worden gekenschetst als *Wait and See* - voldoet hier niet aan. Gezien het belang van deze optie, de kansen die het biedt voor nieuwe bedrijvigheid, de opslagmogelijkheden waarover Nederland beschikt, de positie die Nederland in het internationale veld heeft, coalitievorming die rond deze optie via het CATO project (voortgekomen uit ICES-KIS) al heeft plaatsgevonden, en de (nationale en internationale) praktijkexperimenten waarbij Nederlandse instituten en bedrijven betrokken zijn, zou deze optie heel wel een van de speerpunten van het Nederlandse beleid kunnen zijn.
- Kernenergie is in zijn huidige vorm geen techniek die je moet inzetten om tot duurzame ontwikkeling van de samenleving te komen gezien de maatschappelijke acceptatie en de problemen die hierbij een rol spelen (veiligheid, afval, proliferatie, kosten). Er zijn ontwikkelingen gaande die kernenergie mogelijk wel een duurzame optie kunnen laten zijn. Er is waarschijnlijk nog wel 20 tot 30 jaar nodig om het zover te brengen. Op mondiaal niveau dient hier aan gewerkt te worden. De bijdrage van Nederland zou echter beperkt moeten blijven, gezien het op essentiële onderdelen ontbreken van een kernenergie-industrie en het beperkte maatschappelijke draagvlak. Wel zou een zekere basiskennis in stand gehouden moeten worden of zelfs verder ontwikkeld kunnen worden, vooral met betrekking tot de behandeling van kernafval waarover we beschikken.
- Er is onzekerheid over de toekomst van waterstof. De ontwikkeling van onder andere de brandstofcel is cruciaal voor de kansen van de waterstofeconomie; met name de

prijs/prestatie verhouding moet sterk worden verbeterd. Daarnaast spelen vragen rondom de opslag van waterstof en het ontwikkelen van een waterstof infrastructuur. In de transportsector bestaan bovendien andere opties die transport en vervoer aanmerkelijk milieuvriendelijker kunnen maken. De ontwikkeling van een waterstofeconomie zal derhalve langer op zich laten wachten dan velen de laatste paar jaar hebben gesteld. Bij het doen van onderzoek en het initiëren van projecten op dit gebied moeten we daarom heel goed nagaan wat (op termijn) werkelijk de kansen en mogelijkheden voor Nederland zijn.

Om de kansen van verschillende energietechnieken te onderzoeken is het niet alleen van belang hiervoor technologische verkenningen uit te voeren, maar ook analyses te maken van maatschappijen en systemen waarbinnen die technieken moeten worden toegepast. Een van de aanpakken die hierbij wordt gevolgd is het maken van energiescenario's. Die aanpak wordt wel gevolgd om te onderzoeken of er robuuste technieken bestaan: technieken die in bijna ieder wereldbeeld een belangrijke rol gaan spelen. Een probleem hierbij is, dat in hoge mate de uitkomst wordt bepaald door de gegevens die je in je analyses stopt. Bovendien zijn vragen de stellen bij de wijze waarop technologie-ontwikkeling in veel scenariostudies wordt meegenomen; dit kan en moet beter. Toch lijken de studies tot de conclusie te leiden dat tenminste energiebesparing, het gebruik van aardgas en het gebruik van hernieuwbaar energiebronnen (waaronder biomassa en wind) aan belang gaan winnen. Een optie als CO₂ afvang en opslag is in veel scenariostudies tot op heden niet of nauwelijks meegenomen. Dit beperkt de waarde van deze studies.

Transitiebeleid - respectievelijk beleid dat is gericht het bereiken van systeeminnovaties - wordt gekenmerkt door acties op drie niveaus: landschap, regime en niche (zie het advies van VROM-raad en Energieraad). De meeste scenariostudies spelen een rol op landschapsniveau. Ze kunnen echter, toegespitst op bijvoorbeeld de elektriciteit- of transportsector, ook een rol spelen bij het maken van verkenningen op regimeniveau. Daarnaast kunnen scenario's wellicht een rol spelen bij het analyseren van kansrijke mogelijkheden op nicheniveau en op de overgang van niche naar regime niveau. Een poging hiertoe is bijvoorbeeld de ontwikkeling van socio-technische scenario's. Het is denkbaar dat de ontwikkeling van dergelijke scenario's een waardevolle rol kunnen spelen in het transitiebeleid zoals dat in ons land wordt ontwikkeld.

De energietransitie die gerealiseerd moet worden biedt geweldige uitdagingen en kansen voor nieuwe economische bedrijvigheid in ons land, waaronder – ook op energiegebied - de opbouw van een kennisindustrie. Om dit te bereiken is een nieuwe insteek van het innovatiebeleid nodig. Het gaat daarbij niet alleen om technologieontwikkeling (RD&D) maar ook om beleid dat de diffusie en valorisatie van kennis bevordert en marktontwikkeling en -toepassing van duurzame energiesystemen stimuleert. Dat de overheid hierbij een belangrijke rol heeft te spelen hangt niet alleen samen met falen van de markt maar ook met falen van systemen die de innovatie moeten dragen.

Voor het te voeren beleid zijn een aantal trends en veranderingen van inzichten van belang:

- De versnelling van technologische ontwikkeling en de opkomst en mogelijkheden van nieuwe doorbraaktechnologie (zoals ICT).
- De toenemende internationalisering (*globalisering*) van economische systemen

- (inclusief innovatiesystemen) en van het beleid.
- De toenemende afhankelijkheid van lange termijn innovaties van publiek gefinancierde kennisontwikkeling.
 - De liberalisering en privatisering van de energiesector, wat nieuwe eisen stelt aan de rol van de overheid.
 - De geleidelijke afbraak van de apparatenbouwindustrie in Nederland en daarnaast groei van de servicesector waaronder de opkomst van nieuwe ingenieurs- en consultancy bureaus op energiegebied.
 - Fossiele brandstoffen zijn in veel grotere mate economisch te winnen dan in de jaren zeventig en tachtig werd gedacht; dit maakt het voor alternatieve opties zoals energiebesparing en hernieuwbare energiebronnen lastiger om te concurreren.
 - Door vergroting van de importafhankelijk van fossiele brandstoffen en door spanningen in het Midden-Oosten, kan de voorzieningszekerheid en daarmee de kosten van met name aardolie gedurende lange tijd grote problemen geven.
 - Klimaatbeleid is thans een van de belangrijkste drijfveren voor het te voeren energiebeleid; door nieuwe kennis- en technologieontwikkeling op het gebied van CO₂ afvang, transport en opslag lijkt het toch mogelijk – zeker in de overgangsfase naar het gebruik van nieuwe energiebronnen - fossiele brandstoffen te blijven gebruiken.

Het ministerie van Economische Zaken recent heeft een nieuwe energie-onderzoekstrategie (EOS) ontwikkeld. Dat heeft geleid tot het vaststellen van prioriteiten voor het onderzoek en, in juni 2004, tot een ontwerp voor nieuwe lange termijn energieonderzoekprogramma's. In het licht van eerder gegeven beschouwingen, zijn hierbij diverse opmerkingen te maken. Samengevat komen ze op het volgende neer:

- Een van de hoofddoelen van de nieuwe strategie is het focuseren van het energieonderzoek op een beperkt aantal thema's. Daar is een begin mee gemaakt maar verdere stappen zullen moeten worden gezet.
- Het onderzoek in Nederland wordt op speerpunten gericht maar ook op ontwikkeling van kennis die nodig is om import van technologie mogelijk te maken. Wat dit laatste betekent voor aard en omvang van onderzoek in Nederland is niet helder gemaakt. Gekomen moet worden dat de beoogde focussering van het energieonderzoek uiteindelijk tocht niet wordt bereikt.
- Het (uiteindelijk) valoriseren van kennis, bij voorkeur in ons land, zou een van de hoofddoelstellingen van het energieonderzoekbeleid moeten zijn. Dit is in thans EOS niet het geval.
- Bij het selecteren van onderzoeksgebieden waaraan in Nederland het best gewerkt kan worden zijn twee criteria gebruikt: de *kennispositie* van ons land op het betreffende gebied en de *bijdrage* die het gebied kan leveren aan een duurzame energie-huishouding. Daaraan zou als derde criterium de *potentie tot valorisatie van de kennisontwikkeling, bij voorkeur in ons land*, moeten worden toegevoegd. Een vierde criterium zou de *ontwikkelingspotentie van een optie in ons land* moeten zijn. Een vijfde criterium kan de *internationale positie van ons land* op het betreffende gebied zijn. Toepassing van meer criteria dan de twee gebruikte zou tot een scherpere selectie van aandachtsgebieden kunnen leiden.
- Terecht is versterking van de internationale samenwerking een van de hoofddoelen van de nieuwe strategie. Bij de vormgeving van de strategie en van de onderzoeksprogramma's is het internationale veld echter nauwelijks betrokken gewenst.

- Bij de selectie van onderwerpen zou niet alleen de mening/visie van direct betrokkenen gebruik moeten worden gemaakt, maar ook van grondige analyses en verkenningen en van onafhankelijke, buitenlandse experts. Het verdedigen van eigen belangen door (soms maar enkele) direct betrokkenen in het EOS-proces heeft een te grote invloed op de uitkomsten van EOS gehad.
- De nieuwe onderzoeksprogrammering heeft nog steeds een hoog *technology push* gehalte. Van *demand side pull* is nog te weinig sprake. Dit beperkt de kansen op de valorisatie van kennisontwikkeling

Om tot vernieuwing van het energiesysteem te komen heeft het ministerie van Economische Zaken – gebruikmakend van theorievorming over transitie management – een aanpak ontwikkeld die tot de gewenste energietransitie moet leiden. De aanpak geeft aanleiding voor een aantal opmerkingen. Allereerst een aantal waarderende opmerkingen:

- De aanpak grijpt precies aan op het punt waar het innovatieproces in Nederland stagneert: het valoriseren van kennis. Dit juichen we toe.
- In de aanpak wordt gezocht naar een nieuwe rol van de overheid in het innovatieproces. Die rol kan worden beschreven in termen van leiderschap, makelaarschap, partnerschap, en betrouwbaarheid. Aan EZ de taak daar inhoud aan te geven. EZ moet niet terugtreden maar optreden, vooral als regisseur, en ervoor zorgen dat, in het ogen van de betrokken speler in het veld, de betrouwbaarheid van de overheid aanzienlijk wordt vergroot.
- In het transitieproject wordt met een open agenda gewerkt. Er worden doelen gesteld, maar de invulling daarvan kent een hoge mate van flexibiliteit. Dat juichen we toe.
- Er wordt een aanpak gevolgd waarbij marktpartijen en andere *stakeholders* nauw zijn betrokken of zelfs het voortouw hebben, zoals bij de formulering van visies en experimenten. Terecht merkt EZ op dat dit tot vergroting van het draagvlak leidt.
- De aanpak is verfrissend en op veel punten in lijn met visies en inzichten zoals beschreven in deze notitie. De betrokken ambtenaren bij EZ verdienen het hiervoor gecompliceerd te worden.

Gezien de beoogde transitie van het energiesysteem hebben we ook een aantal kritische opmerkingen:

- De aanpak richt zich op een deel van de energievoorziening. De gebouwde omgeving, de transportsector en de agrarische sector vallen er (grotendeels) buiten. Het is zaak dat op deze terreinen door de ministeries die daarvoor verantwoordelijk zijn even voortvarend en in nauw contact met elkaar wordt gewerkt aan het opzetten van transitiebeleid.
- De transitieaanpak van EZ richt zich op een onderdeel van het innovatieproces en lijkt als een tamelijk geïsoleerde activiteit tot stand te komen. Het is van belang om alle beleidsvorming die nodig is om een transitie van het energiesysteem richting duurzaamheid mogelijk te maken daarop te richten. Het gaat dan om het energieonderzoekbeleid (EOS), om het energie-innovatiebeleid dat langs andere sporen – binnen en buiten EZ - vorm krijgt, om wet- en regelgeving op energiegebied, om het beleid richting Europa, om het ontwikkelen van nieuwe instrumenten die de transitie naar een duurzame energiehuishouding kunnen bevorderen, om het leggen van een koppeling tussen de transitieaanpak en het innovatiebeleid zoals dat elders binnen het departement van EZ en via het Innovatieplatform vorm krijgt, enzovoort.
- Er moet meer aandacht komen voor de internationale setting van de transitieaanpak:

wat moet er in Brussel of in andere landen gebeuren en wat in Nederland om de energietransitie te doen slagen, hoe kunnen kansen voor bedrijvigheid in Nederland bij de ontwikkeling van nieuwe energiesystemen internationaal vorm krijgen en wat betekent dit voor de invulling en vormgeving van de verschillende transitiepaden.

- Het aantal geformuleerde transitiepaden is groot, waarschijnlijk te groot, mede gezien de thans beschikbare middelen. Met het huidige budget zal het niet mogelijk zijn om op bijna alle gebieden tenminste twee zinvolle experimenten te financieren. Voorkomen moet worden dat door de spreiding van de (thans) beperkt beschikbare middelen over heel veel experimenten, die spoeling zo dun wordt dat de experimenten onvoldoende kunnen opleveren of mogelijk zelfs, door onvoldoende steun, niet van de grond komen.
- De voorgestelde experimenten zijn uitsluitend technologisch gericht. Ook daarbuiten zijn experimenten uit te voeren, bijvoorbeeld bij het zoeken naar een internationale vormgeving van de transitiepaden.
- Beseft moet worden dat een succesvol experiment niet meteen tot marktdiffusie leidt. Daar komt meer bij kijken, ook van de zijde van de overheid. Meer algemeen zou over mogelijkheden van trajectfinanciering (van onderzoek naar markttoepassing) moeten worden nagedacht
- In het proces lijken de aanbieders van kennis, in plaats van de gebruikers, nog steeds een doorslaggevende stem te hebben. Daarin moet verandering komen.
- In het innovatiebeleid en bij innovatieprocessen moet meer ruimte komen voor leren. Dit vergt monitoring, evaluatie en communicatie. In de transitieaanpak van EZ moet hiervoor, ook financieel, ruimte komen. Daarnaast moet meer geleerd worden van ervaringen in het verleden, van ervaringen op andere beleidsterreinen en van ervaringen het buitenland.
- Bij de ontwikkeling van transitiepaden is de optie 'CO₂ afvang en opslag' (CCS) tot voor kort vrijwel geheel buiten beeld gebleven. Dit is een gemiste kans. Wel is inmiddels een kentering te bespeuren. Aanbevolen wordt om op dit gebied een sterk transitiepad te ontwikkelen, tezamen met de betrokken spelers in het veld.
- Bij transitiepaden die moeten leiden tot vergroting van de energie-efficiency, moet worden uitgegaan van veel ambitieuzere doelstellingen dan thans door EZ worden gehanteerd, bijvoorbeeld 2% efficiencyverbetering per jaar in plaats van 1.3%.
- Tenslotte moet worden gewaarschuwd voor veel te hoge verwachtingen ten aanzien van de potenties van biomassa en de grootschalige marktintroductie van waterstof als energiedrager in de komende decennia.

REFERENTIES

- Blok, K., J. de Beer en C. Geuzendam (1996), *Nederlandse R&D opties voor verbetering van de energie-efficiency*, Achtergrondstudies Verkenningcommissie Energieonderzoek, OCV, Amsterdam.
- Bruggink, J.J.C. (2004), *Energiescenario's in relatie tot transitiebeleid; overzicht en evaluatie*, ECN / VROM-raad / Energieraad, Petten.
- CE (2004): *Kernenergie op herhaling?*, Rathenau Instituut, Den Haag.
- Ecofys (2004), J. de Beer en K. Blok, *Energietransitie en opties voor energie efficiency verbetering*, Ecofys, Utrecht (studie voor VROM-raad en Energieraad).
- Elzen, B, F. Geels en P. Hofman (2004), *Socio-technische scenario's als hulpmiddel voor transitiebeleid*, in: H. Volleberg et al (red.), 'Milieubeleid en Technologische Ontwikkeling', SDU Uitgeverij, Den Haag.
- EZ (2000), *Energie en Samenleving in 2050: Nederland in wereldbeelden*, Ministerie van Economische Zaken, Den Haag.
- EZ (2001). *EOS; Energie Onderzoek Strategie*, Ministerie van Economische Zaken, Dn Haag.
- EZ (2002), *Investeren in energie, keuzes voor de toekomst*, Energierapport 2002, Ministerie van Economische Zaken, Den Haag.
- EZ (2003), *Beleidsnotitie Schoon Fossiel*, Ministerie van Economische Zaken, Den Haag.
- EZ (2004), *Innovatie in het Energiebeleid - Energietransitie: stand van zaken en het vervolg*, Ministerie van Economische Zaken, Den Haag.
- Gielen, D. and J. Podkanski (2004), *The Future Role of CO₂ Capture in the Electricity Sector*, 7th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-7), Vancouver, Canada.
- Hamelinck, C. (2004), *Outlook for Advanced Biofuels*, Proefschrift, Copernicus Instituut, Universiteit Utrecht, 7 juni 2004.
- Haug, M. (2004), *Keynote address*, 7th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-7), Vancouver, Canada.
- Hekkert, M.P. (2000), *Improving material managements to reduce greenhouse gas emissions*, Proefschrift, Universiteit Utrecht, 20 september 2000.
- Hoogwijk, M. (2004), *On the Global and Regional Potential of Renewable Energy Sources*, Proefschrift, Copernicus Instituut, Universiteit Utrecht, 12 maart 2004.
- IBO (2002), *Samenwerken en Stroomlijnen: Opties voor een effectief innovatiebeleid*, Eindrapportage IBO technologiebeleid, Interdepartementaal beleidsonderzoek, Den Haag.
- ICARUS-4 (2001), *Database of energy-efficiency measures for the Netherland, 1995-2020*. Sectie Natuurwetenschap en Samenleving, Copernicus Instituut, Universiteit Utrecht.
- Junginger, M., A. Faaij and W.C. Turkenburg (2004), *Cost Reduction Prospects for Offshore Wind Farms*, Wind Engineering, Vol. 28, Nr. 1, pp. 97-118.
- Menkveld, M. (2004), *Energietechnologieën in relatie tot transitiebeleid; factsheets*, ECN / VROM-raad / Energieraad, Petten.
- NOVEM (2004), *Nieuw Energie Onderzoek (NEO) Technologiestudies*, Novem, Utrecht.
- Rotmans, J., et al. (2000), *Transities & transitie management; de casus van een emissiearme energievoorziening*, ICIS BV, Maastricht.
- SenterNovem (2004), *Lange termijn EOS-onderzoeksprogramma's*, SenterNovem, Utrecht, 28 juni 2004.
- Shell (2001), *Energy Needs, Choices and Possibilities – Scenarios tot 2050*, Shell International, London.
- Turkenburg, W.C. (2002), *The Innovation Chain: Policies to Promote Energy Innovations*, in: T.B.

Johansson and J. Goldemberg (Eds.), 'Energy for Sustainable Development; A Policy Agenda', UNDP, New York, pp. 137-172.

Verbong, G. (2004), *Biedt de energietransitie kansen voor de Nederlandse industrie?*, Stichting Hiostorie der Techniek, TU Eindhoven, Eindhoven (essay voor VROM-raad en Energieraad).

WEA (2000), J. Goldemberg (Ed.), *World Energy Assessment, Energy and the Challenge of Sustainability*, UNDP / UNDESA / WEC, New York.

WEA (2004), J. Goldemberg and T.B. Johansson (Eds.), *World Energy Assessment; Overview – 2004 Update*, UNDP / UNDESA / WEC, New York.