

# **ENERGIETECHNOLOGIE IN HET SPANNINGSVELD TUSSEN KLIMAATBELEID EN LIBERALISERING**

O. van Hilten  
J.J. Battjes  
J.W. Dijkstra  
K. Hemmes  
M.B.T. Kaal  
P. Lako  
R. Nahuis  
A. de Raad

## Abstract

The central question in this report is: how do climate change policies on the one hand and the liberalisation of energy markets on the other hand influence the role of new energy technology? To address this question, technological, economical and societal aspects have been studied. With regard to *technological aspects* a list is made of technologies which could become important when a 50% reduction of annual Dutch CO<sub>2</sub> emissions is required in the year 2050. For each of these technologies, future energy efficiencies are estimated. Using these figures, three 'blue prints' of the energy supply system in 2050 are described. In two of these blueprints the energy infrastructure changes drastically, in that electricity or hydrogen becomes the dominant final energy carrier in all end-use sector. In the third blueprint the current final energy carriers (methane, electricity and gasoline/diesel) maintain their dominant position. With regard to *economical aspects*, 14 interviews have been held with a wide range of companies in the energy sector. In these interviews the role of technology in the company strategy was the main focus. With regard to *societal aspects*, a number of important energy technologies are analysed in terms of how much societal support or resistance can be expected when these technologies are implemented on a large scale. Also two environmental organisations and a consumer organisation have been interviewed.

## Verantwoording

Dit rapport (ECN-C--00-020) is voortgekomen uit een studie die is uitgevoerd in het kader van het ENGINE-programma van ECN, door de units Beleidsstudies (projectnummer 7.7196) en Brandstoffen, Conversie en Milieu (projectnummer 7.2880).

# INHOUD

SAMENVATTING	5
1. INLEIDING	13
2. INVENTARISATIE EN KARAKTERISERING VAN ENERGIECONVERSIE TECHNOLOGIEËN	16
2.1 Inleiding	16
2.2 Activiteiten	16
2.3 Methodiek	16
2.3.1 Ordening van technologieën volgens het energiesysteem van Scott	16
2.4 Inventarisatie	18
2.4.1 Resultaten	18
2.5 Opstellen groslijst	19
2.6 Selectie	20
2.6.1 Resultaten	20
2.7 Karakterisering van technologieën (rendementsschatting)	22
2.7.1 Schatting van energievervalsing rendementen	23
2.7.2 Resultaten karakterisering rendementen technologieën	24
2.8 Conclusies	24
3. DRIE BLAUWDrukKEN VAN DE ENERGIEVOORZIENING	25
3.1 Keuze van de blauwdrukken	25
3.2 Beschrijving energievraag 2050	25
3.3 CO <sub>2</sub> -emissies in de ‘business as usual’ energievoorziening	27
3.4 Invulling blauwdrukken	28
3.4.1 Aanpak	28
3.4.2 Beschrijving van de blauwdrukken	29
3.5 De resultaten per blauwdruk	30
3.6 Timing van de transitie naar een koolstofarme energievoorziening	36
4. BEDRIJFSECONOMISCHE ASPECTEN	37
4.1 Inleiding	37
4.2 Recente ontwikkelingen	37
4.3 Theoretisch kader	39
4.3.1 De productiesector	41
4.3.2 De technologieproducenten	44
4.3.3 Energiehandel	47
4.3.4 De rol van (duurzame) technologie	48
4.3.5 Het theoretisch kader toegespitst op duurzame energie	51
5. DE VISIE VAN DE MARKT OP NIEUWE ENERGIETECHNOLOGIE	53
5.1 De blauwdrukken	53
5.2 Technologieën	57
5.3 Strategie	59
5.4 Milieu	59
5.5 Conclusies	60

6.	MAATSCHAPPELIJKE WRIJVINGSFACTOREN	63
6.1	Inleiding	63
6.2	Maatschappelijke implicaties van sleuteltechnologieën	64
6.2.1	Fotovoltaïsche energie (PV)	64
6.2.2	Windenergie	65
6.2.3	Biomassa	66
6.2.4	Warmtepompen	67
6.2.5	Warmtekracht	68
6.2.6	Warmtedistributie	68
6.2.7	CO <sub>2</sub> opslag	69
6.2.8	Transport	69
6.3	Blauwdrukken als hoeken van het maatschappelijk krachtenveld	70
6.3.1	Markt en maatschappij	71
6.3.2	Maatschappelijke organisaties, gebruikers en lokale overheden	72
6.4	Conclusies	78
6.4.1	Actoren tussen liberalisering en klimaatbeleid	78
6.4.2	Centrale versus decentrale technologie	78
6.4.3	Blauwdrukken	79
7.	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	81
	LIJST VAN AFKORTINGEN	85
	ANNEX A	86
	REFERENTIES	89

## SAMENVATTING

### Vraagstelling, afbakening en aanpak

#### *Centrale vraagstelling*

In dit rapport staan de kansen van nieuwe energietechnologie centraal. Twee belangrijke ontwikkelingen lijken die kansen voor een groot deel te gaan bepalen: enerzijds de wens om te komen tot een drastische CO<sub>2</sub>-reductie op lange termijn, anderzijds de liberalisering en privatisering van de energiesector. Er lijkt een spanning te bestaan tussen deze twee ontwikkelingen: drastische CO<sub>2</sub>-reductie biedt kansen voor nieuwe energietechnologie, liberalisering lijkt een bedreiging te vormen omdat de neiging om te investeren in technologie met in het algemeen hoge vaste kosten, niet groot zal zijn. Daarnaast vraagt drastische CO<sub>2</sub>-reductie volgens sommigen om grootschalige energieconversie, terwijl de liberalisering juist lijkt te leiden tot decentralisatie van de energievoorziening.

#### *Afbakening en onderzoeksvragen*

Er zijn vier hoofdlijnen om de CO<sub>2</sub>-reductie in Nederland te bewerkstelligen: minder inwoners, minder welvaart per inwoner, minder energiegebruik per gulden welvaart en minder CO<sub>2</sub> per gebruikte eenheid energie. In dit rapport gaat het alleen over dat laatste. In theorie zijn de mogelijkheden om veel minder of geen CO<sub>2</sub> uit te stoten per gebruikte eenheid energie namelijk erg groot. De verwachtingen omtrent deze technologische oplossing zijn daarom vaak zeer hoog. Het lijkt ook de 'gemakkelijkste' oplossing: als we er nou maar voor zorgen dat we 'schone' energiedragers hebben, dan kan onze welvaart ongehinderd doorgroeien. Maar is het wel zo'n gemakkelijke oplossing? Zijn de dan benodigde energiedragers wel beschikbaar? Is de bijbehorende technologie niet heel speculatief? Over welke technologie praten we eigenlijk? Moet de energie-infrastructuur aangepast worden, met zeer hoge kosten van dien? Kunnen vraag en aanbod van energie nog wel zo gemakkelijk op elkaar afgestemd worden? Leidt al die nieuwe technologie wel tot maatschappelijk aanvaardbare oplossingen? Is het wel mogelijk om die weg in te slaan, gegeven de werking van een geliberaliseerde energiemarkt? Slaan we niet wegen in die op lange termijn juist ongunstig zijn? Over al dit soort vragen gaat dit rapport. Kort gezegd worden een aantal technologische, bedrijfseconomische en maatschappelijke wrijvingsfactoren van vergaande CO<sub>2</sub>-reductie door middel van een technologische aanpak onderzocht. Kosten en overige milieu-effecten blijven buiten beschouwing<sup>1</sup>.

#### *Drie 'blauwdrukken'*

De 'wrijvingsfactoren' van een overgang naar een CO<sub>2</sub>-arme energievoorziening worden onderzocht aan de hand van drie 'blauwdrukken' van zo'n energievoorziening. Met de term 'blauwdruk' wordt niet bedoeld dat in de ogen van de auteurs de toekomstige energievoorziening ontworpen en volgens plan gerealiseerd wordt. De blauwdrukken zijn slechts bedoeld om de analyse en discussie te structureren. Ze zijn derhalve zo gekozen dat het hele speelveld gedekt wordt. De blauwdrukken zijn tot op zekere hoogte ééndimensionaal, passend in één specifieke visie. Toch is het zeker niet ondenkbaar dat de werkelijke invulling van de energievoorziening (bijv. in een bepaalde regio) overeenkomt met één van de blauwdrukken.

---

<sup>1</sup> Het is op het eerste gezicht wellicht merkwaardig om naar bedrijfseconomische wrijvingsfactoren te kijken, maar kosten buiten beschouwing te laten. De bedrijfseconomische wrijvingsfactoren waar het in dit rapport om gaat betreffen vooral de rol van technologie in bedrijfsstrategieën. Hiervoor is het niet noodzakelijk kostenschattingen van individuele technologieën of infrastructuren te maken. Verwachtingen ten aanzien van (toekomstige) kosten spelen natuurlijk wel een rol in deze strategieën.

Getracht is blauwdrukken te kiezen die aansluiten bij visies die in de energiewereld de ronde doen. De blauwdrukken geven vooral aan welke finale energiedragers toegepast worden. Qua inzet van primaire energiedragers blijven er binnen een blauwdruk nog meerdere mogelijkheden open (bijv. het type elektriciteitscentrales: kolen met CO<sub>2</sub>-verwijdering, kernenergie, duurzaam?). Ook moge duidelijk zijn dat de blauwdrukken elkaar deels overlappen.

Er is gekozen voor de volgende drie blauwdrukken:

1. Blauwdruk 'Bestaande Infrastructuur'. In deze blauwdruk staat voorop dat de bestaande energie-infrastructuur benut blijft worden. De keuze van primaire energiedragers kan dus wel veranderen, maar we blijven dezelfde finale energiedragers (methaan, benzine, diesel, elektriciteit) maken. Achtergrond van deze visie is dat het heel moeilijk is om de energie-infrastructuur te veranderen. In deze blauwdruk merkt de eindverbruiker in principe niets van de veranderingen in de energiesector.
2. Blauwdruk 'Waterstof'. In deze blauwdruk wordt 'Nederland aardgasland' uiteindelijk 'Nederland waterstofland'. De waterstof kan op verschillende manieren gemaakt worden, maar moet natuurlijk wel CO<sub>2</sub>-arm zijn.
3. Blauwdruk 'Elektriciteit'. In deze blauwdruk wordt de rol van elektriciteit als finale energiedrager veel belangrijker. Gasvormige en vloeibare energiedragers worden voor een belangrijk deel vervangen door elektriciteit.

Binnen alle drie blauwdrukken is getracht twee varianten vorm te geven: een variant met nadruk op decentrale technologie (d.w.z. productie van energie vindt plaats op dezelfde plaats of vlakbij het verbruik) en een variant met nadruk op centrale (vaak grootschalige) technologie. Als (tamelijk willekeurig) 'zichtjaar' wordt 2050 gehanteerd.

### *Ondernomen activiteiten*

De volgende activiteiten zijn ondernomen:

1. Op basis van literatuurstudies en expert interviews is een inventarisatie gemaakt van huidige en toekomstige energieconversietechnologieën. Deze technologieën zijn op systematische wijze geordend volgens het energiesysteem van Scott. Van de technologieën is vervolgens aangegeven of ze passen in een van de drie blauwdrukken voor de toekomstige energievoorziening. Uit de longlist van technologieën is een selectie gemaakt op basis van een inschatting van de technische en/of economische haalbaarheid, potentieel en representativiteit voor andere technologieën. Voor een groot aantal technologieën is geen data voorhanden betreffende rendementen. Voor deze technologieën is op basis van literatuurdata een rendement geschat. Het betreft hier vooral de productie van secundaire energiedragers (methanol, synthetische benzine), waterstoftechnologieën en geavanceerde biomassaconversietechnologieën. De onzekerheid in de geschatte rendementen is significant, zeker met inachtneming van mogelijke verschillen in aannamen en randvoorwaarden.
2. Kwantificeren van de drie 'blauwdrukken' van de energievoorziening: aan de hand van de blauwdrukken is nagegaan wat een vergaande reductie van CO<sub>2</sub>-emissies betekent voor de inzet van technologieën en de behoefte naar primaire energiedragers<sup>2</sup>. Voor alle drie blauwdrukken zijn twee varianten gemaakt: één met nadruk op vooral decentrale energieconversie en één met de nadruk op centrale (grootschalige) energieconversie. De kwantificering is uitgevoerd met behulp van een speciaal ontwikkeld spreadsheet, waarin vanuit een gegeven nuttige vraag naar energie in de eindverbruikssectoren (industrie, land- & tuinbouw, huishoudens en diensten) de energievoorziening kan worden ingevuld. Dat betekent dat allereerst marktaandeelen worden gegeven aan eindverbruikerstechnologieën die kunnen voorzien in de nuttige vraag (bijv: 20% van alle personenkilometers wordt afgelegd met methanol-

---

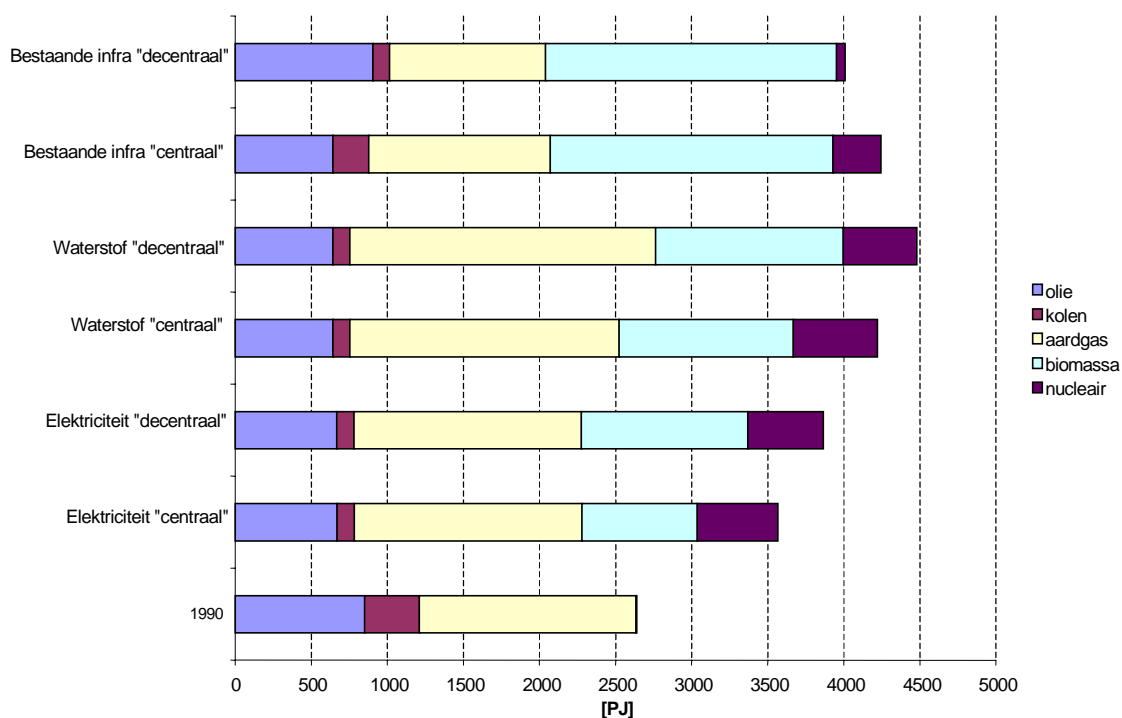
<sup>2</sup> De blauwdrukken hebben alleen betrekking op het deel van het Nederlandse energiegebruik dat te maken heeft met pure energieconversie. Dat wil zeggen dat energieopwekking en -verbruik bij bepaalde industriële processen (hoogovens en cokesproductie, productie van plastics, aardgasverbruik voor kunstmestproductie) buiten beschouwing blijven. Daarnaast blijven ook enkele categorieën energiegebruik in de transportsector buiten beschouwing: binnenlandse scheep- en luchtvaart en mobiele werktuigen.

brandstofcelauto's) en vervolgens op welke wijze voorzien wordt in de vraag naar secundaire energiedragers (bijv: de benodigde methanol wordt voor 50% gemaakt uit biomassa via Groene Synthese warmte/kracht). Aan deze invulling ligt geen optimalisatie ten grondslag, het is een hulpmiddel om bepaalde visies op de toekomstige energievoorziening 'handen en voeten te geven'.

3. Literatuurstudie over (bedrijfs-)economische theorie over de rol van technologie in de strategie van (energie-)bedrijven.
4. 15 interviews bij zeer uiteenlopende bedrijven in de energiesector over hun visie op de lange termijn energievoorziening, de rol die technologie speelt in hun lange termijn strategie en hun visie op de rol van de overheid.
5. Literatuurstudie en enkele interviews naar de maatschappelijke acceptatie/inbedding van technologieën. De (telefonische) interviews zijn afgenomen bij enkele maatschappelijke organisaties (Stichting Natuur & Milieu, Greenpeace, Consumentenbond).

### Resultaten van de blauwdrukken

Het is in principe in alle drie blauwdrukken (technologisch) mogelijk om tot 50% CO<sub>2</sub>-reductie te komen ten opzichte van 1990 (omdat een deel van het energieverbruik en bijbehorende CO<sub>2</sub>-emissies in de blauwdrukken buiten beschouwing blijft, komt dit neer op ongeveer 40% reductie van de *totale* Nederlandse CO<sub>2</sub>-emissies). Dat gaat wel gepaard met een grote inzet van *alle* belangrijke duurzame energiebronnen (zon, wind, biomassa en omgevingswarmte), ook al wordt daarnaast *ook* op grote schaal gebruik gemaakt van CO<sub>2</sub>-opslag en/of kernenergie. In Figuur S.1 en S.2 zijn de belangrijkste kentallen van de blauwdrukken weergegeven. Bij de interpretatie moet bedacht worden dat de resultaten niet het gevolg zijn van één of andere optimalisatie. Er is 'met de hand' een invulling van de energievoorziening gemaakt. Kosten blijven daarbij buiten beschouwing. De enige richtlijn bij het invullen de energievoorziening is dat de technologieën zoveel mogelijk aansluiten bij de filosofie van de blauwdruk. De precieze omvang van de toepassing van individuele technologieën is daarbij tot op zekere hoogte arbitrair. Het gaat nadrukkelijk om de grote lijnen.



Figuur S.1 *Primair energiegebruik (excl. zon, wind, omgevingswarmte en afval)*

Elektriciteitsopwekking uit afval en import van elektriciteit zijn in deze figuur weggelaten omdat de omvang daarvan in alle varianten gelijk is gehouden. De olie in de figuur wordt ingezet voor die categorieën energiegebruik die buiten beschouwing zijn gelaten (non-energetische toepassingen, mobiele bronnen, binnenvaart etc). Verder zijn zon, wind en omgevingswarmte niet als primaire energiedragers opgenomen.

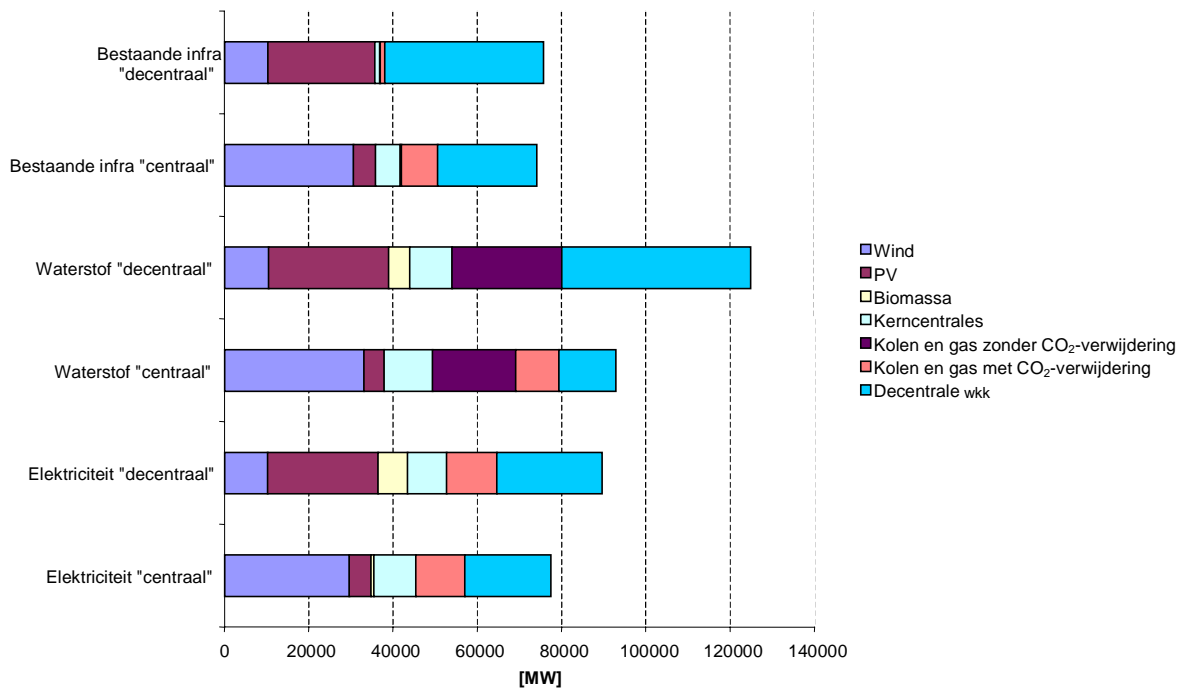
De productie van nieuwe secundaire energiedragers brengt met zich mee dat er soms veel conversieslagen gemaakt moeten worden. In de blauwdruk Bestaande Infrastructuur wordt synthetisch aardgas (SNG) gemaakt uit biomassa via hydrovergassing, waarbij de waterstof gemaakt wordt uit aardgas gecombineerd met CO<sub>2</sub>-opslag. In de Waterstof variant wordt waterstof uit elektriciteit gemaakt, en wordt de waterstof weer omgezet in elektriciteit in brandstofcellen. In de blauwdruk Elektriciteit is het minst sprake van toenemende complexiteit van de conversie. Dit komt tot uiting in een relatief laag primair verbruik.

De afhankelijkheid van geteelde of geïmporteerde biomassa is in alle varianten erg groot. In de Bestaande Infrastructuur varianten is dat het gevolg van het feit dat biomassa de enig mogelijke bron is voor CO<sub>2</sub>-arme SNG en benzine/diesel. In de beide andere blauwdrukken is het de enorm grote elektriciteitsvraag (al of niet voor waterstofproductie) die een grote inzet van primaire energiedragers vraagt. Het benodigde areaal voor de productie van de benodigde biomassa loopt in de blauwdrukken grofweg uiteen van één tot 2,5 maal het totale Nederlandse oppervlak. De productie van gasvormige en vloeibare energiedragers is veel afhankelijker van biomassa dan de productie van elektriciteit. In een aantal varianten wordt in het geheel geen biomassa ingezet voor elektriciteitsproductie, om de totale inzet van biomassa nog enigszins te beperken.

Ook in de decentrale varianten vindt veel grootschalige, centrale conversie plaats van finale energiedragers: productie van synthetisch aardgas, grootschalige windparken, conversie van geïmporteerde biomassa, waterstofproductie. Het contrast tussen de decentrale en centrale varianten is daardoor veel minder groot dan de naamgeving suggereert. Wel ligt in de decentrale varianten meer nadruk op (kleinschalige) warmtekrachtkoppeling en lokale (kleinschalige) opwekking van duurzame energie.

In Figuur S2 is weergegeven op welke wijze de benodigde elektriciteit geproduceerd wordt. Daarbij is, om de vergelijkbaarheid tussen blauwdrukken te vergemakkelijken, een zekere standaardisatie gehanteerd bij de inzet van technieken die in alle drie blauwdrukken voorkomen. Zo is in de centrale varianten uitgegaan van ongeveer 30.000 MW wind en 5.000 MW PV, en in de decentrale varianten van 10.000 MW wind en 25.000 MW PV. In alle varianten wordt ongeveer evenveel kernenergie ingezet, met uitzondering van de blauwdruk 'Bestaande Infrastructuur', waar de elektriciteitsvraag relatief laag is. De reden om kernenergie in te zetten is om te illustreren dat ondanks de inzet van een toch vrij grote hoeveelheid kerncentrales (orde van grootte 10.000 MW) het beslag op duurzame bronnen en CO<sub>2</sub>-opslag erg groot wordt. De opslag van CO<sub>2</sub> is in de blauwdrukken Bestaande Infrastructuur en Elektriciteit in de orde van grootte van 20 Mton per jaar. In de blauwdruk Waterstof is de opslag van CO<sub>2</sub> twee tot drie maal zo hoog, o.a. door de productie van waterstof uit aardgas, gecombineerd met CO<sub>2</sub>-verwijdering.





Figuur S.2 *Elektriciteitsopwekking in MW's*

## Conclusies en aanbevelingen

### *Lock-in of lock-out: is de Bestaande Infrastructuur blauwdruk wel te verslaan?*

In de interviews wordt o.a. aangegeven dat de bedrijven in de energiesector bang zijn op het verkeerde paard te wedden (een menselijke eigenschap die versterkt wordt door de liberalisering). Dat geldt voor de keuze van technologie, maar ook voor de keuze van infrastructuur. Men wil niet alle kaarten zetten op 'all electric' of 'all hydrogen', uit angst voor een 'lock in' in een mogelijk doodlopende weg. Vanuit de *energiebedrijven* vallen dus geen aanzetten in de richting van die blauwdrukken te verwachten. Belangstelling voor innovatief onderzoek op het gebied van transport en distributie, bijv. het geschikt maken van het aardgasnet voor waterstof, lijkt er niet te bestaan. Anders dan in het geval van energietechnologie, is onderzoek op het gebied van transport en distributie in het verleden door de overheid volledig aan de sector zelf overgelaten (i.c. Kema en Gastec). Als gevolg van de liberalisering ligt de nadruk op kostenbesparing op korte termijn, en niet op aandacht voor de lange termijn. Omdat netten een lange levensduur hebben, zou het aan te bevelen zijn om bij de aanleg juist wel met de lange termijn rekening te houden. Innovatief onderzoek op dit gebied dreigt het slachtoffer van de liberalisering te worden. Hier ligt een taak voor de overheid.

Ook vanuit het klimaatbeleid komen er waarschijnlijk voorlopig geen prikkels om te komen tot een nieuwe energie-infrastructureur. Waarschijnlijk kan Nederland nog heel lang (in ieder geval tot vele jaren na 2010) aan haar klimaatdoelstellingen voldoen zonder dat een fundamentele wijziging van het energiesysteem noodzakelijk is. Met grote inspanningen op het gebied van duurzame energie en energiebesparing in het binnenland, en de inzet van de zogeheten flexibele instrumenten in het buitenland, zijn de doelstellingen haalbaar.

Al met al is er meer reden tot angst voor een 'lock out' van vormen van de energievoorziening die een fundamentele omschakeling vergen dan tot angst voor een 'lock in'. Als we er voor kiezen 'bijziend' te zijn, dan is de energievoorziening in 2020 qua structuur ongewijzigd, en is de tijd die we hebben om die structuur wel drastisch te wijzigen verkort van 50 naar 30 jaar. Dit doet de 'kansen' van de waterstof-blauwdruk aanzienlijk dalen, en in mindere mate ook de kansen van de 'all electric'-blauwdruk. Als we nu niet werken aan het openhouden van bepaalde opties, worden die opties vanzelf kansloos.

### *Duurzame energie, besparingen, nucleair en CO<sub>2</sub>-opslag: alternatieven of bondgenoten tegen wil en dank?*

Het is in principe in alle drie blauwdrukken mogelijk om tot 50% CO<sub>2</sub>-reductie te komen. Dat gaat wel gepaard met een grote inzet van *alle* belangrijke duurzame energiebronnen (zon, wind, biomassa en omgevingswarmte), ook al wordt daarnaast *ook* op grote schaal gebruik gemaakt van CO<sub>2</sub>-opslag en/of kernenergie.

Dit vormt indirect een pleidooi voor voortdurende aandacht voor verdergaande energiebesparing. Het argument dat zuinig omgaan met energie niet meer zo belangrijk is als die energie toch 'groen' is, gaat alleen op als die groene energie in overvloed en tegen lage prijzen beschikbaar is. Als er niet heel veel meer dan nu aan energiebesparing gedaan wordt, is voor 50% CO<sub>2</sub>-reductie een enorm beroep op duurzame energiebronnen nodig: vele tienduizenden megawatts PV en wind en 1000 tot 2000 PJ biomassa zijn dan bij lange na niet voldoende om 50% CO<sub>2</sub>-reductie te bereiken. Ook andere opties voor een CO<sub>2</sub>-arme energievoorziening (besparingen, CO<sub>2</sub>-opslag, kernenergie) mogen dus niet vergeten worden. Het wordt alle hens aan dek.

### *Centraal of decentraal?*

De energiesector verwacht een toenemend aandeel voor decentrale energieopwekking. Eigenschappen als minder grote investeringen per installatie, een minder grote afhankelijkheid van het distributienet en 'dicht bij de klant' lijken beter te passen bij een geliberaliseerde energiemarkt. Beheersbaarheid, flexibiliteit en keuzevrijheid zullen ook voor de eindverbruiker aantrekkelijke eigenschappen zijn. Maatschappelijke organisaties spreken ook hun voorkeur uit voor decentrale technologie (keuzevrijheid voor de gebruiker, stimulans voor zuinig omgaan met energie). Die decentrale technologieën zijn veelal nieuw en vergen dus nog veel onderzoek en ontwikkeling. Ook geldt voor veel decentrale technologie dat er veel actoren bij betrokken zijn (bewoners, huizenbouwers / projectontwikkelaars, omwonenden, gemeenten, installateurs, etc), met mogelijk tegenstrijdige belangen. Bovendien blijkt dat in alle drie blauwdrukken een invulling met een (bijna) uitsluitend decentraal karakter veel moeilijker is te geven dan een invulling met grootschalige, centrale conversietechnologie. De productie van de finale energiedragers (elektriciteit, waterstof of synthetisch aardgas, biobrandstoffen) vindt centraal plaats, waarna de geproduceerde energiedragers gedistribueerd worden. Een meer decentrale invulling van de energievoorziening dan in de hier gepresenteerde blauwdrukken is wel mogelijk (bijv. met nog veel meer PV, zon-thermisch met opslag, veel warmtekrachtkoppeling op aardgas of lokaal geproduceerde waterstof), maar de afhankelijkheid van enkele primaire dragers wordt daarmee zeer groot. Met name in de Bestaande Infrastructuur blauwdruk, die zoals is gebleken veruit de meeste kans maakt, lijkt een decentrale energievoorziening het moeilijkst te realiseren, aangezien lokale productie van synthetisch aardgas en transportbrandstoffen uit biomassa niet voor de hand ligt. De uitgesproken voorkeuren voor enerzijds de Bestaande Infrastructuur blauwdruk en anderzijds een decentrale energievoorziening, lijken vanuit het gezichtspunt van vergaande CO<sub>2</sub>-reductie dan ook nog al tegenstrijdig. Centrale technologie, met name voor de productie van secundaire brandstoffen, zal hoe dan ook erg belangrijk blijven.

### *De rol van onderzoek*

Ten aanzien van het (benodigde) onderzoek zijn op grond van deze studie een aantal zaken op te merken:

1. Reeds eerder genoemd: onderzoek naar nieuwe, innovatieve systemen voor transport en distributie van energie dreigen tussen wal en schip te vallen, nu de energiesector (traditioneel uitvoerder van dit onderzoek) in de geliberaliseerde wereld weinig of geen prikkels ondervindt tot dit type onderzoek.
2. De blauwdruk 'waterstof' kent het grootste aantal potentiële technologieën met de grootste vereiste ontwikkelingsinspanning. Daarnaast lijkt er vanuit de onderzoeksinstituten (Kema, TNO, Gastec, ECN) relatief weinig aandacht voor het maken van synthetisch aardgas en transportbrandstoffen uit andere energiedragers dan olie. Dit is mogelijk te verklaren uit het feit dat dit soort onderzoek wetenschappelijk wellicht minder aanspreekt dan de theoretisch aantrekkelijker concepten uit de waterstofeconomie of de 'all electric society'. De blauwdruk die in de maatschappij veruit de meeste steun krijgt, Bestaande Infrastructuur, lijkt in de onderzoekswereld relatief weinig aandacht te krijgen.
3. De productie van gasvormige en vloeibare energiedragers is veel afhankelijker van biomassa dan de productie van elektriciteit. Onderzoek zou zich meer kunnen richten op het gebruik van biomassa voor de productie van gasvormige en vloeibare energiedragers (i.p.v. op elektriciteitsopwekking) en dan met name op technologieën met een zo hoog mogelijke verhouding tussen het gewenste eindproduct en de benodigde biomassa. Daarbij ligt samenwerking met de landbouwsector en de raffinagesector voor de hand: de landbouwsector als producent voor biomassa, de raffinagesector die veel belang heeft bij het maken van transportbrandstoffen.

### *De rol van overheden*

De meeste respondenten uit de energiesector zijn van mening dat de markt bepaald hoe de energievoorziening van de toekomst er uit zal zien. Een minderheid vindt dat de overheid de richting bepaalt. Zowel energiebedrijven als maatschappelijke organisaties vinden dat de overheid randvoorwaarden moet stellen. Als de overheid minder invloed krijgt, wordt de rol van maatschappelijke organisaties via beïnvloeding van die overheid krijgt, geringer. De invloed via beïnvloeding van de consument zou daarentegen wel eens veel groter kunnen worden, maar hierover blijken de meningen erg verdeeld.

De overheid heeft een uitgebreid beleidsinstrumentarium op het gebied van energiebesparing (EPN, MJA's, benchmarking, subsidies) en elektriciteit uit duurzame bronnen (subsidies, groencertificaten, verplicht aandeel). In deze studie wordt duidelijk dat voor vergaande CO<sub>2</sub>-reductie alle zeilen bijgezet moeten worden. Dat betekent dat ook in de transportsector, de warmtevoorziening en industrie (chemie), veel minder CO<sub>2</sub> uitgestoten mag worden. Op deze terreinen lijkt het overheidsbeleid veel minder ontwikkeld.

Op het gebied van de energie-infrastructuur lijkt er op dit moment een soort vacuüm te bestaan. In de interviews geven de energiebedrijven aan dat het niet duidelijk is wie op het gebied van veranderingen van de energie-infrastructuur het voortouw moet nemen en wie de kosten moet dragen. Hier ligt een duidelijke taak voor de overheid. Uitgangspunt van het beleid zou moeten zijn dat het geen zin heeft de energie-infrastructuur geforceerd op korte termijn te veranderen, maar dat al wel geanticipeerd moet worden op de lange termijn. Op grond van deze studie dienen twee beleidsrichtingen zich aan:

1. Er voor kiezen om niet heel actief veranderingen van de energie-infrastructuur na te streven. Eerder in deze conclusies is al aangegeven dat dan de Bestaande Infrastructuur blauwdruk bijna vanzelf werkelijkheid wordt. Het technologiebeleid (onderzoek en ontwikkeling) kan dan heel gericht op deze blauwdruk gericht worden. Deze aanpak heeft als voordelen dat geen moeilijke keuzes gemaakt hoeven te worden, prioriteitsstelling in het energieonderzoek relatief eenvoudig wordt en de hand op de knip gehouden kan worden.

2. Er voor kiezen om actief te bewerkstelligen dat alle opties opengehouden en voorbereid worden. Dat zou voor de komende decennia betekenen dat in het energieonderzoek verschillende technologische richtingen aandacht moeten krijgen, en dat onderzocht moet worden hoe de netbeheerders op de beste manier geprikkeld kunnen worden tot het plegen van innovaties.

Om het onderzoek naar de toepassing van nieuwe finale energiedragers (bijv. ethanol-auto's, 'groen' aardgas, waterstof, etc) vaste grond onder de voeten te geven, zouden er de komende decennia ook concrete experimenten uitgevoerd moeten worden. Bijvoorbeeld op lokaal niveau daadwerkelijk een Waterstof- of Elektriciteit-blauwdruk in praktijk brengen. Lokale overheden lijken al klaar voor de rol die daarbij voor hen is weggelegd. Het zijn immers gemeenten die nu al zorgen voor experimenten met nieuwe infrastructuren en eindverbruikerstechnologieën (met name op VINEX-locaties, maar bijv. ook t.a.v. praktijkproeven met alternatieve transportbrandstoffen).

## 1. INLEIDING

In dit rapport staan de kansen van nieuwe energietechnologie centraal. Twee belangrijke ontwikkelingen lijken die kansen voor een groot deel te gaan bepalen: enerzijds de wens om te komen tot een drastische CO<sub>2</sub>-reductie op lange termijn, anderzijds de liberalisering en privatisering van de energiesector. Er lijkt een spanning te bestaan tussen deze twee ontwikkelingen: drastische CO<sub>2</sub>-reductie biedt kansen voor nieuwe energietechnologie, liberalisering lijkt een bedreiging te vormen omdat de neiging om te investeren in technologie met in het algemeen hoge vaste kosten, niet groot zal zijn. Daarnaast vraagt drastische CO<sub>2</sub>-reductie volgens sommigen om grootschalige energieconversie, terwijl de liberalisering juist lijkt te leiden tot decentralisatie van de energievoorziening. Dit wordt bijvoorbeeld voorzien door de Algemene EnergieRaad (AER, 1999, p.7). Om deze veronderstelde spanningen gaat het in dit rapport.

Er wordt in Nederland momenteel volop nagedacht over vergaande CO<sub>2</sub>-reductie. Vaak wordt gesproken over 80% reductie t.o.v. het niveau van 1990 in 2050 of aan het eind van de volgende eeuw. De nationale dialoog in het NOP-COOL project (Faaij e.a., 1999) en het onlangs verschenen boekje van de Bezinningsgroep Energiebeleid (2000) zijn daar voorbeelden van. Er zijn vier hoofdlijnen om de CO<sub>2</sub>-reductie in Nederland te bewerkstelligen: minder inwoners, minder welvaart per inwoner, minder energiegebruik per gulden welvaart en minder CO<sub>2</sub> per gebruikte eenheid energie (Bezinningsgroep, 2000; Kram, 1993).

In dit rapport gaat het alleen over dat laatste. In theorie zijn de mogelijkheden om veel minder of geen CO<sub>2</sub> uit te stoten per gebruikte eenheid energie namelijk erg groot. De verwachtingen omtrent deze technologische oplossing zijn daarom vaak zeer hoog. Het lijkt ook de 'gemakkelijkste' oplossing: als we er nou maar voor zorgen dat we 'schone' energiedragers hebben, dan kan onze welvaart ongehinderd doorgroeien. Maar is het wel zo'n gemakkelijke oplossing? Zijn de dan benodigde energiedragers wel beschikbaar? Is de bijbehorende technologie niet heel speculatief? Over welke technologie praten we eigenlijk? Moet de energie-infrastructuur aangepast worden, met zeer hoge kosten van dien? Kunnen vraag en aanbod van energie nog wel zo gemakkelijk op elkaar afgestemd worden? Leidt al die nieuwe technologie wel tot maatschappelijk aanvaardbare oplossingen? Is het wel mogelijk om die weg in te slaan, gegeven de werking van een geliberaliseerde energiemarkt? Slaan we niet wegen in die op lange termijn juist ongunstig zijn? Over al dit soort vragen gaat dit rapport. Kort gezegd worden de technologische, bedrijfs-economische en maatschappelijke wrijvingsfactoren van vergaande CO<sub>2</sub>-reductie dmv een technologische aanpak onderzocht.

Een tegenwoordig veelgebruikte aanpak bij het opstellen van scenario's is de techniek van 'backcasting': gestart wordt met het schetsen van de gewenste eindsituatie en vervolgens wordt 'teruggedeneerd' naar het heden. Deze methode werd gebruikt door DTO en nu ook in de NOP-COOL dialoog. In dit project wordt een andere aanpak gekozen. Vanuit een bepaalde technologische oriëntatie van de energievoorziening (bijv. 'all electric', 'all hydrogen') wordt bezien in welke mate CO<sub>2</sub>-reductie mogelijk is, aan welke randvoorwaarden voldaan moet zijn en welke knelpunten zich voordoen.

In dit rapport ligt de nadruk op de technologische mogelijkheden voor CO<sub>2</sub>-reductie en de rol van technologie in bedrijfsstrategieën. De vraag van betaalbaarheid komt slechts in beperkte mate aan de orde. Op een dergelijke lange termijn zijn kosten erg moeilijk te schatten, zijn de onzekerheden zeer groot (denk bijv. aan de wereldolieprijs). Daarnaast komt uit andere studies dat de totale kosten van alternatieve energiesystemen slechts een fractie van het BNP zijn (Okken, 1993), waardoor het zeer de vraag is of de keuze tussen verschillende invullingen van de energievoorziening bepaald worden door de kosten in de eindsituatie.

Het zal vooral gaan om de vraag of er prikkels (financieel of anderszins) zijn om de eerste stappen in de richting van een bepaalde lange termijn verandering te zetten. Behalve kosten komen andere milieuproblemen dan de CO<sub>2</sub>-emissies niet aan bod in dit rapport.

In de adviezen die de overheid in de loop van 1999 heeft gekregen van zowel de AER als de VROM-raad (VROM-raad, 1999), wordt aandacht gevraagd voor de lange termijn. 'Er valt niet aan de conclusie te ontkomen dat de energiehuishouding ingrijpend zal moeten veranderen om de emissiereductiedoelstelling voor CO<sub>2</sub> op langere termijn te realiseren' (VROM-raad, p.7). De AER (1999) meent dat er een 'groeiende notie in de samenleving (is) dat op de lange termijn een overschakeling naar een duurzame energievoorziening nodig is' (p.5). De AER stelt verder: 'Diverse wegen leiden naar zo'n energievoorziening. Niet op voorhand staat vast welke weg de juiste is. De overheid moet ook niet de pretentie hebben daarvoor een blauwdruk te hebben. Liberalisering houdt in dat aan de marktpartijen wordt overgelaten welke keuze uit de voorhanden energieopties wordt gemaakt'(p. 26). In het advies van de VROM-raad wordt wel enige malen terloops gesproken over de overgang naar een waterstofeconomie. Ook de AER noemt éénmaal de 'eventuele waterstofeconomie', maar wordt ook gewezen op de mogelijkheden van verdergaande elektrificatie (p.12). Bovendien 'ziet de Raad een ontwikkeling dat niet automatisch telkens wordt besloten een verfijnde gas-infrastructuur tot in de individuele woningen aan te leggen'(p.29).

In dit rapport wordt niet één blauwdruk gegeven voor de toekomstige energievoorziening, maar wordt aan de hand van een drietal blauwdrukken het speelveld verkend. Vragen die daarbij aan de orde komen, zijn:

- Bieden die blauwdrukken in ongeveer gelijke mate mogelijkheden voor zeer vergaande CO<sub>2</sub>-reductie?
- Zijn die blauwdrukken erg afhankelijk van bepaalde technologieën en hoe onzeker is de ontwikkeling van die technologieën?
- Kunnen de wegen naar die verschillende blauwdrukken nog lange tijd opengehouden worden of is er sprake van 'lock-in' of 'lock-out' effecten?

Er zijn drie 'blauwdrukken' gekozen, die in de discussies over dit onderwerp steeds weer komen bovendrijven:

- 'All electric': elektriciteit wordt de dominante finale energiedrager in alle sectoren van de economie.
- Waterstof: waterstof gaat aardgas en olie vervangen als finale energiedrager in de gebouwde omgeving, industrie en transport.
- Bestaande infrastructuur handhaven: aardgas, benzine en diesel blijven de dominante finale energiedragers en worden gemaakt uit duurzame primaire bronnen.

In de laatste blauwdruk hoeft de infrastructuur voor transport en distributie van energiedragers niet of nauwelijks te veranderen, terwijl in de beide eerste blauwdrukken juist wel een grote verandering van die infrastructuur tot stand gebracht zal moeten worden.

Gezien de voorlopig nog ruime beschikbaarheid van fossiele energiedragers en het feit dat vanuit het klimaatbeleid een drastische omschakeling van de energievoorziening het komende decennium niet nodig is, kan de vraag geponoerd worden of we ons nu al met dit soort vragen bezig moeten houden. De beide genoemde adviesraden suggereren van wel. Zo is de VROM-Raad van mening 'dat bij de invulling van de reductieverplichting voor 2010 belangrijke stappen gezet moeten worden in de richting van de technologische, infrastructurele en institutionele vernieuwing die ook op de langere termijn nodig is om tot een CO<sub>2</sub>-arme energiehuishouding te komen'(p. 36). En de AER stelt 'dat de energievoorziening na 2020 in belangrijke mate wordt bepaald door de huidige investeringen in R&D' (p. 30).

De opbouw van dit rapport is als volgt. In Hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van energieconversietechnologieën die een rol kunnen spelen in (de overgang naar) een CO<sub>2</sub>-arme energievoorziening. Deze technologieën zijn de bouwstenen voor de kwantitatieve invulling, in Hoofdstuk 3, van de genoemde 'blauwdrukken' van de toekomstige energievoorziening. Hoofdstuk 3 behandelt derhalve de technologische wrijvingsfactoren. In de Hoofdstukken 4 en 5 komen de bedrijfseconomische wrijvingsfactoren aan bod vanuit theoretisch en praktisch perspectief. In Hoofdstuk 6 staan de maatschappelijke wrijvingsfactoren centraal. Hoofdstuk 7 bevat de conclusies en aanbevelingen.

## 2. INVENTARISATIE EN KARAKTERISERING VAN ENERGIE-CONVERSIE TECHNOLOGIEËN

### 2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de werkwijze en resultaten van het opstellen van een groslijst met energieconversie technologieën, en de selectie van te beschouwen technologieën hieruit gepresenteerd. Vervolgens zal de karakterisering van deze technologieën (bepaling rendement etc.) worden behandeld. Het hoofdstuk zal worden afgesloten met een analyse van de resultaten.

### 2.2 Activiteiten

Dit hoofdstuk beschrijft een drietal activiteiten:

1. Het opstellen van een groslijst met technologieën voor de toekomstige energievoorziening.
2. Het selecteren van technologieën hieruit voor implementatie in het energiemodel.
3. Het karakteriseren van de technologieën op basis van het conversierendement (voor implementatie in het energiemodel), status van ontwikkeling en de mate waarin een technologie passend is een blauwdruk voor de energievoorziening (zie Hoofdstukken 1 en 3).

### 2.3 Methodiek

Gezien de aard van deze studie is het van belang dat er een uitgebreide lijst gegenereerd wordt welke een breed scala aan energieconversietechnologieën dekt. De volgende uitgangspunten gelden hierbij:

- De lijst moet zo volledig mogelijk zijn.
- De lijst moet technologieën onderscheiden voor zover die verschillen in voedingstroom of eindproduct(en), gebruik maken van een verschillend fysisch principe, of voor een energieketen een significant rendementsverschil hebben.
- Alleen technologieën waarvan redelijkerwijs verwacht mag worden dat zij binnen enkele decennia betaalbaar zijn, zonder dat fundamentele doorbraken nodig zijn, worden beschouwd.
- De lijst moet op systematische wijze geordend en opgesteld zijn.
- Het risico van het 'over het hoofd zien' van technologieën moet geminimaliseerd worden.

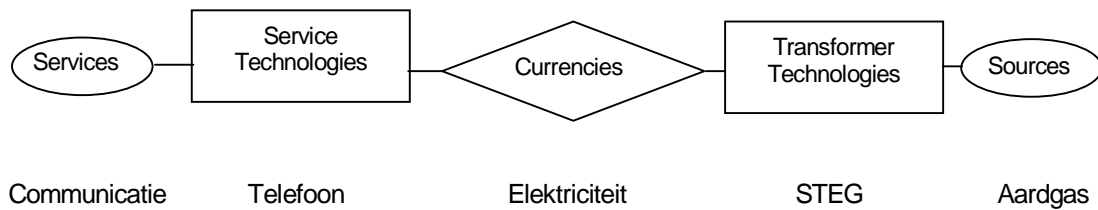
#### 2.3.1 Ordening van technologieën volgens het energiesysteem van Scott

Bij het systematisch ordenen van technologieën blijkt het energiesysteem van Scott (1994) een goede aanpak te bieden. Enige modificaties hiervan blijken noodzakelijk. Scott presenteert een architectuur voor de energievoorziening als een ketenstructuur. Hij onderscheidt daarbij een 5-tal elementen waaruit een keten bestaat:

- *Services* (diensten). De uiteindelijke dienst waar een persoon behoefte aan heeft (b.v. communicatie, verwarming, verlichting).
- *Service technologies* (diensttechnologieën). Technologieën die in staat zijn deze dienst te leveren (b.v. telefoon, warmtepomp, gloeilamp).
- *Currencies* (valuta) energiedragers die in staat zijn Service Technologies te voeden (b.v. elektriciteit, diesel).
- *Transformer technologies* (Omzettingstechnologieën). Technologieën die in staat zijn primaire energiebronnen om te zetten tot *Currencies* (b.v. zonnecellen, olieraffinaderijen, windturbines).
- *Sources* (Bronnen). Primaire energiebronnen (b.v. zon, ruwe olie).



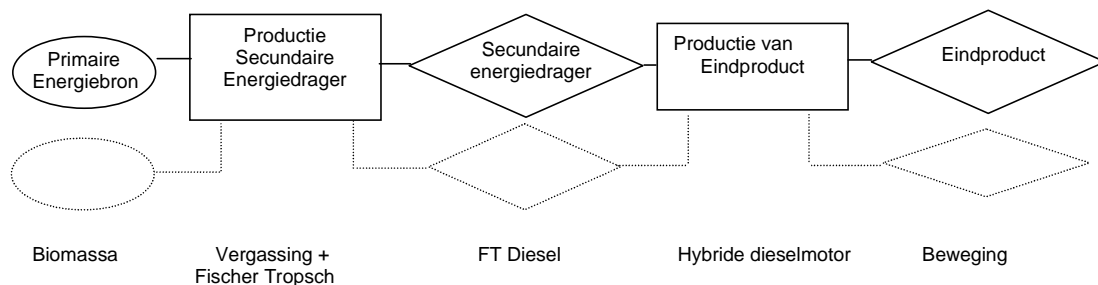
Een voorbeeld van een dergelijke keten is gegeven in Figuur 2.1.



Figuur 2.1 *De architectuur van de energievoorziening volgens Scott (1994) met voorbeeld*

Behalve deze keten zijn er andere ketens om tot dezelfde *service* te komen (b.v. Communicatie, postsysteem (auto's), transportbrandstof, olieraffinaderijen, ruwe olie). Kenmerk van het energiesysteem van Scott is dat de *services* en *sources* niet veranderen, alleen de structuur van de ketens.

Dit systeem wordt als volgt omgewerkt voor presentatie van de technologieën tot het schema van Figuur 2.2.



Figuur 2.2 *Schema gebruikt voor inventarisatie van technologieën met een voorbeeld*

De volgende modificaties zijn aangebracht:

- De energievraag wordt in dit project gekarakteriseerd als de vraag van de eindverbruiker naar *currencies*. Dit is dan ook het eindpunt van de beschouwde keten. Het heeft voor dit project geen zin om een inventarisatie van *services* en *service technologies* te maken.
- De meeste ketens bleken te beschrijven te zijn met een herhaling van 2x een *transformer technology* -- *currency* combinatie. Een enkele terugverwijzing blijkt nog wel aanwezig.
- Het gebruik van meerdere primaire energiebronnen voor de productie van een energiedrager is mogelijk.
- De productie van meerdere eindproducten of secundaire energiedrager is mogelijk (b.v. elektriciteit en een secundaire energiedrager).
- Als eindproducten zijn geselecteerd elektriciteit, warmte, beweging en chemische producten.
- Scott beschouwt als *sources* enkel zon, wind, waterkracht, kolen, olie, gas en uranium. Biomassa wordt beschouwd als *currency*, geproduceerd d.m.v. de *transformer technology* landbouw. Deze werkwijze is omslachtig. Daarom wordt besloten de set *sources* uit te breiden met enkele energiedrager. De set *sources* wordt: aardgas, kolen, olie, restgas, afval, uranium, biomassa, biomassa mest, biomassa algen, zon, wind, waterkracht, aardwarmte, koolbedmethaan.

Voor het systeem is de nomenclatuur als volgt aangepast:

- *Sources* (de uitgebreide set) worden aangeduid als primaire energiebron.
- De eerste *transformer technology* wordt aangeduid als productie van secundaire energiedrager.
- De eerstgevormde *currency* wordt aangeduid als secundaire energiedrager.
- De tweede *transformer technology* wordt aangeduid als productie eindproduct.
- De vraag naar eindverbruiker *currencies* wordt aangeduid als eindproduct.

Bij het analyseren van toekomstige technologieën blijkt synthesegas een uitermate belangrijke intermediair te zijn. Zeer veel technologieën bestaan uit een stap waarin synthesegas geproduceerd wordt, en een waarin dit synthesegas weer omgezet wordt. De synthesegasproducerende stappen in verschillende technologieën (b.v. steamreforming, biomassavergassing) blijken echter onderling uitwisselbaar, evenzo de synthesegas verwerkende stappen (b.v. Fischer Tropsch, elektriciteitsopwekking). Technologieën worden daarom gegenereerd door eerst synthesegasproductie en synthesegasverwerkende onderdelen te verzamelen. Hiervan worden later logische combinaties gemaakt. Synthegas wordt in dit stadium nog als een *currency* beschouwd.

## 2.4 Inventarisatie

Op basis van literatuur en interviews wordt nu een inventarisatie van technologieën gepleegd. De geraadpleegde literatuur is onder andere:

- Wurster (1994) geeft een overzicht van waterstoftechnologieën.
- Sogge (1994) geeft een overzicht van aardgasconversietechnologieën.
- Gradassi (1995) geeft een overzicht van aardgasconversietechnologieën.
- Larson (1999) geeft een overzicht van conversie m.b.v. Fischer Tropsch technologieën.
- Paul (1994) geeft een overzicht van transportbrandstoffen.
- In Gave (1998) wordt een groot aantal conversietechnologieën gegeven.
- Lako (1998) geeft een groot aantal technologieën voor de productie van eindproducten.

Als algemene bronnen zijn daarnaast gebruikt Schrauwers [1999], met een beschouwing over inzet van duurzame bronnen in de chemie en Kipperman [1995] met daarin een visie voor de structuur van de toekomstige energievoorziening. Geïnterviewde experts binnen ECN zijn o.a.: A. de Groot, O. van Hilten, D. Jansen, P. Lako, R. van Ree, D. Snijkers, H. den Uil en R. v.d. Woude.

### 2.4.1 Resultaten

Figuur 2.3 geeft het resulterende schema met technologieën. De technologieën zijn geordend volgens het hiervoor beschreven schema. De technologieën zijn daarnaast gerangschikt in de categorieën centraal of decentraal. Een technologie wordt als decentraal beschouwd als op wijk-niveau of kleiner, in de nabijheid van de afnemers een eindproduct geproduceerd wordt.

Om verschillende varianten van een technologie weer te geven (b.v. vergassing luchtgeblazen / zuurstofgeblazen) is een tweede kolom aanwezig met deze varianten. Bij vele technologieën bestaan in principe de mogelijkheid tot CO<sub>2</sub>-opslag. Varianten met CO<sub>2</sub>-opslag worden hier niet apart beschouwd.

Bij beschouwing van de verkregen lijst valt op dat decentrale technologieën veelal nieuwe technologieën zijn. Ook bij de productie van secundaire energiedragers zijn veel nieuwe technologieën. Vanuit de andere zijde beschouwd vallen de meeste conventionele technologieën in de categorie centrale productie van eindproducten. De productie van secundaire brandstoffen is voornamelijk centraal.

Primaire energiebron	Productie van secundaire energiedragers		Secundaire energiedrager	Productie eindproducten		Eindproduct
	<u>Decentraal</u> Vergassing Vergisting Electrolyse		HD/LT HD/HT LD	<u>Decentraal</u> u-wkk	SPFC SOFC Sterling Gasmotor Gaskachel VR-ketel HR-ketel Houtkachels	
	Biophotolyse HTU Pyrolyse		Gas productie Vloeistof productie Vast productie	Verbranding		
Aardgas Kolen Olie Restgas Stortgas Afval Uranium Biomassa Biomassa mest Biomassa algen Zon Wind Water Aardwarmte Koolbedmethaan	Thermolyse* CB/H2 proces Extractie/verestering			mini-wkk	SPFC SOFC MCFC mini GT gasmotor dieselmotor	Electriciteit Warmte ruimteverwarming Warmte tapwater Warmte industrieel Beweging Chemische producten Energie-intensieve producten Stoom
	<u>Centraal</u> Raffinage Vergassing		SNG Syngas H2 MeOH EtOH	wkk op wijkniveau	SPFC SOFC MCFC mini GT mini-steg	
	Covergassing Hydrovergassing Fermenatie Vergisting Electrolyse		luchtgeblazen zuurstofgeblazen FISST CASST Batelle	Stadsverwarming Warmtepompen	Elektrisch Gasgestookt SDHP	
	H2 uit aardgas met CO2 opslag Biophotolyse AVI Ondergrondse vergassing Methaankoppeling Pyrolyse			PV Lokaal wind Aardwarmte Zonnecollectoren HTR + warmte HTR + stoom Oven/fornuis/droger Electrische boiler Weerstandverwarming		
	Fischer Tropsch		Kerosine Stookolie Huisbrandolie Benzine Diesel	<u>Centraal</u> STEG Ketels Bijstook ketels Brandstofcellen	SOFC MCFC	
	MeOH productie		LPG CNG H2 DME MBTE* ETBE*	Windparken op land Windparken op zee Centrale PV LWR HTR + warmte Waterkracht		Archimedes Getijden Mini waterkracht Chemie Energieintensieve prod
	Stream reforming POX Autotherme reforming Kolenliquifactie Extractie/verestering Extractie/hydrocracking Compressie naar CNG DME productie		Direct SHOP GS-WKK Conventioneel LPMEOH process MODG GS-WKK	<u>Transport</u> Verbrandingsmotor Hybride Brandstofcel	SPFC SOFC	
			Biocrude CNG	Elektrische auto Nieuwe vervoersconcepten		

Figuur 2.3 Resultaten inventarisatie, technologieën zonder specificatie van voeding en product

## 2.5 Opstellen groslijst

Vervolgens worden voeding en product van de energieconversietechnologieën gespecificeerd. Per technologie worden gespecificeerd:

- De voeding: een of twee primaire energiebron(nen) dan wel secundaire brandstoffen.
- Een of meerdere eindproducten (kracht of warmte en kracht).
- Een combinatie van twee technologieën met syngas als intermediair product, bijvoorbeeld, vergassing zuurstofgeblazen met Fischer Tropsch.

## 2.6 Selectie

Deze technologieën worden vervolgens gerubriceerd t.a.v. de volgende criteria:

- Primaire, secundaire en tertiaire output.
- Centraal (c) dan wel decentraal (d) of beide mogelijk (c/d), industriële toepassing (i), of transporttoepassing (t).
- Cluster. Sommige technologieën hebben dezelfde input, output en toepassingsgebied. In dat geval worden deze samen tot een cluster gerekend. In de verdere uitwerking zal dan één of twee van deze technologieën als representatief voor dit cluster genomen worden.
- Passend in een van de drie blauwdrukken voor de energievoorziening (x = passend).

Van iedere technologie is aangegeven of deze zal worden gebruikt in het energiemodel voor Nederland in 2050. De selectiecriteria voor het wel of niet meenemen zijn:

- De technische slaagkans.
- De kans op daadwerkelijke implementatie.
- De kans dat de technologie op de genoemde termijn concurrerend is qua eindproductkosten.
- De kans dat de technologie op de genoemde termijn concurrerend is qua CO<sub>2</sub>-reductiekosten.
- De potentie van de technologie betreffende CO<sub>2</sub>-reductiepotentieel.
- De relevantie voor toepassing in Nederland.
- Huidige belangstelling voor deze technologie.
- In het geval een technologie laag scoort op bovenstaande criteria kan desondanks besloten zijn deze mee te nemen uit interesse naar de gevolgen voor de structuur van de energievoorziening.

Van technologieën behorende tot een cluster worden één of twee technologieën geselecteerd. Selectiecriteria zijn:

- Alle bovenstaande criteria.
- In hoeverre deze technologie als representatief gezien wordt voor dit cluster.
- Verwachte beschikbaarheid van data voor de conversierendementsberekening.

Al deze criteria zijn verwerkt in één beslissing: het wel of niet meenemen van een technologie in het energiemodel voor 2050.

### 2.6.1 Resultaten

De lijst met technologieën is gegeven in Bijlage A. Er wordt nog geen onderscheid gemaakt naar aardgas of waterstof als brandstof, aangezien dit geen invloed heeft op rubricering of beslissing. Bij de karakterisering wordt hierna wel onderscheid gemaakt.

Voor de productie van aardgas is koolbedmethaan de enige technologie. (Anders dan conventionele winning). Deze wordt niet meegenomen omdat deze haalbaarheid van deze technologie nog onzeker is in de Nederlandse situatie.

Voor de transporttoepassingen worden combinaties van brandstof en conversie geselecteerd op de specifieke voordelen van combinaties. Naast de conventionele technieken worden geselecteerd de brandstofcel op basis van waterstof en methanol. Vanwege het hoge rendement wordt gekozen voor een hybride aandrijving op diesel of dieselvervanger. Voor ethanol en CNG worden enkel de conventionele aandrijving meegenomen omdat geavanceerde systemen geen specifieke voordelen hebben.

Voor de productie van biocrude worden beide opties, HTU en pyrolyse meegenomen. Alle vergassingsopties voor biomassa worden meegenomen. Chemische productie uit biomassa of syngas wordt niet meegenomen omdat dit een grote diversiteit aan technologieën vertegenwoordigt die moeilijk kwantificeerbaar zijn.

Voor de productie van elektriciteit is de keuze tussen technologieën gemaakt op basis van de schaal waarop een bepaalde technologie aantrekkelijk is. SPFC en SOFC zijn al op microschaal aantrekkelijk. MCFC is dat vanaf wijkniveau vanwege de grotere complexiteit. Gasturbines SOFC-GT combinaties vanaf mini schaal. STEG, kolenketels etc. zijn alleen centrale opties. MHD-STEG wordt niet meegenomen vanwege de grote technische onzekerheid. Stortgas-motor wordt niet meegenomen vanwege de kleine bijdrage. Alle nucleaire opties worden meegenomen.

Van de duurzame opties voor elektriciteitsproductie valt de AWS (Archimedes Wave Swing) af omdat deze in de Nederlandse kustwateren de golven onvoldoende hoog zijn. Alle overige water- en wind en zon-opties zijn meegenomen. Aardwarmte-ORC combinatie valt af vanwege de relatief hoge kosten voor de Nederlandse situatie.

Als representant van combinatie van grootschalige chemische productie met elektriciteitsopwekking wordt een veelbelovende techniek, oxidatieve methaankoppeling van aardgas naar etheen opgenomen.

Van de syngas productiemethoden is zuurstofgeblazen vergassing niet meegenomen. Het geleverde product, en de efficiency is vergelijkbaar met indirecte vergassing (CASST of Batelle). Als representant van deze groep wordt CASST verkozen. Alle opties voor syngas toepassingen worden meegenomen.

Luchtgeblazen vergassing wordt enkel gecombineerd met elektriciteitsopwekking, terwijl indirecte vergassing wordt gecombineerd met voor zowel elektriciteitsopwekking als productie van secundaire brandstoffen. Productie van secundaire brandstoffen uit aardgas wordt ook meegenomen als technologie. Methanol kan gemaakt worden uit aardgas voor toepassing in brandstofcelvoertuigen. FT-diesel biedt naar verwachting geen energetische voordelen maar is meegenomen als referentie, en voor mogelijke brandstofdiversificatie. FT-diesel GSWKK (coproductie van elektriciteit en diesel) kan daarnaast ook nog een energetisch voordeel opleveren, afhankelijk van het rendement

Van de warmteleverende technieken worden alle opties meegenomen m.u.v. de afvalgestookte huisbrander (i.v.m. uitstootbezwaren) en een warmtelevering met huisbrandolie, vanwege de kleine bijdrage en verouderde techniek.

Een lijst van de geselecteerde technologieën is gegeven in Figuur 2.4. De gebruikte afkortingen worden verklaard in de lijst op pagina 84.

Input	Technologie	Technologie	Input	Technologie	Technologie
	Primaire conversie	Secundaire conversie		Secundaire conversie	Secundaire conversie
Aardgas	Oxidatieve methaankoppeling GSWKK		Biomassa	stadsverwarming	
Aardgas	H2 uit aardgas met CO2 verwijdering		Biomassa + H2	hydrovergassing	
Aardgas	Aardgas stoomreforming	MeOH productie convent	Biomassa + kolen	co-verbranding ketel	
		MeOH prod. GSWKK	Biomassa + kolen	co-vergassing+STEG	
		Fischer Tropsch	Biomassa algen	extractie/hydrocracking	
		Fischer Tropsch GSWKK	Biomassa mest	vergisten	
Aardgas/SNG u-wkk SPFC			Biomassa mest	ketel	
Aardgas/SNG u-wkk HT-FC (SOFC)			Biomassa mest	vergisten	mini-wkk HT-FC
Aardgas/SNG u-wkk stirling					mini-wkk gasmotor
Aardgas/SNG Gaskachel			Biomassa teelt (koolzaad)	extractie/verestering	
Aardgas/SNG VR-ketel			CNG	Verbrandingsmotor	
Aardgas/SNG HR-ketel			Diesel/biodiesel/RME/DME	Verbrandingsmotor	
Aardgas/SNG warmtepomp gasgestookt			Diesel/biodiesel/RME/DME	Hybride aandrijving	
Aardgas/SNG mini-wkk SPFC			e	elektrolyse HD/HT	
Aardgas/SNG mini-wkk HT-FC			e	elektrolyse HD/LT	
Aardgas/SNG mini-wkk mini-GT			e	elektrolyse LD	
Aardgas/SNG mini-wkk gasmotor			e	Electrische boiler	
Aardgas/SNG wijk-wkk HT-FC (MCFC/SOFC)			e	Electrische warmtepomp	
Aardgas/SNG wijk-wkk SOFC-GT			e	elektrische auto	
Aardgas	Stadsverwarming-wkk		EtOH	Verbrandingsmotor	
Aardgas	Oven/fornuis/droger/ketel		H2	SPFC H2 auto	
Aardgas	GT		H2	u-wkk SPFC	
Aardgas	GT-wkk		H2	u-wkk HT-FC (SOFC)	
Aardgas	Ketel		H2	u-wkk stirling	
Aardgas	STEG		H2	Gaskachel	
Aardgas	STEG-wkk		H2	VR-ketel	
Aardgas	HT-FC (SOFC/MCFC)		H2	HR-ketel	
Aardgas	SOFC-GT		H2	warmtepomp gasgestookt	
Aardwarmte	Aardwarmte		H2	mini-wkk SPFC	
Afval	oven/fornuis/droger		H2	mini-wkk HT-FC	
Afval	AVI		H2	mini-wkk mini-GT	
Afval	AVI-wkk		H2	mini-wkk gasmotor	
Afval	vergassing	STEG	H2	wijk-wkk HT-FC (MCFC/SOFC)	
Afval	vergassing	HT-FC(MCFC/SOFC)	H2	wijk-wkk SOFC-GT	
Afval	pyrolyse	gasmotor	Kolen	Vergassing	MeOH productie convent.
Benzine	Verbrandingsmotor				MeOH prod. GSWKK
Benzine	SPFC				Fischer Tropsch
Biocrude	biocrude processing				Fischer Tropsch GSWKK
Biomassa	vergassing luchtgeblazen	GT	Kolen	Liquifactie	
		GT-wkk	Kolen	Ketel	
		STEG	Kolen	oven/fornuis/droger/ketel	
		STEG-wkk	LPG	Verbrandingsmotor	
		HT-FC(MCFC/SOFC)	MeOH	SPFC	
		wijk-wkk GT	Restgas	oven/fornuis/droger/ketel	
Biomassa	vergassing indirect	STEG	Restgas	ketel-wkk	
		STEG-wkk	Restgas	STEG	
		MeOH productie	Restgas	STEG-wkk	
		FT-productie	Stookolie	ketel	
		MeOH -GSWKK	Uranium	LWR	
		FT GSWKK	Uranium	HTR + stoom	
		methanisering	Uranium	HTR + warmte	
Biomassa	vergisting		Water	Waterkracht mini-waterkracht	
Biomassa	HTU		Water	Waterkracht getijden	
Biomassa	pyrolyse vloeistof		Wind	Wind lokaal	
Biomassa	fermentatie		Wind	Wind parken centraal	
Biomassa	DME productie		Wind	Wind op zee	
Biomassa	oven/fornuis/droger/ketel		Zon	PV	
Biomassa	CB/H2 proces		Zon	zonnecollector	
Biomassa	houtkachel		Zon	biophotolyse	

Figuur 2.4 *Lijst met geselecteerde technologieën*

## 2.7 Karakterisering van technologieën (rendementsschatting)

De geselecteerde technologieën worden gekarakteriseerd op twee punten: hun rendement en hun status van ontwikkeling. Voor de status van ontwikkeling worden drie categorieën gedefinieerd:

- Technologie bevindt zich in de laboratorium- of ontwikkelingsfase.
- Technologie bevindt zich in de demonstratiefase.
- Technologie is conventioneel, wordt algemeen toegepast.

Van alle technologieën zijn rendementen geschat voor de jaren 1990 en 2050. Hierbij zijn twee categorieën te onderscheiden: technologieën waarvan data beschikbaar is het energiemodel Markal, en die waarbij dat niet het geval is. Voor zover technologieën goed beschreven zijn in Markal zijn Markal-data gebruikt (Ybema et al., 1995).

### 2.7.1 Schatting van energieconversie rendementen

Van de geselecteerde technologieën waarvoor geen data in Markal beschikbaar is worden energieconversie rendementen geschat. De resultaten zijn samengevat in datasheets in een intern ECN rapport (7.2880-GR99/1). Rendementsschatting wordt grotendeels gebaseerd op literatuurdata ondersteund door expert opinies, of op expert opinies ondersteund door literatuurdata. Het afgegeven rendement is op LHV basis (onderste verbrandingswaarde), en is gedefinieerd als:

$$\text{Rendement (product)} = \text{LHV}(\text{product}) / \text{LHV}(\text{voeding})$$

Voor een proces met meerdere producten zijn meerdere rendementen gedefinieerd. In enkele gevallen heeft een technologie meerder voedingen. In dat geval wordt de verhouding tussen LHV ingangs- en uitgangsströmen gegeven.

Gevonden waarden in de literatuur voor conversierendementen zijn in een aantal gevallen aangepast om te corrigeren voor interfacecondities (condities waarbij de secundaire energiedrager geproduceerd/verbruikt wordt), recente ontwikkelingen en systeemmodificaties voor een consistentere reeks data. In een aantal gevallen is een kleine hoeveelheid benodigd hulpvermogen verdisconteerd in een iets lager systeemrendement.

Primaire uitgangspunt bij het genereren van de rendementen is dat de consistentie in de rendementen aanwezig moet zijn. Bij het vergelijken van literatuurdata zijn regelmatig inconsistenties t.g.v. afwijkende of onduidelijke interfaces en aannames gevonden. In deze gevallen is gekozen om de consistentie tussen de data te prefereren boven het feit dat de data te onderbouwen is met een literatuurreferentie. Zo wordt bijvoorbeeld voor vergassing van biomassa, aardgas en kolen uit het artikel van Larson (1999) het effect van voeding op Fischer-Tropsch rendement gebruikt voor het genereren van de efficiëncies voor methanolproductie.

Gezien het grote aantal technologieën is geen uitgebreide literatuur search en vergelijkend literatuuronderzoek per technologie verricht. De meeste rendementen zijn geschat op basis van één of enkele literatuurreferenties. Hierbij moet wel worden aangetekend, dat de gebruikte literatuur veelal door experts was aanbevolen als zijnde van goede kwaliteit.

Uitgangspunt bij het schatten van de rendementen was dat het afgegeven rendement representatief moet zijn voor een commercieel toegepast systeem. Dit betekent dat niet het thermodynamisch optimale rendement, maar het economisch optimale rendement is geschat. Daarnaast is er bij de rendementen conservatief omgegaan met potentiële doorbraken. Bij voorkeur zijn rendementen gebruikt die niet afhankelijk zijn van onzekere doorbraaktechnologieën in de geselecteerde conversiesystemen. Er is zoveel mogelijk voor een technologie gekozen die zowel qua rendement veelbelovend is, als waarvan de slagingskans hoog ingeschat wordt.

De literatuurdata gaf doorgaans rendementen op basis van de huidige stand der technologie. Daarom is per technologie een separate afschatting gemaakt van de rendementstijging tussen nu en 2050. Bij slechts weinig technologieën worden grote ontwikkelingen in het rendement verwacht (>>5%-punten). Verhoging van het rendement van energieconversieprocessen zal naar verwachting eerder plaatsvinden door de invoering van nieuwe technologieën dan door grote rendementswinst op de huidige technologieën.

De uitkomsten van de studie moeten gezien worden als typische waarden voor een technologie, te gebruiken voor het afschatten voor energiestromen op nationaal niveau, en knelpunten op dit niveau. Opslagverliezen (met name belangrijk bij waterstoftechnologieën en elektriciteit) zijn niet meegenomen.

*Voor het vergelijken van rendementen van ketens van energieconversiestappen zijn de gegeven rendementen niet geschikt omdat het gegeven rendement te zeer afhankelijk is van de gekozen configuratie, systeemgrootten en ongelijke interfacecondities. Voor een dergelijke vergelijking moeten in meer detail ketens, met veel meer nadruk op gelijke aannamen, worden doorgerekend. Ten gevolge van bovengenoemde effecten wordt de onzekerheid in de rendementen geschat op  $\pm 5\%$  punten.*

### 2.7.2 Resultaten karakterisering rendementen technologieën

Over het algemeen was voor alle technologieën voldoende data beschikbaar. De technologieën met de grootste onzekerheden zijn de productie van secundaire brandstoffen en waterstofproductie- en conversiesystemen.

Bij de productie van secundaire brandstoffen met Fischer Tropsch of methanol synthesetechnieken speelt dat er nieuwe technologieën (slurriefaseprocessen) in opkomst zijn die een veel beter rendement hebben dan de conventionele technieken. Van deze technieken is echter minder bekend dan van de conventionele technieken. Coproductie van secundaire energiedragers en elektriciteit is vaak aangeduid als GSWKK, oftewel groene synthese warmtekrachtkoppeling. Dit impliceert dat er naast synthese en krachtproductie ook warmteproductie plaatsvindt. De literatuurdata was slechts beschikbaar voor processen zonder warmteproductie. De verhouding van elektriciteitsproductie t.o.v. secundaire energiedragersproductie is bij deze processen een belangrijke parameter die afhankelijk is van onzekere parameters als de (economisch) optimale reactorconversie.

Van de brandstofcelsystemen op basis van aardgas zijn uitgebreide studies verricht naar de systemen. Voor de brandstofcelsystemen op basis van waterstof is dit nauwelijks het geval. Er is daarom voor deze systemen met veel minder zekerheid te zeggen wat het rendement zal zijn. Waterstofproductie m.b.v. elektrolyse is een gecompliceerd compromis tussen procescondities, rendement en apparatuurkosten. Dit leidt tot een grote spreiding in het rendement. Van biomassavergassingssystemen is uitgebreid geïnventariseerd wat de mogelijkheden voor verbeteringen in de toekomst kunnen zijn. Voor de biochemische systemen (met name algenproductie) is de toekomstige ontwikkeling vooral in de productiesnelheid, niet in het energetisch rendement. De mogelijkheden van cascadering zijn niet beschouwd in de studie.

## 2.8 Conclusies

- Op basis van literatuur en expert interviews is een lijst met energieconversietechnologieën opgesteld. Opvallend is dat onder de nieuwe technologieën voornamelijk decentrale technologieën vallen, en conversies naar secundaire brandstoffen. De conventionele technologieën zijn voornamelijk centrale eindverbruikertechnologieën.
- De ingeschatte rendementswinsten over de periode nu tot 2050 waren zelden zeer hoog ( $\gg 5\%$ -punten). Aanmerkelijke verhoging van het rendement van de energievoorziening zal naar verwachting eerder plaatsvinden door introductie van nieuwe technologieën dan door autonome rendementsgroei van conventionele technologieën.
- Over het algemeen was voor alle technologieën voldoende data beschikbaar. De technologieën met de grootste onzekerheden zijn de productie van secundaire brandstoffen en waterstofproductie- en conversiesystemen.



### 3. DRIE BLAUWDRUKKEN VAN DE ENERGIEVOORZIENING

#### 3.1 Keuze van de blauwdrukken

Zoals in Hoofdstuk 1 is aangegeven worden de 'technologische wrijvingsfactoren' van een overgang naar een CO<sub>2</sub>-arme energievoorziening onderzocht aan de hand van drie 'blauwdrukken' van zo'n energievoorziening. Met de term 'blauwdruk' wordt niet bedoeld dat in de ogen van de auteurs de toekomstige energievoorziening ontworpen en volgens plan gerealiseerd wordt. De blauwdrukken zijn slechts bedoeld om de analyse en discussie te structureren. Ze zijn derhalve zo gekozen dat het speelveld zo goed mogelijk gedekt wordt. De blauwdrukken zijn tot op zekere hoogte ééndimensionaal, passend in één specifieke visie. Toch is het zeker niet ondenkbaar dat de werkelijke invulling van de energievoorziening (bijv. in een bepaalde regio) overeenkomt met één van de blauwdrukken.

Getracht is blauwdrukken te kiezen die aansluiten bij visies die in de energiewereld de ronde doen. De blauwdrukken geven vooral aan welke finale energiedragers toegepast worden. Qua inzet van primaire energiedragers blijven er binnen een blauwdruk nog meerdere mogelijkheden open (bijv. het type elektriciteitscentrales: kolen met CO<sub>2</sub>-vw, kern, duurzaam?).

Er is gekozen voor de volgende drie blauwdrukken:

1. Blauwdruk 'Bestaande Infrastructuur'. In deze blauwdruk staat voorop dat de bestaande energie-infrastructuur benut blijft worden. De keuze van primaire energiedragers kan dus wel veranderen, maar we blijven dezelfde finale energiedragers (methaan, benzine, diesel) maken. Achtergrond van deze visie is dat het heel moeilijk is om de energie-infrastructuur te veranderen. Deze visie wordt o.a. gepropageerd door de Novem in de persoon van de heer Kipperman, zie bijv. (de Vos, 1996). In deze blauwdruk merkt de eindverbruiker in principe niets van de veranderingen in de energiesector.
2. Blauwdruk 'Waterstof'. In deze blauwdruk wordt 'Nederland aardgasland' uiteindelijk 'Nederland waterstofland'. De waterstof kan op verschillende manieren gemaakt worden, maar moet natuurlijk wel CO<sub>2</sub>-arm zijn. Deze blauwdruk sluit gedeeltelijk aan bij de visie die uitgedragen wordt door VROM (zie bijv. Lenstra, 1999) en gedeeltelijk bij de visie van de monogasbedrijven (zie bijv. De Boer, 1998).
3. Blauwdruk 'Elektriciteit'. In deze blauwdruk wordt de rol van elektriciteit als finale energiedrager veel belangrijker. Gasvormige en vloeibare energiedragers worden voor een belangrijk deel vervangen door elektriciteit. Deze blauwdruk sluit nauw aan bij de visie van de elektriciteitsproductiesector (zie bijv. KEMA, 1997 en EPON, 1997).

Belangrijke vraag in alle blauwdrukken is hoe de elektriciteit en de benodigde secundaire energiedragers opgewekt worden. Er zijn daarbij drie, niet geheel onafhankelijke dimensies:

- Welke primaire energiedrager?
- Centrale of decentrale technologie?
- Hoog of laag aandeel duurzame energie?

#### 3.2 Beschrijving energievraag 2050

Omdat het in dit rapport gaat om energieconversie en infrastructuur (of met andere woorden: om de wijze waarop voorzien wordt in de benodigde finale energiedragers), wordt in de blauwdrukken uitgegaan van een gegeven energievraag. Met energievraag wordt hier bedoeld: de vraag naar warmte, elektriciteit en transportkilometers. De energievraag in 2050 voorspellen is een onmogelijke zaak. De toekomstige energievraag wordt bepaald door het tempo van de bevolkingsgroei, het tempo van de economische groei, verschuivingen in de economische structuur,

de energieprijzen en, last but not least, allerlei technologische en maatschappelijke ontwikkelingen die de Nederlandse maatschappij een totaal ander aanzien kunnen geven dan nu (vergelijk 1950 met nu). Al deze factoren zijn op de lange termijn niet te voorspellen, laat staan hun complexe interactie. In dit soort situaties is het doortrekken van trends een goed startpunt (bij gebrek aan beter). Daarom wordt hier een schatting van de energievraag in 2050 opgesteld door de trends in de beschikbare scenario's voor de periode 1995-2020, door te trekken naar 2050. Waar het gezond verstand daarom vraagt, worden de resultaten daarvan aangepast.

De laatste lange termijn verkenningen van CPB, RIVM en ECN beslaan de periode 1995-2020, die in drie scenario's beschreven wordt (CPB, 1997, ECN, 1998). De gemiddelde jaarlijkse groei van het gebruik van elektriciteit, warmte en transportbrandstoffen in de periode 1995-2020 is doorgetrokken naar 2050. Per verbruikscategorie is steeds het gemiddelde van de drie scenario's genomen (in zijn totaliteit komt dat neer op EC). (incl. efficiënter worden van auto's). Dit levert het volgende beeld. In de cijfers voor warmte en elektriciteit zit impliciet een extrapolatie van het tempo van besparingen op het eindverbruik. Met andere woorden, er wordt verondersteld dat het besparingstempo van 1 à 1,5 %/jaar uit de scenario's tot in 2050 wordt volgehouden.

Tabel 3.1 *De energievraag in 2050 [PJ]*

Energievraag	1990	2050	Groei [%]	Groei/jaar [%]
<b>Huishoudens</b>				
Warmtevraag	264	238	-10	-0,2
Warm watervraag	47	84	78	1,0
Elektriciteitsvraag	55	184	233	2,0
<b>Utiliteit</b>				
Warmtevraag	134	270	102	1,2
Elektriciteitsvraag	74	206	180	1,7
<b>Transport</b>				
Personenverkeer weg	83	158	90	1,1
Bussen weg	1	1	23	0,3
Bestelauto's weg	8	42	441	2,9
Goederenvervoer weg	6	28	339	2,5
Treinen/trams	5	7	40	0,6
Binnenlandse scheep/luchtvaart	18	36	103	1,2
Overige mobiele bronnen	31	46	47	0,6
<b>Land- en tuinbouw</b>				
Warmtevraag	148	168	13	0,2
Elektriciteitsvraag	7	15	111	1,3
<b>Industrie</b>				
Steam	185	363	96	1,1
Heat	194	387	99	1,2
Elektriciteit	118	333	183	1,8
Aardgas voor non-energetische toepassingen	95	102	7	0,1
Olieproducten voor non-energetische toepassingen	279	441	58	0,8
<b>Totaal</b>	<b>1751</b>	<b>3109</b>	<b>78</b>	<b>1,0</b>

Grofweg kan gesteld worden dat achter deze cijfers een economie schuil gaat die groeit met een percentage van 2,5% per jaar. Dat betekent dat het BNP in de periode 1995-2050 bijna een factor 4 groter wordt! Een vier maal zo omvangrijke economie moet dus gepaard gaan met drastisch lagere CO<sub>2</sub>-emissies dan in 1995.

In de huidige situatie is de trend dat het energiegebruik minder hard groeit dan de economie, door veranderingen in de economische structuur en grote inspanningen op het gebied van energiebesparing. De verwachting is dat deze trend zal doorzetten. In bovenstaande tabel moeten groeicijfers hoger dan 2,5 %/jaar dan ook met argwaan worden bekeken.

In de eerste plaats gaat het om het *elektriciteitsverbruik in huishoudens*. Het lijkt onwaarschijnlijk dat de hoge groei in de scenario's tot 2020 zal doorzetten tot 2050. Daarom is voor de gehele periode 1995-2050 een gemiddeld groeipercentage van 2% in plaats van 3% verondersteld. De elektriciteitsvraag in huishoudens komt daarmee in 2050 op 184 PJ, drie maal het verbruik in 1990.

In de tweede plaats verdient het *warmteverbruik in de dienstensector* aandacht. Weliswaar is de groeivoet lager dan 2,5 %/jaar, maar het verschil met de groei van de warmtevraag in huishoudens is erg hoog. Via EPN en EPA is daar nog erg veel winst te halen. Verder zal de groei van de toegevoegde waarde vooral moeten komen uit een sterk stijgende arbeidsproductiviteit, en veel minder uit een toename van het aantal arbeidsjaren. Uit (Menkveld, 1998) blijkt dat de warmtevraag per arbeidsjaar tussen de 25 (veel beleid, telewerken, teleshoppen, etc) en 65 (dezelfde waarde als in GC-2020) GJ zal liggen. In dezelfde notitie wordt gesteld dat het aantal arbeidsjaren tussen de 5 miljoen en 6,75 miljoen zal liggen. Als 'business as usual' wordt hier voor beide het gemiddelde genomen: 6 miljoen arbeidsjaren maal 45 GJ, wat neerkomt op 270 PJ.

In de derde plaats gaat het om het *vrachtvervoer*. De groei van voertuigkilometers van bestel- en vrachtauto's is hoger dan de groei van het BNP. Dit wordt voor de periode 1995-2020 verklaard uit een relatief sterke groei van het internationaal vervoer (CPB, 1997, pp. 293). De vraag is of we deze trend kunnen voortzetten. In (Korver, 1997) varieert de index voor de vervoersprestatie over de weg in ton-km van 147 tot 465 (als 1990 = 100). Het eerste getal hoort bij een scenario met de naam Onbegrensde Groei, het tweede getal bij Duurzame Balans. Een gebruikelijke aanname is om de vervoerde hoeveelheid vracht met het BNP mee te laten groeien. Hier wordt voor business as usual aangenomen dat de extra groei van internationaal vervoer gecompenseerd wordt door grotere vrachtwagens en/of hogere beladingsgraden, zodat ook de voertuigkilometers meegroeien met het BNP.

Tot nu toe is geen aandacht besteed aan twee categorieën energiegebruik voor transport, te weten het verbruik van mobiele werktuigen en speciale voertuigen, en het verbruik voor binnenvaart, zeescheepvaart en luchtvaart op/boven Nederlands grondgebied. De groeicijfers voor de periode 1995-2020 uit (Geurs, 1998) zijn doorgetrokken naar 2050.

### 3.3 CO<sub>2</sub>-emissies in de 'business as usual' energievoorziening

Om de CO<sub>2</sub>-emissies in de blauwdrukken te kunnen kwantificeren en te vergelijken met 1990 is een spreadsheet ontwikkeld. Op basis van een gegeven energievraag kan in dat spreadsheet aangegeven worden met welke technologieën voorzien wordt in die energievraag. Op grond daarvan worden de CO<sub>2</sub>-emissies uitgerekend. In het spreadsheet wordt een groot deel van de CO<sub>2</sub>-emissies 'gedekt'. Voor 1990 zijn de CO<sub>2</sub>-emissies in het model zijn als volgt verdeeld over brandstoffen en sectoren:

Tabel 3.2 *CO<sub>2</sub>-emissies in 1990 gedekt door het spreadsheet (Mton)*

	Olie	Kolen	Aardgas	Vuilverbranding	Totaal per sector
Huishoudens			22		22
Diensten			8		8
Industrie	8	7	25		40
Land- en tuinbouw			10		10
Raffinaderijen	11		1		11
Transport	28				28
Centrales		25	13	2	39
Totaal per brandstof	46	32	78	2	158

De industrie is inclusief de cokesfabrieken.

Het officiële cijfer voor 1990 is 168 Mton. Het verschil van 10 Mton bevat grotendeels emissies die niet direct energiegebonden zijn (procesemissies), statistische verschillen, de bouwsector en een aantal kleine kolen- en oliestroompjes. In de spreadsheet worden al deze emissies verwaarloosd.

De doelstellingen voor CO<sub>2</sub>-reductie luiden in termen van een bepaalde verlaging van het absolute niveau in 1990. Het is dus niet nodig om te schatten wat de CO<sub>2</sub>-emissie in 2050 geweest zou zijn indien er geen klimaatbeleid uitgevoerd wordt. Om toch een gevoel te krijgen van de omvang van de benodigde reductie in 2050, is op basis van de hierboven beschreven energievraag in 2050 en een ‘conservatieve’ invulling van het aanbod in 2050 een schatting gemaakt van de CO<sub>2</sub>-emissies in 2050. Deze ‘conservatieve’ invulling van het aanbod houdt in:

- 4000 MW wind, 2000 MW PV, 20 PJ output van zonneboilers, 60 PJ output van warmtepompen, geen groei van de binnenlandse biomassa-inzet na 2020,
- verviervoudiging afvalverbranding, doorgaande groei raffinaderijen, gelijkblijvende omvang van de cokesproductie,
- ongeveer een verdubbeling van warmtekrachtkoppeling en warmtedistributie in de periode 2020-2050, alle openbare centrales op aardgas,
- doorzetten van de NEV-trends op het gebied van efficiency verbetering van auto's.

Met deze aannames groeien de CO<sub>2</sub>-emissies die gedekt worden in de spreadsheet van 158 Mton in 1990 naar 214 Mton in 2050, een stijging van 35%.

### 3.4 Invulling blauwdrukken

#### 3.4.1 Aanpak

De technologieën in Hoofdstuk 2 betreffen vrijwel allemaal de pure energieconversie. Dat wil zeggen dat energieopwekking en -verbruik bij bepaalde industriële processen (hoogovens en de daarmee gepaard gaande productie van hoogovengas, cokesproductie en de daarmee gepaard gaande productie van cokesgas, productie van plastics en de daarmee gepaard gaande productie van chemisch restgas, aardgasverbruik voor kunstmestproductie) niet of nauwelijks aan bod komen. Voor die energieverbruiken zijn dus in de context van deze studie geen CO<sub>2</sub>-arme alternatieven voorhanden. Daarnaast zijn er nog enkele categorieën energieverbruik in de transportsector buiten beschouwing gebleven: binnenlandse scheep- en luchtvaart en mobiele werktuigen.

Al deze categorieën energiegebruik gezamenlijk vertegenwoordigen een substantiële bijdrage aan de Nederlandse CO<sub>2</sub>-emissies. Van de zojuist genoemde 214 Mton in 2050 is ruim 40 Mton toe te wijzen aan deze categorieën. Dit betekent dat bij zeer vergaande CO<sub>2</sub>-reductie (50-80%) deze categorieën niet buiten beschouwing gelaten kunnen worden. In dit rapport wordt dat wel gedaan. Daarom wordt, om een reëel beeld te geven van de bereikte CO<sub>2</sub>-reductie, in het restant van dit hoofdstuk alleen gekeken naar de CO<sub>2</sub>-emissies waarvoor alternatieven uit hoofdstuk 2 beschikbaar zijn. Er wordt getracht om via de blauwdrukken een reductie te bereiken van 50% t.o.v. het niveau van 1990<sup>3</sup>. In onderstaande tabel is aangegeven wat dat betekent.

CO <sub>2</sub> -emissie 1990 excl. de uitgesloten categorieën	128 Mton
Doel voor 2050, op basis van 50% reductie t.o.v. 1990	64 Mton

De gekozen aanpak, met een sterke nadruk op de ‘aanbodzijde’ van de energievoorziening, creëert mogelijk een onevenwichtigheid. Men kan stellen dat indien een zo vergaande CO<sub>2</sub>-reductie is vereist, er heel veel aan energiebesparing zal worden gedaan, zodat er minder hoeft te gebeuren aan de aanbodzijde. Hier wordt op teruggekomen in Paragraaf 3.5.3.

### 3.4.2 Beschrijving van de blauwdrukken

Voor elke blauwdruk zijn twee varianten gemaakt. In één variant ligt de nadruk op grootschalige, centrale energieconversie, in de andere variant juist op kleinschalige decentrale technologie. Overigens zal duidelijk worden dat de centrale en decentrale variant van elke blauwdruk toch grote overeenkomsten vertonen. Het decentrale element heeft vooral te maken met een grotere toepassing van decentrale warmte/kracht, PV, biomassavergisting en (soms) waterstofproductie. Daarnaast kennen de decentrale varianten toch ook veel centrale elementen (zie ook Paragraaf 3.5.3). Hieronder worden de 3 blauwdrukken kort gekenschetst.

#### *Elektriciteit*

Zowel de decentrale als de centrale variant kenmerken zich door een grote toename van elektriciteitstoepassingen. Alle elektriciteit dekken met warmtekrachtkoppeling zou leiden tot een overschot aan warmteproductie. Het aloude ‘geen kracht zonder warmte’ wat juist met deze blauwdruk geassocieerd wordt, gaat dus niet meer op (mede omdat de kracht/warmte verhouding sterk stijgt). In de eindverbruikssectoren blijft gas tot op zekere hoogte gebruikt worden, met name in de industrie. Deze inzet van aardgas bemoeilijkt op een zeker moment nog verdergaande CO<sub>2</sub>-reductie, omdat CO<sub>2</sub>-opslag alleen bij de centrale elektriciteitsproductie is verondersteld. Belangrijke technologieën zijn: warmtedistributie, elektrische warmtepompen, accu-auto’s, brandstofcelauto’s. Voor zover de voertuigen niet op elektriciteit of waterstof rijden, gebruiken ze HTU-diesel en Fischer-Tropsch benzine uit biomassa. De benodigde waterstof wordt geproduceerd door middel van elektrolyse.

De verschillen tussen de centrale en de decentrale variant zijn met name:

- Veel wind in ‘centraal’, veel ‘zon’ in decentraal.
- Veel grootschalige warmtedistributie in ‘centraal’, veel warmtekrachtkoppeling bij eindverbruikers in ‘decentraal’.
- Daarmee samenhangend: grotere nadruk op accu-auto’s (thuis opgeladen) in de decentrale variant.
- Waterstofproductie deels decentraal in de decentrale variant.

<sup>3</sup> Voor de totale CO<sub>2</sub>-emissies (inclusief de hier uitgesloten categorieën) komt dit neer op een reductie van ongeveer 40%.

### *Waterstof*

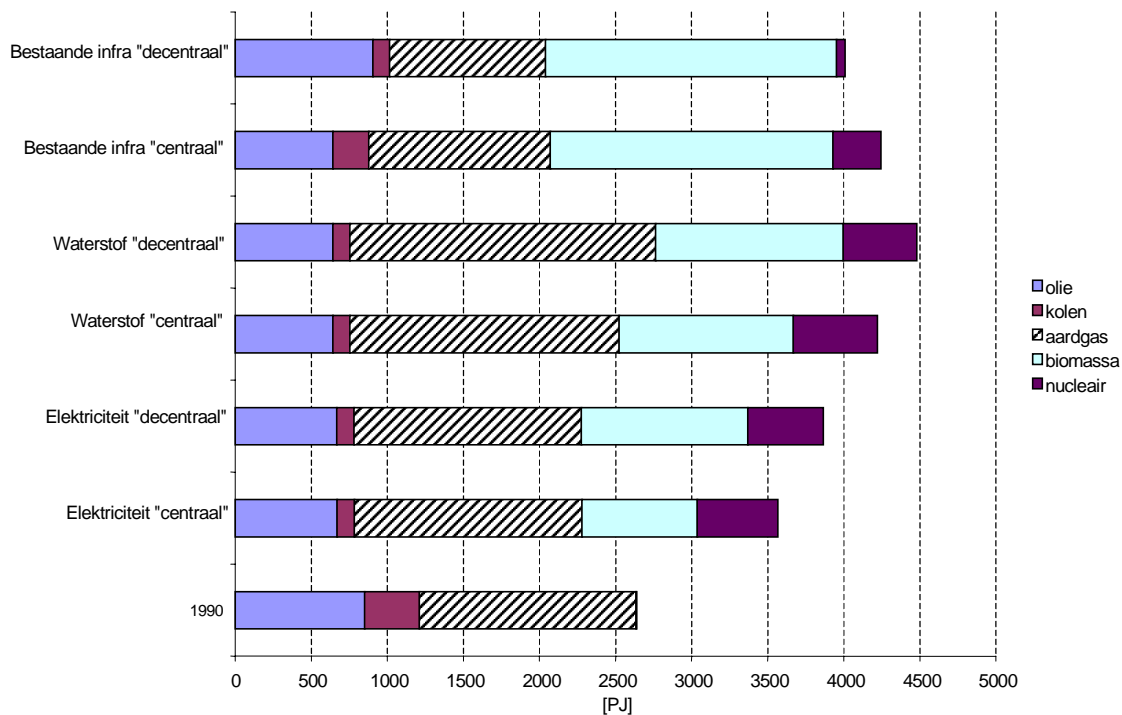
Beide varianten worden gekenmerkt door een totale ('alles of niets') overgang op waterstof in de eindverbruikssectoren. Bij de eindverbruikers treden daardoor geen emissies meer op. Het probleem gaat nu zitten in de productie van zeer grote hoeveelheden waterstof. Dat alleen doen met duurzame energie zou een gigantische omvang voor bronnen met zich meebrengen. Daarom is ook kernenergie ingezet voor elektrolyse en omzetting van aardgas in waterstof (met CO<sub>2</sub>-verwijdering). Minder dan de helft van de geproduceerde waterstof wordt uit biomassa gemaakt. Omdat het eindverbruik zo schoon is, hoeft niet alles uit de kast gehaald te worden aan de aanbodkant: er staan gascentrales zonder CO<sub>2</sub>-verwijdering. De verschillen tussen de centrale en decentrale variant zijn beperkt, omdat de waterstofproductie toch grotendeels centraal zal plaatsvinden. Brandstofcellen vormen in beide varianten een dominante technologie, zowel in voertuigen als in warmte/kracht installaties. Warmtepompen spelen een ondergeschikte rol.

### *'Bestaande Infrastructuur'*

Beide varianten worden gekenmerkt door een vergaande, maar niet volledige overstap van aardgas naar SNG en oliebrandstoffen naar bio-benzine en -diesel. Het grote probleem in deze variant is dat de finale energiedragers nog steeds veel koolstof bevatten. Dit heeft als consequentie dat bij vergaande CO<sub>2</sub>-reductie eigenlijk alleen biomassa in aanmerking komt voor de productie van SNG en transportbrandstoffen. Dit leidt tot een erg grote inzet van biomassa. Om dat nog enigszins te beperken, worden die conversieroutes gekozen die de meeste output per eenheid biomassa geven. Dus geen warmtekrachtkoppeling-varianten (groene synthese) bij de brandstofproductie en heel veel (tot 75% van de SNG-productie) hydrovergassing met elders geproduceerde waterstof. Bovendien wordt in de elektriciteitssector in het geheel geen biomassa meer ingezet. In de decentrale variant zit weer veel warmte/kracht (o.a. stirling). In beide varianten worden warmtepompen op grote schaal ingezet, in de decentrale variant het meest. Brandstofcellen spelen een zeer bescheiden rol. In de decentrale variant is de productie van waterstof (voor de hydrovergassing) en SNG gedeeltelijk decentraal (door middel van resp. biophotolyse en biomassavergisting). Overigens is de term 'Bestaande Infrastructuur' mogelijk wat misleidend. Ook in deze blauwdruk zal veel moeten veranderen: het geproduceerde SNG moet waarschijnlijk opgeslagen worden in lege aardgasvelden, evenals CO<sub>2</sub>, daarnaast moet de zeer grote hoeveelheid PV- en wind-elektriciteit ingepast worden.

## 3.5 De resultaten per blauwdruk

In onderstaande figuren zijn de consequenties weergegeven van de invulling van de blauwdrukken ten opzichte van 1990. Daarbij moet bedacht worden dat de resultaten niet het gevolg zijn van één of andere optimalisatie. Er is 'met de hand' een invulling van de energievoorziening gemaakt. Kosten blijven daarbij buiten beschouwing. De enige richtlijn bij het invullen de energievoorziening is dat de technologieën zoveel mogelijk aansluiten bij de filosofie. De precieze omvang van de toepassing van individuele technologieën is daarbij tot op zekere hoogte arbitrair. Het gaat nadrukkelijk om de grote lijnen. In Figuur 3.1 is de inzet van primaire energiedragers weergegeven.



Figuur 3.1 *Primair energiegebruik in [PJ]*

Elektriciteitsopwekking uit afval en import van elektriciteit zijn weggelaten omdat de omvang daarvan in alle varianten gelijk is gehouden. De olie in de figuur wordt ingezet voor die categorieën energiegebruik die buiten beschouwing zijn gelaten (non-energetische toepassingen, mobiele bronnen, binnenvaart etc). Verder zijn zon, wind en omgevingswarmte niet als primaire energiedragers opgenomen.

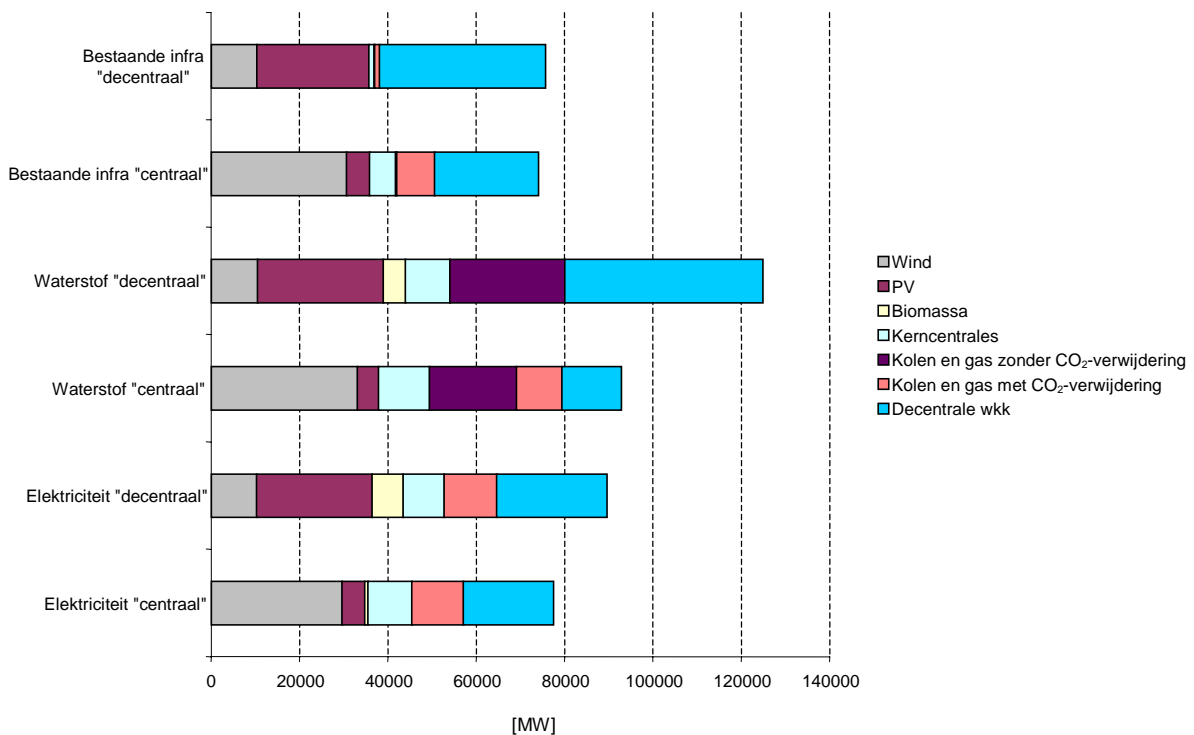
Uit Figuur 3.1 blijkt dat de inzet van fossiele energiedragers in 2050 qua orde van grootte van dezelfde omvang is als in 1990. Dat dit toch gepaard gaat met vergaande CO<sub>2</sub>-reductie, is het gevolg van toepassing van CO<sub>2</sub>-verwijdering en -opslag (zie ook Figuur 3.4).

In Figuur 3.2 is weergegeven op welke wijze de benodigde elektriciteit geproduceerd wordt. Daarbij is, om de vergelijkbaarheid tussen blauwdrukken te vergemakkelijken, een zekere standaardisatie gehanteerd bij de inzet van technieken die in alle drie blauwdrukken voorkomen. Zo is in de centrale varianten uitgegaan van ongeveer 30.000 MW wind en 5.000 MW PV, en in de decentrale varianten van 10.000 MW wind en 25.000 MW PV. Ter oriëntatie: volgens een recente studie is er op het Nederlandse continentale plat theoretisch plaats voor meer dan 200 GW offshore wind (Novem, 1999). Het bouwtempo is hier wellicht een belangrijker restrictie dan het theoretische potentieel. In studies tot 2020-2030 wordt veelal uitgegaan van enkele duizenden tot ruim 10.000 MW. Wat betreft PV: als de helft van alle rijtjes en vrijstaande woningen 5 kW PV op het dak krijgt, bedraagt het totaal ongeveer 15 GW-piek. Daarnaast kunnen ook op flats en kantoren meerdere GW's geïnstalleerd worden en zijn er mogelijkheden in de land- en tuinbouw.

In alle varianten wordt ongeveer evenveel kernenergie ingezet, met uitzondering van de blauwdruk 'Bestaande Infrastructuur', waar de elektriciteitsvraag relatief laag is. De reden om kernenergie in te zetten is om te illustreren dat ondanks de inzet van een toch vrij grote hoeveelheid kerncentrales (orde van grootte 10.000 MW) het beslag op duurzame bronnen en CO<sub>2</sub>-opslag erg groot wordt (zie ook de bespreking van de resultaten aan het eind van deze paragraaf).

Tenslotte dient ten aanzien van Figuur 3.2 opgemerkt te worden dat geproduceerde hoeveelheden elektriciteit met simpele vuistregels ten aanzien van bedrijfstijden zijn omgerekend naar

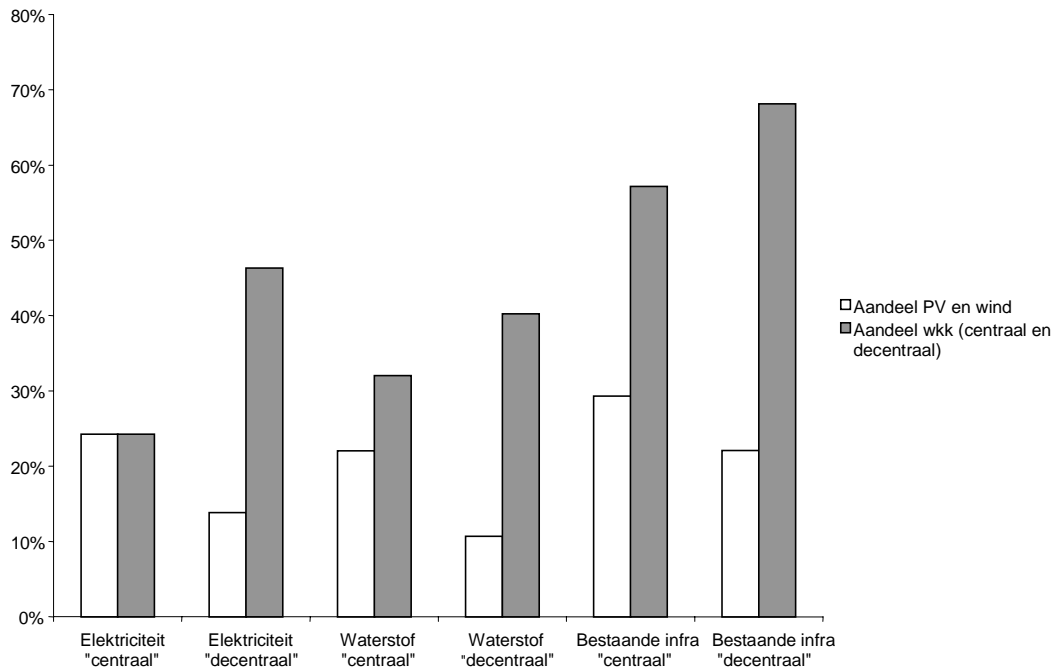
MW's (vooral bij wamtekrachtkoppeling zijn daar grove aannames nodig: één bedrijfstijd per sector).



Figuur 3.2 *Elektriciteitsopwekking in [MW's]*

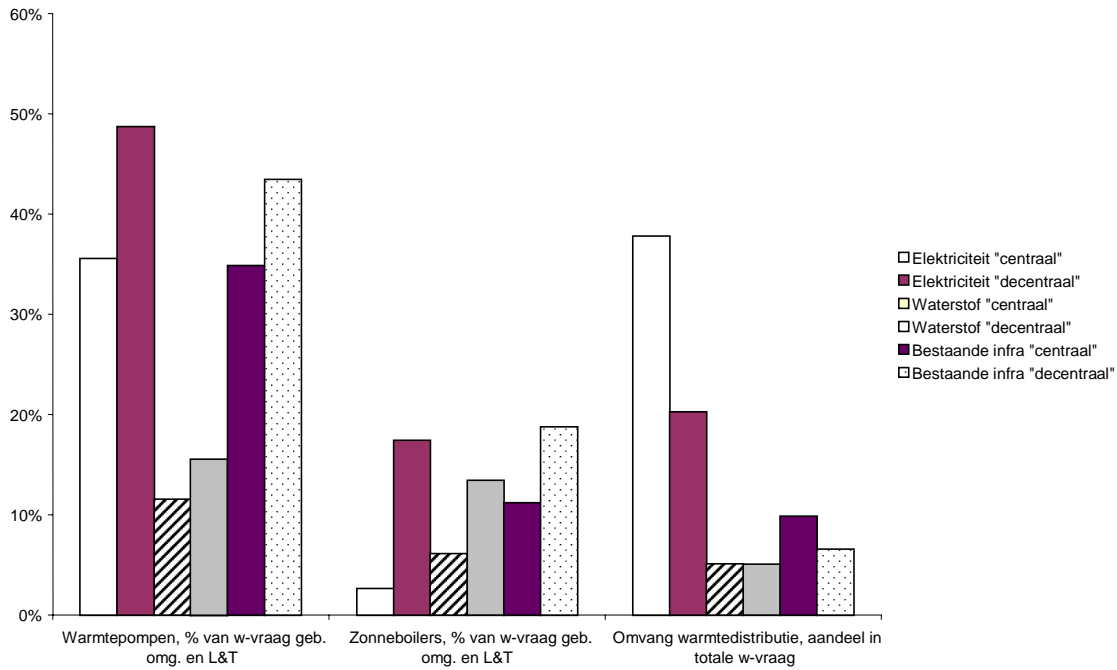
Van belang bij de invulling van de elektriciteitssector is het aandeel van vermogens die niet of slecht regelbaar zijn: PV, wind en in mindere mate warmte/kracht. Bij de invulling van de blauwdrukken is geen restrictie gesteld aan de inpasbaarheid van deze vermogens. De resulterende aandelen in de totale elektriciteitsproductie zijn weergegeven in Figuur 3.3.





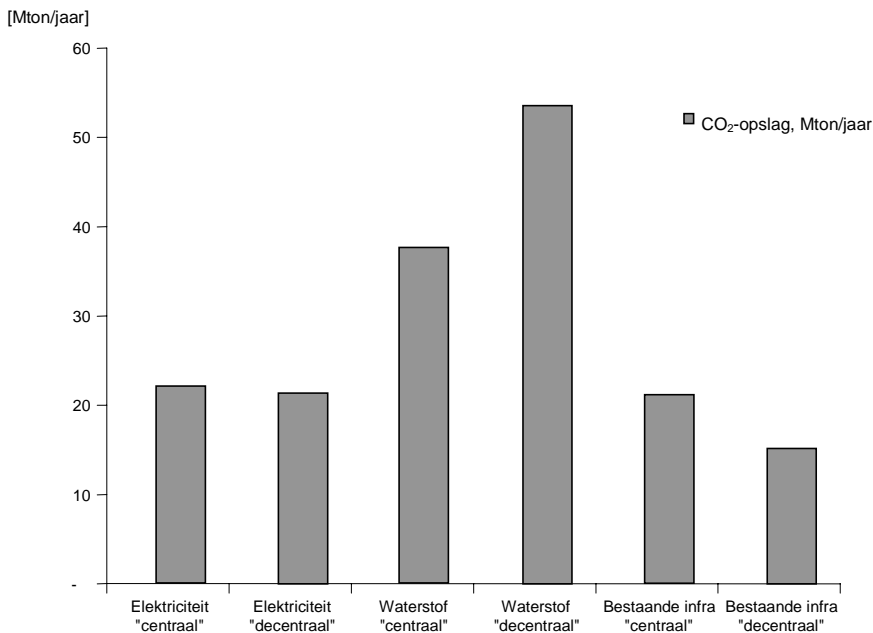
Figuur 3.3 Aandelen van PV & wind en WKK (centraal en decentraal) in de totale elektriciteitsproductie

In Figuur 3.4 is de rol van zonneboilers, warmtepompen en warmtedistributie (d.w.z. de warmte wordt niet op de locatie zelf opgewekt) weergegeven. Voor warmtepompen en zonneboilers wordt aangegeven welk percentage van de warmtevraag in de gebouwde omgeving plus land- en tuinbouw (L&T) wordt gedekt. Voor warmtedistributie is het aandeel in de totale warmtevraag (dus inclusief industrie) weergegeven. Uit de figuur blijkt dat warmtepompen en zonneboilers gezamenlijk, afhankelijk van de blauwdruk, 20 tot 60% van de warmtevraag in de gebouwde omgeving dekken. Samen met warmtedistributie wordt in sommige gevallen zelfs 90% van de warmtevraag gedekt. De resterende 10% komt voor rekening van ketels of micro-wkk installaties op aardgas, SNG of waterstof. In enkele varianten loopt de warmte- en warmwater productie van zonneboilers op tot ver boven de 100 PJ.



Figuur 3.4 *Warmteproductie het aandeel van warmtepompen en zonneboilers in de warmtevraag van de gebouwde omgeving en de land- en tuinbouw, en het aandeel van warmtedistributie in de totale warmtevraag*

In Figuur 3.5 is weergegeven hoeveel CO<sub>2</sub> er per jaar in de bodem wordt opgeslagen. CO<sub>2</sub>-opslag vindt niet alleen plaats bij elektriciteitsproductie maar ook bij de productie van waterstof uit aardgas.



Figuur 3.5 *CO<sub>2</sub>-opslag*

Uit bovenstaande figuren is een aantal conclusies te trekken:

1. Het is in principe in alle drie blauwdrukken mogelijk om tot 50% CO<sub>2</sub>-reductie te komen,
2. Dat gaat wel gepaard met een grote inzet van *alle* belangrijke duurzame energiebronnen (zon, wind, biomassa en omgevingswarmte), ook al wordt daarnaast *ook* op grote schaal gebruik gemaakt van CO<sub>2</sub>-opslag en/of kernenergie.
3. Dit pleit voor een voortdurende aandacht voor verdergaande energiebesparing. Als bijvoorbeeld in Bestaande Infrastructuur, centrale variant, het energiebesparingstempo met een half procentpunt per jaar verhoogd wordt, stijgt de CO<sub>2</sub>-reductie naar 60%, of kan bijvoorbeeld de biomassa-inzet dalen met 500 PJ. Dit illustreert duidelijk het belang van besparingen.
4. De afhankelijkheid van geteelde of geïmporteerde biomassa is in alle varianten erg groot. In de Bestaande Infrastructuur varianten is dat het gevolg van het feit dat biomassa de enig mogelijke bron is voor CO<sub>2</sub>-arme SNG en benzine/diesel. In de beide andere blauwdrukken is het de enorm grote elektriciteitsvraag (al of niet voor waterstofproductie) die een grote inzet van primaire energiedragers vraagt. In deze blauwdrukken zou de inzet van biomassa wel sterk terug te dringen zijn door andere CO<sub>2</sub>-arme energiedragers in te zetten (zon, wind, nucleair, fossiel met CO<sub>2</sub>-afvang). Het benodigde areaal voor de productie van de benodigde biomassa loopt in de blauwdrukken grofweg uiteen van één tot 2,5 maal het totale Nederlandse oppervlak.
5. Verondersteld is dat de overgang naar waterstof 100% moet zijn, omdat mengsels met veel waterstof niet zonder meer toegepast kunnen worden. Dit beperkt wel in ernstige mate de flexibiliteit van deze blauwdruk. In de andere blauwdrukken (en natuurlijk vooral in Bestaande Infrastructuur) kan de overgang naar de nieuwe finale energiedragers veel geleidelijker plaatsvinden.
6. De doorzet van olie in de raffinaderijen neemt drastisch af. In Bestaande Infrastructuur kunnen de raffinaderijen blijven bestaan en alleen hun input wijzigen. In de beide andere varianten komen de raffinaderijen voor wat betreft transportbrandstoffen (75% van de output van de Nederlandse raffinaderijen) buitenspel te staan. Dit zou kunnen betekenen dat de raffinage-sector belang heeft bij de Bestaande Infrastructuur blauwdruk. Hierbij is overigens wel impliciet aangenomen dat ook het buitenland, waar veel van de output van de Nederlandse raffinaderijen naar toe gaat, vergaand CO<sub>2</sub>-emissies reduceert.
7. De productie van nieuwe secundaire energiedragers brengt met zich mee dat er soms veel conversieslagen gemaakt moeten worden. In de blauwdruk Bestaande Infrastructuur wordt SNG gemaakt uit biomassa via hydrovergassing, waarbij de waterstof gemaakt wordt uit aardgas gecombineerd met CO<sub>2</sub>-opslag. In de Waterstof variant wordt waterstof uit elektriciteit gemaakt, en wordt de waterstof weer omgezet in elektriciteit in brandstofcellen. In de blauwdruk Elektriciteit is het minst sprake van toenemende complexiteit van de conversie. Dit komt tot uiting in een relatief laag primair verbruik.
8. De productie van gasvormige en vloeibare energiedragers is veel afhankelijker van biomassa dan de productie van elektriciteit. In een aantal varianten wordt in het geheel geen biomassa ingezet voor elektriciteitsproductie om de totale inzet van biomassa nog enigszins te beperken.
9. In alle drie blauwdrukken is het mogelijk om een invulling van de energievoorziening te geven waarin de nadruk sterk ligt op grootschalige, centrale conversietechnologie. De productie van de finale energiedragers (elektriciteit, waterstof of SNG, biobrandstoffen) vindt centraal plaats, waarna distributie plaatsvindt. Een invulling met een (bijna) uitsluitend decentraal karakter is veel moeilijker te geven. In alle drie blauwdrukken bevat de decentrale variant ook een vrij groot aandeel grootschalige conversie: SNG-productie, grootschalige windparken, conversie van geïmporteerde biomassa, waterstofproductie. Een meer decentrale invulling van de energievoorziening dan in de hier gepresenteerde blauwdrukken is wel mogelijk (bijvoorbeeld met nog veel meer PV, zon-thermisch met opslag, veel warmtekrachtkoppeling op aardgas of lokaal geproduceerde waterstof), maar de afhankelijkheid van enkele primaire dragers wordt daarmee zeer groot. Eerder is al betoogd (zie Punt 2) dat zoveel mogelijk van alle mogelijke bronnen gebruik gemaakt zou moeten worden. In de Bestaande Infrastructuur blauwdruk lijkt een decentrale energievoorziening het moeilijkst te

realiseren, aangezien lokale productie van SNG en transportbrandstoffen uit biomassa niet voor de hand ligt.

10. In deze studie is de behoefte aan opslag van energiedragers niet aan de orde gekomen. Wel kan worden uitgerekend hoe groot het gezamenlijke aandeel van PV, wind en WKK wordt in de binnenlandse elektriciteitsproductie. In een aantal varianten is dat aandeel zeer hoog (tot 90%). Bovendien is de absolute omvang van de productie uit PV en wind ook zeer groot. Dit doet vermoeden dat er zich een opslagprobleem zal voordoen. Ook in de warmtevoorziening ontstaat de noodzaak tot seizoensopslag, aangezien de warmtevraag voor een aanzienlijk deel gedekt wordt door zonneboilers (zie Figuur 3.4).

### 3.6 Timing van de transitie naar een koolstofarme energievoorziening

De Kyoto-doelstelling voor 2010 wordt voor een belangrijk deel gehaald door reductie van niet-CO<sub>2</sub>-broeikasgasemissies en reductie van CO<sub>2</sub>-emissies in het buitenland. Een niet ondenkbare ontwikkeling is dat van de 50 Mton benodigde reductie in 2010 slechts 8 Mton (50 minus 25 Mton in het buitenland minus 17 Mton reductie van niet-CO<sub>2</sub>-broeikasgassen) binnenlandse CO<sub>2</sub>-reductie is. De binnenlandse CO<sub>2</sub>-emissies volgens het GC-scenario zouden daarmee op 203 Mton komen, d.w.z. 9% hoger dan de 186 Mton in 1998 (Milieubalans 1999). Laten we nu aannemen dat voor het halen van doelstellingen voor 2020 meer nadruk zal moeten liggen op reductie van de binnenlandse CO<sub>2</sub>-emissies. Als voorbeeld gaan we hier uit van een benodigde reductie van 1,5 %/jaar. De CO<sub>2</sub>-emissie in 2020 mag dan nog ongeveer 175 Mton zijn. Dat is 'slechts' 6% lager dan de huidige emissies. Is zo'n daling haalbaar zonder de energievoorziening fundamenteel aan te passen? Het antwoord lijkt ja. Gegeven een energievraag die het gemiddelde is van de NEV-scenario's in 2020 (en dus ook met een energiebesparingstempo wat daar bij hoort), is de 'doelstelling' van minus 6% t.o.v. het huidige niveau haalbaar door het 'conservatieve' aanbod zoals beschreven in Paragraaf 3.3 voor 2050, 'naar voren te halen' naar 2020. Met andere woorden: met (veel) meer duurzaam, warmte/kracht en efficiëntere ketels en centrales is die doelstelling te halen. De economische groei in dit sommetje is wel wat lager dan in het GC-scenario. Maar desondanks kan gesteld worden dat met extra inspanningen op het gebied van energiebesparing, duurzame energie en efficiënt aanbod, 6% CO<sub>2</sub>-reductie in 2020 zeer waarschijnlijk haalbaar is. Dat vergt weliswaar zeer grote inspanningen en kosten, maar er hoeft niets noemenswaardigs veranderd te worden in de energie-infrastructuur. De finale energiedragers (benzine, diesel, aardgas, elektriciteit) hebben niets van hun 'machtspositie' verloren.

De conclusie van dit gedachten experiment is: als we er voor kiezen 'bijziend' te zijn, dan is de energievoorziening in 2020 qua structuur ongewijzigd, en is de tijd die we hebben om die structuur wel drastisch te wijzigen verkort van 50 naar 30 jaar. Dit doet de 'kansen' van de waterstof-blauwdruk aanzienlijk dalen, en in mindere mate ook de kansen van de 'all electric'-blauwdruk. Wellicht is er sprake van een lock-out effect: als we nu niet werken aan het openhouden van bepaalde opties, worden die opties vanzelf kansloos. Een misschien nog wel groter 'gevaar' van dit perspectief is dat onderzoek waarbij het gaat om toepassing van nieuwe energiedragers (bijv. ethanol-auto's, 'groen' aardgas, waterstof, etc) geen vaste grond onder de voeten krijgt in de vorm van toepassingen. Dit pleit ervoor om de komende twintig jaar toch te zoeken naar concrete toepassingen van nieuwe energiedragers. Het minste wat we kunnen doen in de komende twintig jaar is om alvast te experimenteren met nieuwe finale energiedragers.

## 4. BEDRIJFSECONOMISCHE ASPECTEN

### 4.1 Inleiding

In dit en het volgende hoofdstuk zal worden ingegaan op de verwachtingen die een aantal spelers in de markt hebben ten aanzien van de ontwikkelingen naar de energievoorziening van de toekomst. In het bijzonder komt daarbij aan bod op welke finale energiedrager(s) in de toekomst het accent zal komen te liggen. Doel van deze hoofdstukken is om vanuit het perspectief van de markt zicht te krijgen op lange termijnopties voor kansrijke concepten (technologieën) voor een toekomstige milieuvriendelijke (CO<sub>2</sub>-emissie-arme) energievoorziening in een geliberaliseerde energiemarkt. Als onderzoeksaanpak is gekozen voor interviews in het veld (Hoofdstuk 5) waarbij de uitkomsten zijn gerelateerd aan een theoretisch kader (dit hoofdstuk). In Paragraaf 4.2 zullen de liberalisering van de markt en de ontwikkelingen aan de aanbodzijde als gevolg van de liberalisering worden beschreven. Deze vormen de achtergrond van het onderzoek. Vervolgens zal er in Paragraaf 4.3 op basis van literatuuronderzoek een theoretisch kader worden geschetst. Hierbij zal gebruik worden gemaakt van het concurrentiekrachtenmodel dat door Porter (1985) is ontwikkeld en het 'entrepreneurial framework' van Prahalad en Hamel (1994). Omdat de rol die technologieontwikkeling speelt voor de verschillende spelers in de energiemarkt verschilt, zal de energiesector worden opgesplitst in drie verschillende deelmarkten: technologieontwikkeling, energieproductie en energiehandel. In hoofdstuk 5 wordt aandacht besteed aan de in de markt heersende verwachtingen. Veertien respondenten waaronder producenten, distributiebedrijven, handelaren, overkoepelende organisaties en nieuwe marktpartijen hebben daartoe hun visie gegeven op de blauwdrukken en verschillende technologieën waarvan een deel zich nog in de innovatiefase bevindt. Verder zijn er vragen gesteld over de verschillen tussen lange en korte bedrijfsstrategieën en de implicaties daarvan voor het milieu. De rol die duurzame energie in de toekomst zal of zou moeten spelen volgens de betrokken marktspelers sluit het empirische gedeelte van het onderzoek af. Hoofdstuk 5 zal vervolgens worden afgesloten met conclusies waarin het theoretische kader en de gegevens uit het empirisch onderzoek zullen worden geïntegreerd.

### 4.2 Recente ontwikkelingen

Hieronder wordt een overzicht gegeven van recente ontwikkelingen in de Nederlandse gas- en elektriciteitsmarkt.

#### *Gas- en elektriciteitsmarkt*

Op basis van de Europese richtlijnen worden in Europa de energiemarkten geliberaliseerd met verschillende snelheden. In Nederland wordt de liberalisering van de gas- en elektriciteitsmarkt gefaseerd doorgevoerd. Waarschijnlijk zal de liberalisering in 2003 zijn afgerond wanneer alle afnemers hun energieleverancier vrij kunnen kiezen. Door deze gefaseerde invoering ontstaan er twee soorten afnemers namelijk vrije en beschermde afnemers waarvan de laatste groep verdwijnt als de liberalisering is afgerond. Aangezien de huidige energiebedrijven het alleenrecht hebben om te leveren aan de beschermde afnemers wordt het tarief bepaald door de minister van Economische Zaken, dit ter voorkoming van afwenteling van kosten op deze gebonden groep. Energiebedrijven zijn nog wel verplicht terugleveringen van elektriciteit door een beschermde afnemer te accepteren. Het gaat hierbij dan voornamelijk om warmtekrachtkoppeling en duurzame energie zoals wind- en zonne-energie. De vergoeding die voor deze teruglevering moet worden betaald wordt tevens door de minister van Economische Zaken vastgesteld.

Op grond van de Wet energiedistributie (uit 1996) dienen elektriciteitsleveranciers het leveren van elektriciteit aan beschermde afnemers te scheiden van energiediensten (zoals de exploitatie van warmtekrachtkoppeling installaties). Deze wet verliest zijn relevantie zodra de beschermde afnemers vrij worden. Een andere voorwaarde is dat de activiteiten van de energielevering gescheiden moeten worden van die van het netbeheer. De eigenaren van het landelijk transportnet (electriciteitsproducenten) en de distributienetten (energiedistributiebedrijven) dienen het netbeheer in een aparte vennootschap onder te brengen. Voor het landelijk hoogspanningsnet is een landelijk netbeheerder (TenneT) aangesteld. De netbeheerders zijn verantwoordelijk voor een betrouwbare en doelmatige wijze van transport van elektriciteit en zijn in principe verplicht iedere afnemer een aansluiting op hun net te garanderen. De netwerktarieven worden, na overleg met de netbeheerders, vastgesteld door de Dienst uitvoering en toezicht Elektriciteitswet (DTe), een instantie die speciaal hiervoor door EZ in het leven geroepen is.

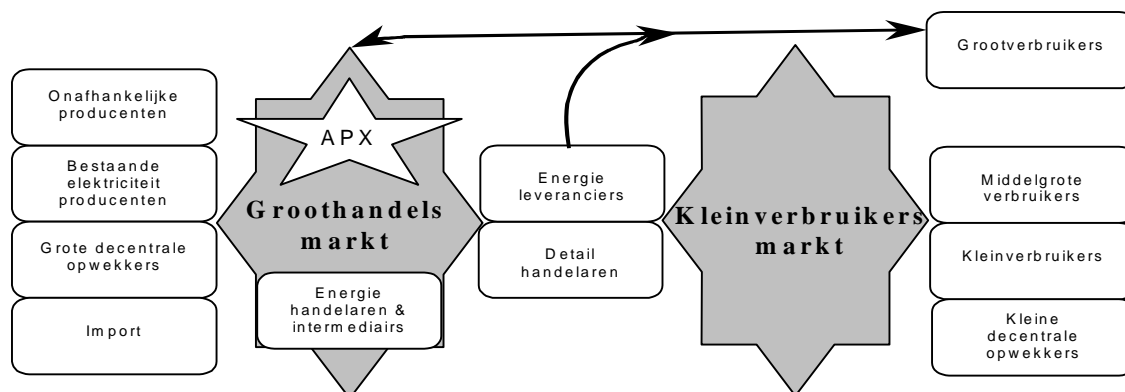
Ten aanzien van het netbeheer ontstaat een verschil tussen het elektriciteits- en het gasnet. Het monopolie voor het gasnet verdwijnt en er geldt geen aansluitplicht, zoals bij elektriciteit. Om van de keuzevrijheid bij de levering van gas gebruik te kunnen maken zal met de netbeheerder onderhandeld moeten worden over de tarieven. Op het gebied van de energielevering ontstaat dus concurrentie tussen verschillende aanbieders, al zal dit, gelet op de wijze waarop de liberalisering van de energiemarkt wordt doorgevoerd, voor elektriciteit meer gaan gelden dan voor gas.

### *Handel in energie*

De rol die de diverse spelers gaan spelen is nog niet geheel duidelijk, maar er wordt vanuit gegaan dat de huidige elektriciteitsmarkt drastisch verandert nadat deze is geliberaliseerd. Zowel op de elektriciteits- als op de gasmarkt zullen op twee marktvormen ontstaan: de groothandelsmarkt en de kleinverbruikersmarkt.

De spelers op de groothandelsmarkt zullen naast de huidige energieproducenten, onafhankelijke producenten, distributeurs of handelaars, en grootverbruikers (met of zonder eigen opwekking) bestaan uit buitenlandse toetreders. Aan de groothandelsmarkt is de spotmarkt gekoppeld waarop op korte termijn gehandeld kan worden in energie. Voor de handel in elektriciteit bestaat een dergelijke markt in de vorm van een day-ahead-markt (de APX). Naast deze transparante markten kunnen contracten op de groothandelsmarkt ook bilateraal tot stand komen. Op de kleinverbruikermarkt bevinden zich de klein- en middelverbruikers, de distributeurs of handelaars en decentrale opwekkers. Deze markt zal zowel voor de gas- als voor de elektriciteitsmarkt pas ontstaan in de laatste fase van de liberalisering.

De elektriciteitsmarkt krijgt hierdoor een complexe structuur (zie Figuur 4.1). Immers, naast energiedistributiebedrijven kunnen ook derden energie gaan leveren aan de kleinverbruikers en op deze wijze de programmaverantwoordelijkheid op zich te nemen. Tot die tijd vindt deze handel plaats via de vergunninghouders (in de praktijk zijn dat de huidige energiedistributeurs) en zijn deze verbruikers of decentrale opwekkers dus gebonden.



Figuur 4.1 *Model van de elektriciteitsmarkt*

Gemeten naar het aantal afnemers ontstaat concurrentie bij de energielevering pas op enige schaal wanneer vermoedelijk in 2002 de middengroep afnemers vrij wordt. Dan zal ook blijken in hoeverre afnemers gevoelig zijn voor een klantenbindingstrategie die veel energiebedrijven zeggen te willen gaan voeren. Indien het wetsvoorstel wordt aangenomen zal in 2003 de grootste groep afnemers vrij worden in het kiezen van hun energieleverancier. De energiebedrijven hebben op dat moment al enige ervaring opgedaan met concurrentie. Vanwege het grote aantal afnemers zullen energiebedrijven de marketing op de kleinverbruikersmarkt echter anders moeten aanpakken dan bij de middengroep afnemers. Het succes van energiebedrijven op de kleinverbruikersmarkt hangt af van de mate van efficiency van hun bedrijfsprocessen.

Naast een eventuele concurrentie van andere sectoren krijgen de energiebedrijven ook (meer) concurrentie van buitenlandse bedrijven aangezien de vrije handel in elektriciteit niet beperkt blijft tot Nederland. De handel binnen de Europese Unie is echter wel gebonden aan bepaalde regels. De belangrijkste regel betreft het reciprociteitsbeginsel, hetgeen wil zeggen dat een afnemer alleen elektriciteit mag invoeren van een land wanneer het dezelfde vrijheid zou hebben als het in dat land elektriciteit wil invoeren.

### 4.3 Theoretisch kader

Zowel het tempo van de technologische verandering als de snelheid waarmee de nieuwe technologieën wereldwijd verspreid worden zijn enorm toegenomen. Door de liberalisering van de energiemarkt moeten de energiebedrijven dankzij het toegenomen tempo van de veranderingen steeds sneller relevante technologieën absorberen. Daarnaast zal het voordeel van het gebruik van een nieuwe technologie steeds sneller teniet worden gedaan door een steeds snellere toepassing van nieuwe technologieën. Omdat er een vraag naar nieuwe doorbraken ontstaat die een bepaald probleem nog beter oplossen wordt de productlevenscyclus steeds korter. Dat betekent dat onderzoeks- en ontwikkelingskosten ook steeds sneller moeten worden afgeschreven (Matthysens, 1998). Voor de spelers op de energiemarkt zal dit verschillende consequenties hebben. Omdat de liberalisering op de elektriciteitsmarkt vooruitloopt en verder gaat dan op de gasmarkt zal het theoretisch kader worden toegespitst op de elektriciteitsmarkt. Doordat beide markten in toenemende mate in elkaar opgaan zal er echter geen sprake zijn van een strikte scheiding en zullen de conclusies voor een belangrijk deel generaliseerbaar zijn naar de gasmarkt. Om de elektriciteitsmarkt in kaart te brengen zijn er drie deelmarkten onderscheiden: elektriciteitsproducenten, elektriciteitshandelaren en de producenten van elektriciteitstechnologieën. Deze drie deelmarkten hebben verschillende karakteristieke eigenschappen. Vandaar dat er voor deze markten ook verschillende strategieën van toepassing zijn. Bij de elektriciteitsproducenten is grootschaligheid belangrijk om een concurrerende elektriciteitsprijs te kunnen aanbieden. Er is

sprake van een statische verdringingsmarkt. Bij de producenten van elektriciteitstechnologie is er eveneens sprake van een sterk geconcentreerde markt. Dat is noodzakelijk om de hoge investeringen die onderzoeks- en ontwikkelingskosten met zich meebrengen te kunnen dragen. Dit marktsegment wordt gekenmerkt door grootschalige dynamische bedrijven die hun producten kunnen differentiëren waarbij de meeste innovatie productgericht is. Tenslotte de energiehandelaren die in toenemende mate bezig zijn zich te concentreren met het oog op efficiencyvoordelen. Voor hen zal het belangrijk zijn zich op de kleinverbruikersmarkt te positioneren of nieuwe markten te creëren die zich zullen bevinden op de kruispunten van fysieke energielevering met marketing, handel en financiële expertise. Hieronder zullen de drie deelmarkten kort worden beschreven.

### *Producenten*

De grootschalige producenten kopen voor hun elektriciteitsopwekking centrales in op basis van een kosten-baten analyse waarbij zij zich vooral oriënteren op de concurrentie. Welke wegingsfactoren een rol spelen bij dergelijke investeringsbeslissingen zal in de volgende paragraaf aan bod komen. Op de huidige productiemarkt is er een overcapaciteit. Bovendien zijn er verschillende toetreders op de energiemarkt die in joint ventures met Nederlandse energiebedrijven extra grootschalige productiecapaciteit aan het bouwen zijn. De toenemende decentrale productie (vooral warmtekrachtkoppeling) en de noodzaak tot CO<sub>2</sub>-emissiereductie waardoor duurzaam geproduceerde energie een extra impuls krijgt zijn andere factoren die de marges van de grootschalige producenten verder onder druk zetten. Op de groothandelsmarkt kijken afnemers vooral naar de prijs. Aangezien elektriciteit een commodity is kunnen producenten het product (voorlopig) nauwelijks differentiëren. Er zijn echter meerdere aanbieders die naar kostenleiderschap in die markt streven waardoor er een verdringingsmarkt ontstaat. Schaalvoordelen spelen hierin een belangrijke rol. Drie van de vier grootschalige producenten zijn inmiddels overgenomen door kapitaalkrachtige buitenlandse spelers die als het ware een aandeel op de markt hebben gekocht. Wanneer dit aandeel onder vuur komt te liggen zullen zij de bereidheid en de middelen hebben om hierop te anticiperen. De kans is dus groot dat een felle concurrentiestrijd uitmondt in een prijzenoorlog waardoor de aantrekkelijkheid van de markt zal verminderen. De bovenbeschreven marktsituatie sluit het best aan bij de theorie van Porter (1980) over het behalen van concurrentievoordeel.

### *Technologieontwikkelaars*

De volgende deelmarkt bestaat uit technologieontwikkelaars als ABB Alstom, General Electric, Siemens Westinghouse en Mitsubishi Heavy Industries. Deze bedrijfstak vertoont een hoge mate van concentratie. Het is mogelijk dat liberalisering zal leiden tot een nog grotere concentratie van R&D-bedrijven binnen Europa. Het zijn grotendeels grootschalige bedrijven die hun bestaansrecht ontleen aan het produceren van innovatieve technologie voor onder andere de energiesector. De hoge mate van concentratie is nodig om de aanzienlijke investeringen die met de technologieontwikkeling zijn gemoeid te kunnen opbrengen. Desondanks is er een redelijke mate van concurrentie binnen deze sector waardoor de technologieontwikkelaars over een duidelijk inzicht in de toekomst moeten beschikken. Hoewel innovatie tevens van kleinschalige bedrijven kan komen, is er een grote kans dat doorbraaktechnologieën uiteindelijk in een groter geheel worden opgenomen. Grootschalige bedrijven hebben het voordeel dat zij over een grotere afzetmarkt kunnen beschikken en dat zij de middelen tot hun beschikking hebben om innovaties snel op de markt te zetten. Daardoor hebben zij ook bij de productie efficiencyvoordelen ten opzichte van kleinere fabrikanten. De synergie die kan ontstaan uit nieuwe kennis in combinatie met bestaande vaardigheden (bijvoorbeeld door strategische allianties of fusies van kleinschalige innovatieve bedrijven met grootschalige technologieproducenten) kan in theorie leiden tot het ontstaan van nieuwe markten. Juist op deze nieuwe markten kunnen bedrijven aanzienlijk hogere winstmarges realiseren. Dit concept wordt uitgewerkt in het 'entrepreneurial framework' van Prahalad en Hamel. Ook in de praktijk gebruiken grootschalige technologieproducenten deze theorie als leidraad waarvan een voorbeeld zal worden uitgewerkt in een casestudie van ABB (Paragraaf 4.3.2)

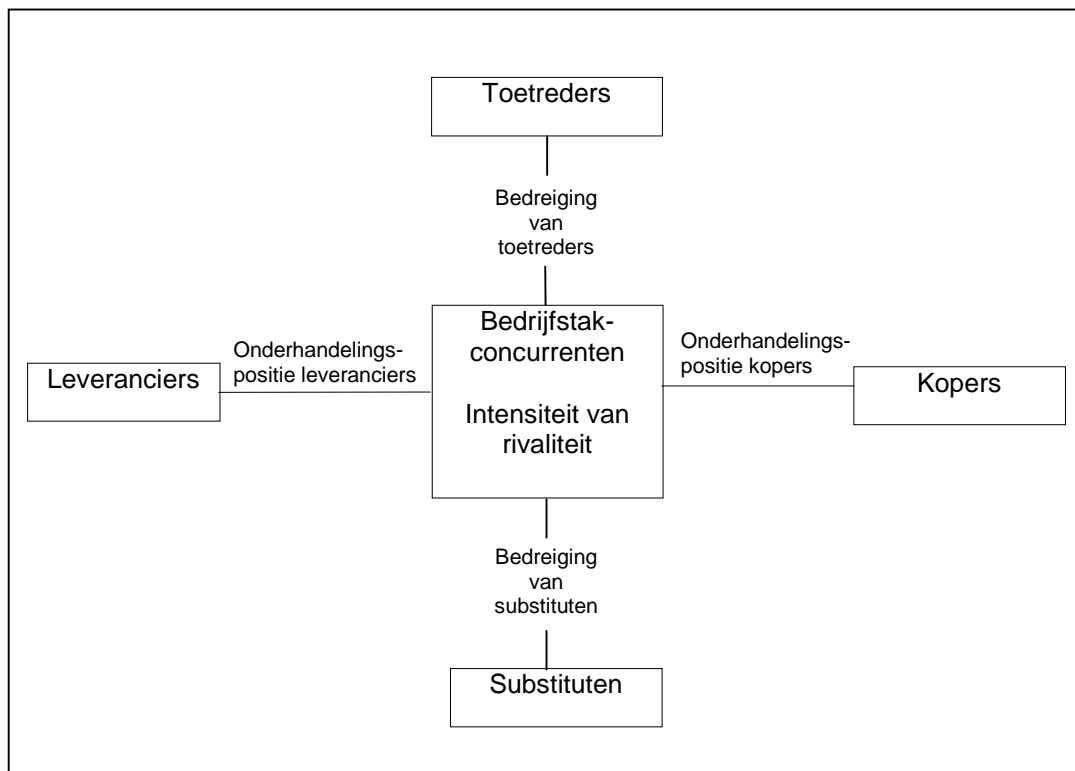


## Handelaren

Tenslotte zal een groot aantal energiebedrijven zijn dat zich toe zal leggen op de handel in energie. In principe kunnen zij hun stroom inkopen bij de producenten en hebben dan weinig raakvlak met technologie. Er is een aantal energiebedrijven dat zelf decentraal produceert. Ook heeft een aantal energiebedrijven en installateurs energiemangement in hun portefeuille waarbij decentrale productie, in eigen beheer van de afnemer, kan worden aangeboden. Tenslotte is er een aantal energiebedrijven dat zich toelegt op duurzame energie om zich te positioneren in de kleinverbruikersmarkt terwijl anderen er ervaring mee opdoen omdat zij niet uitsluiten dat er in de toekomst handel kan ontstaan in groene energie. De handel in energie kan worden onderverdeeld in twee marktsegmenten: de kleinverbruikersmarkt en de grootverbruikersmarkt. De kerncompetenties waarover energiehandelaren moeten beschikken of die zij moeten verkrijgen om concurrentievoordelen te behalen lopen voor beide marktsegmenten behoorlijk uiteen. Een overeenkomst zal echter zijn dat de ontwikkelingen elkaar in een snel tempo opvolgen en er nieuwe markten ontstaan of worden gecreëerd. De inzichten van Prahalad en Hamel zijn meer georiënteerd op groeimarkten en lenen zich waarschijnlijk beter om de volgende generatie energiebedrijven te analyseren. Bijkomend argument is dat in de huidige marktdynamiek bedrijfstakgrenzen steeds vaker vervagen en de nieuwe functionaliteiten vaak ontstaan uit verschillende kerncompetenties.

### 4.3.1 De productiesector

Volgens Porter wordt de bedrijfstakstructuur bepaald door vijf concurrentiekrachten die in het onderstaande figuur zijn opgenomen. Porter definieert een bedrijfstak als een groep van bedrijven die producten leveren die elkaar kunnen vervangen. De Nederlandse elektriciteitsproductiesector kan dus als zelfstandige bedrijfstak worden gedefinieerd.



Figuur 4.2 Het vijf concurrentiekrachten model

Voor de elektriciteitsproductiesector zullen de vijf concurrentiekrachten zeer beknopt op een rij worden gezet:

1. In de bedrijfstak van de elektriciteitsproducenten zijn de *toetredingsbarrières* zoals bijvoorbeeld een situatie van productiecapaciteitoverschot niet echt een probleem aangezien buitenlandse energiebedrijven enorme schaalvoordelen hebben ten opzichte van energiebedrijven op de Nederlandse markt. Daarnaast hebben buitenlandse energiebedrijven vaak op hun eigen markt concurrentievoordelen opgebouwd op gebieden als marketing, handel en risicomanagement. Zij hebben veelal de beschikking over voldoende kapitaal terwijl de Nederlandse energiebedrijven een relatief lage solvabiliteit hebben (Baas, 1999). Dat maakt de kans op tegenmaatregelen van de Nederlandse elektriciteitsproducenten niet alleen in theorie gering maar ook in de praktijk: drie van de vier zijn reeds overgenomen door grootschalige buitenlandse energiebedrijven. Door op deze manier marktaandeel te verwerven krijgen toetreders tevens kennis van de markt en eventuele loyaliteit van de afnemers. Op de grootverbruikersmarkt zijn afnemers echter snel geneigd van aanbieder te veranderen als dat prijsvoordeel oplevert. Tenslotte is het overheidsbeleid juist op een stimulering van de concurrentie gericht. Protectionistische maatregelen zullen slechts plaatsvinden op basis van de reciprociteitsclausule. Dit houdt in dat die landen die hun eigen grenzen niet voldoende open stellen voor Nederlandse energiebedrijven op de Nederlandse markt kunnen worden geweerd.
2. De *intensiteit van de mededinging onder de bestaande concurrenten* hangt onder andere af van de mogelijkheden die bedrijfstakconcurrenten zien om hun positie te verbeteren. Dat er drie in financiële termen gelijkwaardige buitenlandse energiebedrijven marktaandeel hebben verworven verhoogt de kans op een felle concurrentiestrijd. Dit wordt versterkt doordat er op de groothandelsmarkt weinig mogelijkheden zijn om het product te differentiëren. Het marktpotentieel voor grootschalige productie komt bovendien onder druk te staan door een stijging van decentrale elektriciteitsproductie, al dan niet in eigen beheer en de groeiende markt voor duurzame energie. Streven productiebedrijven een vergroting van hun marktaandeel na dan zullen zij dit ten koste van hun concurrenten moeten doen. De vraag is of deze concurrenten dat makkelijk zullen accepteren. Van Reliant is bijvoorbeeld bekend dat zij de Una wil gebruiken als springplank naar de rest van Europa. Dat verhoogt de kans aanzienlijk dat zij met een negatief rendement genoeg zal nemen.
3. De derde concurrentiekracht waarmee rekening moet worden gehouden is de *dreiging van substituten*. Decentrale productie is hiervan een voorbeeld. Decentrale producenten kunnen netkosten vermijden door hun geproduceerde elektriciteit zelf te consumeren. Deze elektriciteit wordt namelijk gewaardeerd ten opzichte van inkoop van elektriciteit van het landelijke net. De variabele netkosten (ct/kWh) hoeven niet betaald te worden over deze elektriciteit. Het transporttarief bestaat echter ook uit een jaarlijks en een maandelijks bedrag dat betaald moet worden over het afgenomen vermogen. Ervan uitgaande dat de centrale minstens één maal per jaar uitvalt zal het jaarlijkse bedrag niet uitgespaard worden. Voor een aantal maanden zal het maandelijks bedrag wel uitgespaard worden. Indien de overheid decentrale (duurzame) opwekking wil stimuleren kunnen de nettarieven worden opgehoogd. Hierdoor worden de uitgespaarde kosten (i.e. de waardering van de geproduceerde elektriciteit) hoger en dat zou weer een extra impuls voor decentrale (duurzame) productie kunnen zijn. In een alternatieve toekomstvisie wordt de grootschalige centrale productie uiteindelijk verlaten omdat een aantal langdurige elektriciteitsuitvalven de kwetsbaarheid van een dergelijk gecompliceerd systeem blootlegt. De kostenpost die een uitval van het centrale net met zich meebrengt, zou in de toekomst de weg kunnen effenen voor een minder kwetsbare decentrale productie (Patterson, 1999).

4. De *leveranciers* voorzien de Nederlandse productiebedrijven van kolen of gas. Nucleaire energie en waterkracht zijn vooral in het buitenland gangbaar (Borssele uitgezonderd). Het kiezen voor een buitenlandse partner betekent in de meeste gevallen ook een diversificatie van de productiemethoden. Het bouwen van kolencentrales waar kolen gewonnen worden of waar ze makkelijk naartoe kunnen worden getransporteerd zou concurrentievoordelen op kunnen leveren. Een voorbeeld is het plan van EZH om samen met Preussen Elektra een kolencentrale op de Maasvlakte te bouwen zodra het overheidsbeleid inzake kolencentrales duidelijk is. Gas kan op bepaalde locaties goedkoop uit Engeland worden betrokken, grootschalige afnemers krijgen echter ook bij de Gasunie scherpe inkooprijzen.
5. Tenslotte is de *onderhandelingsmacht van de kopers* van belang. In theorie zouden deze hun marktmacht kunnen vergroten door te participeren in een inkoopverenigingsverband. Uit marktonderzoeken is gebleken dat vooral eerste tranche afnemers makkelijk van aanbieder veranderen. Elektriciteit is een commodity. Afnemers zijn altijd verzekerd van een alternatieve aanbieder met, wegens het gebrek aan differentiatie, exact hetzelfde productaanbod.

Tot zover de krachten die, aldus Porter, gezamenlijk de mate van concurrentie in een bedrijfstak beïnvloeden. De omvang en intensiteit van deze krachten zal de mate van concurrentie tussen aanbieders in een bedrijfstak bepalen en bedrijven prikkelen strategieën te ontwikkelen om marktaandeel te behouden en zo mogelijk uit te breiden. Volgens Porter hebben bedrijven daarbij de keuze uit drie generieke strategieën.

#### *Algeheel kostenleiderschap*

Algeheel kostenleiderschap betekent dat bedrijven ernaar streven om binnen de bedrijfstak de goedkoopste aanbieder te worden. Goedkope producenten verkopen standaardproducten, en leggen een sterke nadruk op het halen van schaal- of absolute kostenvoordelen. Kostenvoordeel kan o.a. worden gevonden in schaalvoordelen, de beschikking over technologie en een voorkeurspositie voor de toegang tot grondstoffen. Een goedkope producent moet alle bronnen van kostenvoordeel ontdekken en exploiteren. Er kan echter maar één kostenleider zijn. Wanneer er meer dan een bedrijf naar kostenleiderschap streeft kunnen de consequenties voor de winstgevendheid (en de bedrijfstakstructuur op de lange termijn) rampzalig zijn.

#### *Differentiatiestrategie*

Met een differentiatiestrategie kunnen producenten de prijsgevoeligheid van het product verminderen door een 'uniek' product op de markt aan te bieden. Hiermee kunnen producenten de binding van klanten aan hun product bevorderen. Voor deze extra toegevoegde waarde wordt een aanbieder beloond met een toeslag op de prijs. In elke bedrijfstak zijn er verschillende middelen tot differentiatie. Differentiatie kan gebaseerd zijn op het product zelf, het leveringssysteem waardoor het wordt verkocht, de marketingbenadering en een breed scala van andere factoren. Een verschil met kostenleiderschap is dat er in een bedrijfstak meerdere succesvolle differentiatiestrategieën gevolgd kunnen worden.

#### *Focusstrategie (Kosten- of Differentiatiefocus)*

In een focusstrategie kunnen bedrijven door concentratie en focus een bepaalde niche in de markt verwerven. Het verschil van de focusstrategie met voorgaande twee generieke strategieën is dat een focus berust op de keuze voor een smal concurrentiebereik binnen de bedrijfstak. Een bedrijf dat een focusstrategie volgt kiest een segment of een groep segmenten in de bedrijfstak en stemt daar zijn strategie op af met uitsluiting van andere segmenten of groepen segmenten. In dit doelsegment probeert het bedrijf een concurrentievoordeel te behalen door zijn strategie voor de doelsegmenten te optimaliseren. Het bedrijf hoeft hiertoe niet te beschikken over een algeheel concurrentievoordeel. Er zijn twee varianten: een kostenfocus en een differentiatiefocus.

Beide varianten berusten op verschillen tussen het doelsegment van een focuserend bedrijf en de andere segmenten in de bedrijfstak. De kostenfocus exploiteert verschillen in het kostendrag in sommige segmenten, terwijl de differentiatiefocus de speciale behoeften van de kopers in bepaalde segmenten exploiteert. Als het doelsegment van een focuserend bedrijf niet verschilt van andere segmenten, zal de focusstrategie geen succes hebben.

		Concurrentievoordeel	
		<i>Lagere kosten</i>	<i>Differentiatie</i>
Concurrentiebereik	<i>Breed doelgebied</i>	Kostenleiderschap	Differentiatie
	<i>Smal doelgebied</i>	Kostenfocus	Differentiatiefocus

Figuur 4.3 Een overzicht van de vier mogelijk strategieën volgens Porter

#### *Verschillende productiemethoden*

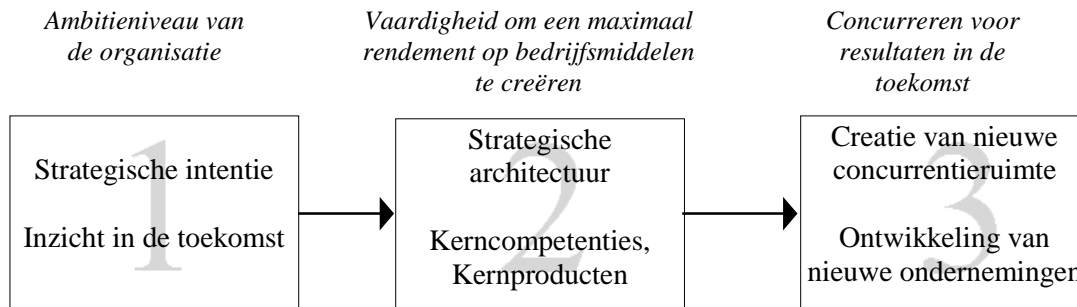
Voor grootschalige producenten staat hoofdzakelijk de kostenleiderschap strategie open aangezien elektriciteit een commodity is en eerste en (in mindere mate) tweede trancheafnemers erg prijsgevoelig zijn. De tweedeling tussen de productie- en distributiesector is karakteristiek voor de Nederlandse situatie en speelt een belangrijke rol in de beslissing van drie van de vier productiebedrijven om op te gaan in een groter geheel. Om te excelleren in een verdringingsmarkt zijn schaalvoordelen van groot belang. Technologie wordt voornamelijk extern ontwikkeld en kan dus niet worden afgeschermd voor concurrenten. In een geliberaliseerde markt komt het onderzoek in eigen beheer naar technologie juist onder druk te staan. Daardoor neemt de kans af dat technologie een bron van concurrentievoordeel zal vormen.

#### 4.3.2 De technologieproducenten

De technologieproducenten voor de energiemarkt vormen een zelfstandige bedrijfstak en zouden dus volgens Porters theorie de kans verhogen op een discontinue technologische ontwikkeling. De concurrentie op deze (wereld)markt is behoorlijk intensief waardoor de prijzen voor de grotere STEG-centrales de afgelopen jaren behoorlijk zijn gedaald. De onafhankelijke stroomproducenten, die zo laag mogelijke kosten nastreven om maximaal rendement te waarborgen, hebben gezorgd voor extra scherpe concurrentie. Op alle mogelijke manieren hebben de technologieproducenten ervoor gezorgd dat de kosten zo laag mogelijk konden worden gehouden. Zo is de productietijd met ongeveer de helft bekort door het gebruik van makkelijk na te maken standaardpakketten en halfabrikaten. Hoe meer pakketten in de fabriek kunnen worden geproduceerd des te lager de kosten omdat er minder op locatie hoeft te worden gedaan. Ook door het gebruik van de computerontwerpen zijn materiaal en arbeidskosten sterk gereduceerd. Bovendien kunnen eventuele problemen bij de bouw door het gebruik van de computer eerder worden onderkend. Tenslotte betekenen al deze verbeteringen dat deze turn-key STEG's binnen twee jaar kunnen worden opgeleverd waardoor de kapitaalkosten lager zijn en er eerder kan worden begonnen met de productie. De ontwikkelingen op deze markt gaan snel en er zijn in vergelijking met tien jaar geleden enorme rendementsverbeteringen behaald.

De stelling van Porter dat er 'geen schaalvoordelen kunnen worden gehaald bij de productie van grote turbinegeneratoren' en innovatie daarom productgericht blijft en niet de fase ingaat van procesinnovatie lijkt door de praktijk te worden ingehaald. Technologieproducenten slagen er in de conventies in hun markt uit te dagen. Hun strategieën sluiten het best aan bij het 'entrepreneurial framework' dat door Prahalad en Hamel is ontwikkeld. Volgens deze inzichten kunnen bedrijven waarde creëren door enerzijds efficiënt met bedrijfsmiddelen om te gaan en anderzijds actief de nieuwe markten van de toekomst te creëren. Hoe volwassener een markt wordt hoe

meer de winstmarge onder druk komt te staan. Op nieuwe markten zijn de winstmarges veel groter. Om ook in de toekomst waarde te kunnen creëren moeten bedrijven nieuwe markten creëren. Hieronder zijn de drie belangrijkste stappen voor het creëren van nieuwe markten weergegeven:



Figuur 4.4 Een schets van het 'entrepreneurial framework'

### 1. Strategische intentie

Hiermee wordt bedoeld wat topmanagers nu moeten ondernemen om in de toekomst een wereldwijde koppositie in te nemen. Van groot belang hierbij is het ontwikkelen van een visie over hoe de toekomst eruit zal zien. Buitengewone prestaties zijn vaak gebaseerd op een duidelijk omschreven inzicht in de toekomst. Bij dat inzicht in de toekomst horen ook de technologische veranderingen die de toekomst zullen bepalen. Inzicht in de toekomst verschaft de totale onderneming een basis voor het uittrekken van het verbeeldingsvermogen en een focus op het ontwikkelen van (bedrijfstak)grensverleggende initiatieven. Innovatieve technologieën zijn vaak de aanjagers van fundamentele veranderingen in de toekomst. Om een goed inzicht in de toekomst te krijgen is het dus noodzakelijk een goed beeld te hebben van de technologieën die waarschijnlijk de toekomst zullen domineren. Op die manier kunnen nieuwe functionaliteiten al in een vroeg stadium worden onderkend.

### 2. Strategische architectuur

Om een strategische architectuur te kunnen opzetten moet de leiding een idee hebben over de nieuwe voordelen, of functionaliteiten die de consument de komende 10 jaar zullen worden geboden. Vervolgens moeten de nieuwe kerncompetenties worden bepaald die nodig zullen zijn om die voordelen te creëren.

Specifieke eigenschappen van een kerncompetentie zijn:

- Ze voorzien in een unieke eigenschap die tevens een significante bron voor concurrentievoordeel vormt.
- Ze overstijgen het niveau van één bedrijf, er zijn meerdere nieuwe en oude bedrijven die er gebruik van maken.
- De technologische component maakt er slechts deel van uit.

Uit een strategische architectuur wordt duidelijk in welke richting de energiesector zal evolueren. Deze evolutie kan niet los worden gekoppeld van het technologische systeem dat in de toekomst beschikbaar zal komen. Het belangrijkste is echter dat het een bruikbaar raamwerk is om effectief innovatie te managen. Daarnaast kan een strategische architectuur worden gebruikt om doelgerichte aanwinsten en partners voor allianties te identificeren.

### 3. Nieuwe markten creëren

Het uiteindelijke doel van strategie is het scheppen van nieuwe markten. Om een leiderspositie in te nemen is het voor bedrijven belangrijk sneller te leren dan te investeren. Een bedrijf moet er sneller dan de concurrentie proberen achter te komen waar precies het hart van de toekomstige vraag zal liggen. Als het gaat om het creëren van nieuwe markten is het vaak onmogelijk om

van tevoren te weten welke combinatie van kenmerkende eigenschappen het product of de dienst moet bezitten, tegen welke prijs het moet worden aangeboden en via welke kanalen om een potentiële markt te kunnen ontsluiten. Een bedrijf moet er sneller dan de concurrenten achter proberen te komen hoe groot de vraag van de consumenten precies zal zijn en wat er precies van het product verlangd wordt. Om zo snel mogelijk zoveel mogelijk informatie over een markt te verkrijgen kan een bedrijf een reeks kleine invallen, tegen lage kosten en in een hoog tempo op de markt doen. Hierbij moet in iedere product-iteratie alle informatie over de behoeften en wensen van de consument verwerkt zijn die op dat moment voorhanden is. Natuurlijk is de snelheid mede afhankelijk van de kosten die ermee gemoeid zijn. Het leiderschap zal uiteindelijk bij die bedrijven terechtkomen die de grenzen van de verwachtingen van de consument proberen te ontdekken. Hierbij zijn de volgende aandachtspunten van belang:

- Groei staat op de agenda niet herstructurering.
- Forse groei zal niet plaats vinden als een bedrijf zich focust op technologie. Het zal eerder plaatsvinden als een bedrijf zich focust op de organisatie met technologie als onderdeel daarvan.
- Forse groei vergt een radicale herformulering van bestaande management-paradigma's.

Als voorbeeld hoe de implementatie van 'het entrepreneurial framework' van Prahalad en Hamel eruit ziet in de praktijk zal een case-study van het Zweeds-Zwitserse ABB wellicht verhelderend werken.

### *Strategische intentie*

ABB is een bedrijf dat aanwezig is in meer dan 60 Strategic Business Units in het domein van elektriciteitscentrales, elektrische verbindingen, elektrische distributiesystemen, halfgeleiders, transport en 'environmental control'. De mondiale productieoptimalisatie en de marktgedreven structuur worden ontwikkeld en gerealiseerd vanuit een toekomstgerichte visie. ABB is een modelvoorbeeld van een onderneming die voordelen van een mondiale strategie combineert met de noodzaak om producten en diensten lokaal aan te passen. Daarbij richt zij zich op de groeisectoren van de jaren negentig (milieuproducten, transport en krachtbronnen).

### *Strategische architectuur*

De aandacht van het management gaat uit naar het realiseren van voordelen door het optimaliseren van de waardeketenactiviteiten en naar de marktgerichtheid van de onderneming. Door zijn grootte en regionale spreiding kan het bedrijf ten volle de voordelen van 'worldwide sourcing' en 'cross border management' realiseren. Kostenvoordelen vinden hun oorsprong in schaalvoordelen en 'economies of scope'. Deze voordelen zijn onder meer gebaseerd op het aanwezige informatiesysteem. De marktgedrevenheid van ABB ligt vervat in de structuur van deze megaonderneming, ABB groepeerd meer dan 1000 ondernemingen, die omschreven kunnen worden als 'multi-domestic': enerzijds hebben deze bedrijven een mondiale strategie (integratie in het netwerk van ABB) en anderzijds zijn zij gericht op de regio waarin zij opereren. De regionale marktbinding (produceren waar men verkoopt, rekruteren in de regionale arbeidsmarkten samenwerking met lokale overheden) bepaalt vaak het al dan niet binnenhalen van grote orders. Bovendien heeft ABB een productleiderschap opgebouwd in technologie. De combinatie van verschillende kerncompetenties zorgt voor een maximaal rendement op de beschikbare bedrijfsmiddelen.

### *Nieuwe markten creëren*

Succesvol ondernemen op lange termijn vereist dat ABB continu nieuwe product/marktcombinaties op de markt brengt en daardoor nieuwe concurrentieruimte creëert. De grote financiële middelen waarover ABB beschikt worden niet aangewend om de voordelen op bestaande markten in een felle concurrentiestrijd te verdedigen waardoor de winstmarges klein worden. Zij worden gebruikt om het noodzakelijke 'entrepreneurial' proces te voeden door continu nieuwe markten te creëren en zo goede winsten te realiseren. De kerncompetenties die ABB heeft opge-

bouwd (met name in de groeisectoren van de jaren negentig) vormen een goede garantie voor een gezond bedrijf in de toekomst.

### 4.3.3 Energiehandel

De energiebedrijven hebben verschillende mogelijkheden om hun concurrerend vermogen te versterken. Gezien de concurrentie binnen Europa wordt de schaalgrootte van de energiebedrijven van belang, onder andere om de efficiency en inkooppositie van de energiebedrijven te vergroten. De Nederlandse energiebedrijven zijn relatief klein vergeleken met die van de rest van Europa. Vandaar dat de huidige energiebedrijven proberen hun positie te verstevigen door vormen van verticale dan wel horizontale integratie.

#### *Horizontale integratie*

Horizontale marktmacht heeft betrekking op de beheersing van een marktsegment door één speler (monopolievorming) of door kartelvorming van meerdere spelers (oligopolievorming). Deze vorm van marktbeheersing kan ertoe leiden dat spelers minder aanbieden om de prijs hoog te houden, of andere manieren toepassen om de prijs te beïnvloeden (Skytte, 1999). Bij horizontale integratie wordt een efficiencyvoordeel voorzien door een groter aantal afnemers te bedienen. Horizontale integratie heeft bij de energiedistributiebedrijven al op grote schaal plaatsgevonden. Zo hebben zich in Nederland de volgende fusies voor gedaan: Nuon/ENW/EWR/GAMOG/REGEV zijn samengegaan onder de naam Nuon, Remu en GCN zijn eveneens gefuseerd en gaan verder onder de naam Remu en tenslotte zijn Edon en Pnem/Mega gefuseerd onder de naam Essent. In een eerder stadium is er een poging ondernomen om de vier elektriciteitsproducenten samen te voegen in een Grootschalig Productie Bedrijf (GPB). Na de mislukte fusie hebben de UNA, EZH en EPON hun heil in het buitenland gezocht en zijn overgenomen door respectievelijk door Reliant, PreussenElektra en Electrabel. In de economische theorie over innovatie (industrial organisation) wordt verondersteld dat schaalgrootte een belangrijke voorwaarde is om in technologische ontwikkeling te kunnen investeren.

#### *Verticale integratie*

Verticale integratie ontstaat als één bedrijf meer dan één fase van een bedrijfskolom in handen heeft. Dit gold in de oude situatie toen de productiebedrijven zowel opwekking als transmissie via het koppelnet in handen hadden en distributiebedrijven zowel levering als het netbeheer (Verwer, 1999). Deze vorm van verticale integratie is tegenwoordig niet meer mogelijk. Een voorbeeld van verticale integratie is een energiebedrijf dat zowel productie, groothandel als levering aan de consument in handen heeft (Essent). Bij verticale integratie wordt een efficiencyvoordeel gezocht door productie en afzet te combineren waardoor een bedrijf minder afhankelijk wordt van toeleveranciers en afnemers en daarmee van de grillen van de markt. Eneco's samenwerking met Intergen of die van Delta met Norsk Hydro door gezamenlijk productiecapaciteit bij te bouwen zijn ook een voorbeelden van verticale integratie.

#### *Diagonale integratie*

Naast horizontale en verticale integratie kunnen bedrijven hun marktpotentieel ook vergroten door diagonale integratie, dat wil zeggen door diversificatie en conglomeratie. Onder diversificatie wordt verstaan het op de markt brengen van nieuwe producten in verwante markten en onder conglomeratie het op de markt brengen van nieuwe producten in niet verwante markten. Op deze wijze wordt het bedrijfsrisico verdeeld over meerdere producten. Wat betreft het diversificatiebeleid is de ontwikkeling van de multi-utility de meest in het oog springend. Essent houdt zich naast energielevering ook bezig met afvalverwerking (overname VAM), kabel en telecommunicatie. Nuon heeft zich juist ontdaan van haar aandeel in de kabel en fuseert met het waterleidingsbedrijf Friesland om zich te kunnen concentreren op energie en water. Van conglomeratie is er binnen de huidige energiebedrijven voorlopig nog niet echt sprake. De plannen die Super de Boer heeft voor het verkopen van elektriciteit is een voorbeeld van conglomeratie.

Het streven naar schaalgrootte door verschillende vormen van integratie hangt vaak samen met het verbeteren van de inkooppositie en de efficiency. Een nadeel van bijvoorbeeld horizontale integratie is dat het een opeenstapeling betreft van dezelfde kerncompetenties. Werkelijke innovaties vinden vaak plaats waar verschillende kerncompetenties elkaar vinden om samen een nieuwe product/marktcombinatie te vormen. Om bij de volgende generatie energiebedrijven te horen zullen de huidige energiebedrijven bepaalde kerncompetenties moeten verwerven. Naar verwachting zullen deze kerncompetenties liggen op het gebied van marketing, handel en risicomangement. De nieuwe producten op de energiemarkt zullen combinaties zijn van bovengenoemde kerncompetenties en fysieke energielevering. De meeste energiebedrijven hebben ervoor gekozen om het accent te leggen op de handel. Door hun elektriciteit in te kopen hoeven zij niet te voldoen aan de eisen die gelden voor elektriciteitsproductiebedrijven. Energiebedrijven kunnen hun energie inkopen bij de goedkoopste aanbieder en zich concentreren op de verkoop. Dat betekent dat zij in principe kunnen volstaan met het volgen van de markt. Daarnaast hebben energiebedrijven al dan niet in samenwerking met grote installatiebedrijven energiemanagement in hun portefeuille. Zij kunnen in dit kader het hele primaire proces (onderhoud, beheer en bediening) voor hun rekening nemen.

Ook de toenemende markt voor duurzame productie heeft de volle interesse van de energiebedrijven. Duurzame energie zou wel eens de groeimarkt van de toekomst kunnen zijn. Om (R&D)-investeringsbeslissingen van energiebedrijven in (duurzame) technologie te analyseren kan gebruik worden gemaakt van de optiewaarde-theorie. De gedachte achter de optiewaarde theorie is dat investeringen in nieuwe technologie niet op basis van een momentaan scenario plaatsvinden waarbij de verwachte netto opbrengsten het enige criterium vormen, maar dat het ook opgevat kan worden als een serie van opeenvolgende beslissingen.

De informatie die gedurende de loop van de tijd vrijkomt is relevant voor toekomstige investeringsbeslissingen. De toegang tot deze informatie (en de bijbehorende ervaring) vertegenwoordigt extra waarde die bij de verwachte netto opbrengsten opgeteld mogen worden. Dit kan ertoe leiden dat een bedrijf toch kiest voor een investering in de ontwikkeling van een bepaalde technologie, die op basis van een cashflow analyse afgewezen zou worden. De doorslaggevende reden om te investeren is toegang verkrijgen tot relevante informatie en kennis met betrekking tot potentiële technologieën (Schimmelpfennig, 1995).

Kortom energiebedrijven moeten proberen een duidelijk beeld van de toekomst te verkrijgen. Ze zullen zich daarbij niet focussen op technologie. Het accent zal meer komen te liggen op de handel in energie. Om hierin succesvol te zijn moeten energiebedrijven niet alleen over schaalvoordelen beschikken maar ook de kerncompetenties verwerven die nodig zijn om in de behoeftes van de toekomst te voorzien. De volgende generatie energiebedrijven zal bestaan uit de bedrijven die de kerncompetenties hebben opgebouwd om op de groeimarkten te kunnen opereren. Hierbij zullen er verschillende kerncompetenties van belang zijn voor de klein- en de grootverbruikersmarkt. Op de kleinverbruikersmarkt zullen marketing en informatisering belangrijke toegevoegde waarde voor de afnemer creëren. Op de grootverbruikersmarkt zullen een goede inkooppositie in combinatie met een expertise op het gebied van handel en risicomangement bijdragen aan een goede positie. De rol die de ontwikkeling van nieuwe technologie hierin speelt wordt met name zichtbaar op het gebied van duurzame energie.

#### 4.3.4 De rol van (duurzame) technologie

##### *De functie van duurzame energieproductie*

Duurzame energieproductie levert nieuwe mogelijkheden op voor het voeren van een differentiatie strategie (zie Figuur 4.3). Door de afkomst van elektriciteit te labelen is het niet langer een commodity. Afnemers zijn bereid meer te betalen voor duurzaam opgewekte energie. De sociale wenselijkheid van duurzame energie maakt het tevens geschikt als marketinginstrument waardoor grootverbruikers en energiebedrijven het kunnen gebruiken om zich te profileren. Nuon is op de Nederlandse markt de eerste die duurzame energie aangrijpt om zichzelf op de markt te



positioneren. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de markt voor duurzaam geproduceerde stroom eigenlijk een kunstmatige (door de overheid gecreëerde) markt is. Duurzaam geproduceerde energie kan op dit moment nog niet zelfstandig concurreren met conventioneel opgewekte energie.

### *Centrale vs. decentrale productie*

Decentrale productie levert kansen voor een succesvolle kostenfocusstrategie (zie Figuur 4.3) daar waar warmte/krachtkoppeling mogelijk is. Decentrale opwekking betekent dat de opgewekte stroom/warmte (deels) op dezelfde locatie wordt gebruikt. Doordat decentrale productie dicht bij de afnemer plaats kan vinden levert het een extra toegevoegde waarde (warmte) op waarvoor afnemers bereid zijn meer te betalen. In een geliberaliseerde energiemarkt kan decentrale productie door energiebedrijven met een verschillende achtergrond (productie of distributie) of grote installateurs worden aangeboden.

Tenslotte kan duurzaam geproduceerde energie leiden tot een focus op differentiatie indien zou blijken dat voornamelijk een bepaald segment van de kleingebruikers (bijvoorbeeld de afnemers met hogere inkomens) bereid is meer te betalen voor duurzaam opgewekte stroom. Hieronder worden voor alle duidelijkheid een aantal voorbeelden opgenomen van centrale en decentrale productiemethoden. Het onderscheid centraal-decentraal valt niet samen met het onderscheid grootschalig-kleinschalig. Bovendien kan duurzame energie zowel groot- als kleinschalig en centraal- als decentraal worden geproduceerd. Energieproducenten zouden zich kunnen richten op de productie van grootschalige centrale duurzame energie (bijvoorbeeld in de vorm van een offshore windpark) terwijl energiehandelaren een kerncompetentie op zouden kunnen bouwen in kleinschalige decentrale duurzame productie om juist de relatie met de afnemer te versterken.

		Locatie	
		<i>Centraal</i>	<i>Decentraal</i>
<i>Grootschalig (&gt; 100 MW)</i>	Aantal MW per installatie	Kerncentrales, Kolencentrales, STEG met alleen stadsverwarming Grootschalige duurzame opwekking (biomassa, offshore wind).	Grootschalige industriële warmtekrachtkoppeling (Bijvoorbeeld: Delesto I en II te Delfzijl, Swentibold te Geleen en Dow Chemicals (Elsta BV) te Terneuzen).
<i>Kleinschalig (&lt; 100 MW)</i>		Biomassa-centrale (30 MW) van Essent te Cuijk, Windparken.	warmtekrachtkoppeling bij tuinders en kantoren, PV op het dak, solitaire windmolens, lokale biomassavergisting.

Figuur 4.5 Vier categorieën productiemethoden

### *Technologische veranderingen*

Technologische veranderingen hebben een potentieel effect op de bedrijfstakstructuur. Een bedrijf moet de structurele invloeden in overweging nemen om een technologiestrategie te kunnen voeren. Technologische veranderingen werken door op de verschillende concurrentiekrachten van Porter.

Allereerst bepaalt technologische verandering in belangrijke mate de toetredingsbarrières. Schaalvoordelen kunnen er namelijk belangrijker of juist minder belangrijk door worden. Decentrale opwekking betekent in de meeste gevallen een reductie van schaalvoordelen. Voor decentrale producenten geldt in principe dat zij op basis van de prijs niet kunnen concurreren met grootschalige producenten. Er is echter een aantal voordelen verbonden aan decentrale productie die deze productiemethode juist in een geliberaliseerde markt aantrekkelijk maken:

- Het eerste argument is dat van de eenheidsgrootte. Een relatief kleine centrale zal minder risico opleveren in een markt die al een zekere overcapaciteit kent.

- Het tweede argument betreft de flexibiliteit. Een relatief kleinere centrale kan snel gebouwd worden onder andere omdat de voorbereiding en financiering niet zo complex zijn. In die korte tijd is de markt nog te overzien. Als de voorbereiding en bouw van een grote centrale lang duren, neemt de flexibiliteit sterk af: een goede beoordeling van de markt op lange termijn is dan nodig.
- Het verkrijgen van een vergunning is in het geval van decentrale productie-eenheden gemakkelijker.
- Veel decentrale productie-eenheden zijn robuuster dan één centrale productie-eenheid. Mocht er onverhoopt een technisch defect zijn dan is het relatieve effect daarvan groter in het geval er geproduceerd wordt met grootschalige productie-eenheden.
- Warmte/krachtkoppeling is gemakkelijker toepasbaar omdat decentrale productie-eenheden dichter bij de gebruiker kunnen worden geplaatst.

Er zijn echter ook technologieën die een grote schaal juist bevoordelen doordat het tempo van de introductie van nieuwe productiemethoden wordt versneld of de investeringskosten omhoog gaan. Door de invoering van een dergelijke technologie kunnen grootschalige energiebedrijven hun concurrenten op achterstand zetten. Een nadeel van dergelijke technologieën kan zijn dat de overstapkosten fors omhoog gaan en grootschalige ondernemingen daardoor minder flexibel zijn.

Voorts kan technologische verandering de macht van de kopers veranderen. Achterwaartse integratie of de dreiging ervan, bijvoorbeeld door in eigen beheer decentraal te gaan produceren, is één van de belangrijkste middelen om die macht te vergroten.

Technologische verandering kan ook verschuivingen geven in de onderhandelingsrelatie tussen een bedrijfstak en zijn leveranciers. Indien de leveranciers van fossiele energiebronnen hun invloed zouden aanwenden om de prijzen kunstmatig hoog te houden zou er meer in (onderzoek naar) duurzame opwekking worden geïnvesteerd. De brandstofdiversificatiestrategie is een manier om niet teveel afhankelijk te worden van de invloed van één primaire energiedrager. Hierbij is tevens van belang dat de gasprijs is gerelateerd aan het substitueerbare olieproduct. Binnen het kader van streven naar de laagste kosten op de lange termijn is brandstofdiversificatie een manier van risicospreiding. Het is bijvoorbeeld een argument van EZH om aansluiting te zoeken bij Preussen-Elektra dat kan beschikken over waterkracht en kernenergie (Verwer, 1999). Of een reden voor de overname van het voornamelijk op gascentrales draaiende EPON door Electabel, dat zelf voornamelijk over kernenergie beschikt.

Tenslotte kan technologie de intensiteit van de concurrentie onder bestaande concurrenten beïnvloeden door bijvoorbeeld de kostenstructuur te wijzigen. Bijvoorbeeld door het toenemende laadvermogen van olietankers door een verbetering in de scheepsbouwtechnologie. De rol van technologie speelt tevens een belangrijke rol bij productdifferentiatie en overstapkosten. Een gespecialiseerde automatisering betekent veelal wel dat er hogere uitredingsbarrières ontstaan.

### *Een technologiestrategie*

Het effect van een technologische verandering op de bedrijfstak hangt dus af van de aard van de invloed op de vijf concurrentiekrachten. Bedrijven die een technologiestrategie kiezen en in technologie investeren moeten bedenken dat een technologische verandering niet alleen kan resulteren in een korte termijn concurrentievoordeel maar ook in een verslechtering van de bedrijfstakstructuur op de langere termijn. Zo zou bijvoorbeeld een decentrale duurzame opwekking die qua efficiency in de nabijheid presteert van de grootschalige productiecentrales voor flinke verschuivingen in de energiewereld zorgen. Om een beter zicht te hebben op de gevolgen van technologische verandering en wat deze kan betekenen voor de eigen positie kunnen energiebedrijven een technologiestrategie formuleren. Door de meest waarschijnlijke route van technologische ontwikkelingen in kaart te brengen kunnen energiebedrijven tijdig op technologische veranderingen anticiperen en zo hun positie versterken.

Op basis van het bovenstaande kader kunnen energiebedrijven een technologiestrategie formuleren. De volgende analytische stappen kunnen daarbij behulpzaam zijn.

1. Energiebedrijven moeten alle technologieën identificeren die door het bedrijf of door de concurrenten worden gebruikt. Daarnaast staan de technologieën die door de leveranciers of de afnemers worden gebruikt vaak in een onderlinge afhankelijkheid met die van de energiebedrijven.
2. Aangezien technologieën vaak van buiten de bedrijfstak komen en juist dan een mogelijke bron van discontinue verandering vormen moeten energiebedrijven potentieel relevante technologieën in andere bedrijfstakken of in een stadium van wetenschappelijke ontwikkeling identificeren.
3. Van de belangrijkste geïdentificeerde technologieën moet een energiebedrijf het waarschijnlijke pad van verandering kunnen inschatten.
4. Cruciale technologische veranderingen zijn die die een groot effect op de kosten of differentiatie hebben en waarbij een technologische voorsprong houdbaar is. Deze technologieën moet een bedrijf isoleren en ervan begrijpen hoe ze de kosten, differentiatie en de bedrijfstak zullen beïnvloeden.
5. Een energiebedrijf moet zijn relatief sterke punten in de voornaamste technologieën kennen. Daarnaast moet het een realistische schatting maken van zijn vermogen om de technologische verandering bij te houden.
6. De technologiestrategie moet alle belangrijke technologieën omvatten en de totale concurrentiestrategie van het bedrijf versterken.
7. De energiebedrijven moeten technologiestrategieën van bedrijfseenheden op het ondernemersniveau versterken.

#### *Continue vs. discontinue technologische veranderingen*

Technologieproducenten, de bronnen van technologische verandering, bevinden zich buiten de bedrijfstak. Daardoor is de kans groter dat er een technologisch discontinue ontwikkeling plaatsvindt. Uitwendige bronnen zijn minder ontvankelijk voor bedrijfsomstandigheden dan de R&D-afdelingen van de bedrijfstakparticipanten. Zo is bijvoorbeeld de ontwikkeling van de gasturbine afgeleid van de ontwikkeling van vliegtuigmotoren (een andere bedrijfstak) waaraan veel hogere eisen worden gesteld wat betrouwbaarheid betreft.

#### 4.3.5 Het theoretisch kader toegespitst op duurzame energie

Uit het voorgaande blijkt dat de rol van duurzame energie in de toekomstige energievoorziening steeds groter zal worden. De drie onderscheiden deelmarkten zullen hierdoor worden beïnvloed. Voor de grootschalige elektriciteitsproducenten ligt een kostenleiderschapstrategie het meest voor de hand. Gezien het afnemende marktpotentieel voor grootschalige centrale productie moeten ook zij inspelen op de nieuwe markten. Grootschalige producenten kunnen zich in dit kader storten op decentrale en/of duurzame opwekking om op die manier hun productaanbod te differentiëren. De bouw van een grootschalig offshore windpark is hiervan een voorbeeld. Voor de energiebedrijven met een distributieachtergrond ligt een focus op de handel van energie voor de hand. Afhankelijk van hun schaalgrootte en expertise kunnen zij op de groothandelsmarkt uitgroeien tot een 'full swing' handelaar of handel meer als een ondersteuning van hun productaanbod aanbieden. Op de kleinverbruikersmarkt zal de handel moeten worden ondersteund door een gedegen marketing. Decentrale en/of duurzame opwekking kunnen daarbij dienen als een marketinginstrument. Afhankelijk van de ontwikkelingen op de markt en de verwachtingen van het overheidsbeleid ten aanzien van duurzame energie op de lange termijn is de kans groot dat de energieproducenten en energiehandelaren de degenen zullen kruisen op het gebied van decentrale en/of duurzame technologie. Daarnaast is de kans groot dat het onderscheid tussen energieproducenten en energiehandelaren in een Europese context, waarin schaalvergroting onmiskenbare concurrentievoordelen oplevert, steeds meer zal vervagen. De Nederlandse grootschalige productiebedrijven zijn in dit kader zonder uitzondering onderdeel uit gaan maken van een groot energie(handels)bedrijf.

Het is aan de technologieproducenten om enerzijds in te spelen op de behoefte aan duurzame technologie op de (toekomstige) markt anderzijds door innovaties te komen tot een betere prijs/prestatie verhouding waardoor zij een nieuwe markt creëren. Aansluitend bij de vorige paragraaf kan worden gesteld dat de verwachte ontwikkelingen op het gebied van decentrale en/of duurzame technologie voor alle deelmarkten van belang zijn. Het hebben van een technologie-strategie is op grond hiervan onontbeerlijk.

## 5. DE VISIE VAN DE MARKT OP NIEUWE ENERGIETECHNOLOGIE

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de verwachte ontwikkelingen met betrekking tot de energievoorziening waarbij een belangrijke rol is weggelegd voor de infrastructuur en technologieën. Deze verwachtingen zijn gebaseerd op een empirisch onderzoek onder 14 respondenten. Aan het onderzoek is medewerking verleend door Shell Nederland B.V., ENECO, Gasunie, VEMW, Cogas, NUON, Energie Delftland, Prebon Energy, Intergen, Enron, GGR, EZH en EnergieNed. Op deze wijze is gepoogd een overzicht te krijgen van de visies die in de markt een rol spelen en het potentiële draagvlak voor bepaalde technologieën. Uit het onderzoek kwam tevens naar voren dat technologieontwikkelaars en technologieproducenten betrokken hadden moeten worden in dit onderzoek.

Om de anonimiteit van de respondenten te waarborgen zullen hieronder alleen de grote lijnen van de visies van de respondenten worden behandeld. Hierdoor kan er helaas niet worden ingegaan op de specifieke of karakteristieke visies die enkele respondenten hebben.

Paragraaf 5.1 behandelt de visies van de respondenten op de blauwdrukken, Paragraaf 5.2 gaat in op specifieke technologieën. De Paragrafen 5.3 en 5.4 behandelt de rol van strategieën en van milieu-overwegingen. In Paragraaf 5.5 worden conclusies getrokken, waarbij de bevindingen in dit hoofdstuk gerelateerd worden aan het theoretisch kader uit Hoofdstuk 4.

### 5.1 De blauwdrukken

De volgende kenmerken van de blauwdrukken zijn aan de respondenten voorgelegd:

Tabel 5.1 *Karakteristieken van de blauwdrukken zoals voorgelegd aan de respondenten*

Blauwdruk	'Bestaande infrastructuur'	'Waterstof'	'Elektrisch'
Finale energiedrager	Dezelfde finale energiedragers als op dit moment (methaan, benzine, diesel, elektriciteit)	Waterstof wordt de belangrijkste finale energiedrager.	Elektriciteit wordt de belangrijkste finale energiedrager
Primaire energiedrager	Duurzame alternatieve energiebronnen en fossiele energiedragers met CO <sub>2</sub> -verwijdering	Duurzame alternatieve energiebronnen en fossiele energiedragers met CO <sub>2</sub> -verwijdering	Duurzame alternatieve energiebronnen en fossiele energiedragers met CO <sub>2</sub> -verwijdering
Infrastructuur	De fijnmazige energie-infrastructuur blijft hetzelfde.	Aanpassing aardgasnet voor waterstof, nieuwe infrastructures voor transportsector	Meer warmtenetten, verzwarend elektriciteitsnet, bij nieuwbouw geen gasnet meer.
Karakteristieke technologieën	Conversie van biomassa/kolen via syngas in vloeibare en gasvormige energiedragers, waterstofproductie	Brandstofcellen, auto's op waterstof of methanol, micro-wkk, waterstofproductie	Elektrische warmtepompen, elektrische auto's, warmtedistributie

De meeste respondenten hadden een goed beeld van de blauwdrukken. Onduidelijkheden bleken er te bestaan over mogelijke aanpassingen aan de infrastructuur en het verschil tussen finale en primaire energiedragers. Voorts waren er nog een tweetal respondenten die hun kanttekeningen plaatsten bij de urgentie van het CO<sub>2</sub>-emissie probleem. Dezelfde twee respondenten weken af van de overige respondenten door hun uitgesproken positieve houding ten aanzien van kern-energie.

### *Kritiek*

De kritiek op de gepresenteerde blauwdrukken kan als volgt worden samengevat:

- Op een aantal gebieden bestaat er overlap tussen de verschillende blauwdrukken waardoor de scheidslijn niet altijd even duidelijk is.
- De blauwdrukken zijn te extreem en gaan uit van een dominante oplossing terwijl er zich een enorme diversiteit aan oplossingen aan zou kunnen bieden.
- Geleidelijkheid is een in het schema onderbelicht aspect. Veel respondenten kregen het idee dat er een schoksgewijze overgang werd voorzien waarin zij zich niet konden vinden.
- Er bestaat onduidelijkheid over waar de waterstof in de waterstofvariant vandaan zou moeten komen en indien het uit koolwaterstof komt wat er met de koolstoffractie moet gebeuren.

### *Uitkomsten*

In totaal kozen 6 van de 14 respondenten de ‘Bestaande Infrastructuur’ als meest kansrijke blauwdruk. Twee respondenten zagen de blauwdruk ‘Bestaande Infrastructuur’ op termijn verschuiven in de richting van de blauwdruk ‘All-electric’. Drie respondenten kozen voor een mix van alle blauwdrukken. De reden om alle blauwdrukken evenveel kans toe te dichten was voor één respondent dat er nog niet voldoende uitgekristalliseerd is in welke richting de energievoorziening van de toekomst zich zal begeven. Om op mogelijke ontwikkelingen in de markt te kunnen anticiperen volgen zij een meersporenbeleid door uiteenlopende kerncompetenties op te bouwen. De laatste twee van deze groep waren onverschillig omdat zij zich vooral bezig hielden met de handel in energie en het zich daarom konden veroorloven om de korte termijn markt goed in de gaten te houden.

Van de overige drie respondenten achtte één respondent de elektrische variant het meest kansrijk, de tweede zag meer heil in een totale waterstofeconomie. Tenslotte vond de derde respondent een systeem waarin de waterstof en de elektrische variant vreedzaam naast elkaar zouden bestaan een kansrijk alternatief voor het huidige evenwicht tussen gas en elektriciteit.

Acht respondenten hebben tevens aangegeven welke blauwdruk zij als ideaal beschouwden. De resultaten houden elkaar in evenwicht. Vier respondenten gaven aan veel voordelen van een CO<sub>2</sub>-vrije waterstofeconomie te verwachten, vier andere zagen meer toekomst voor een schone elektrische wereld. De voorkeur voor een waterstof- c.q. elektrische blauwdruk correleerde sterk met de achtergrond van de respondent. De overige zes respondenten hebben geen expliciete voorkeur opgegeven. In onderstaande tabel is een overzicht van de resultaten weergegeven.

Tabel 5.2 *Beoordeling blauwdrukken*

	<i>Bestaande infrastructuur (BI)</i>	<i>BI + Elektrisch (E)</i>	<i>BI +E+ Waterstof (W)</i>	<i>Elektrisch</i>	<i>Waterstof</i>	<i>W+E</i>
<i>Kansrijk (n=14)</i>	6	2	3	1	1	1
<i>Ideaal</i>				4	4	

### *Argumentatie voor de ‘Bestaande Infrastructuur’-blauwdruk*

Het belangrijkste argument om de Bestaande Infrastructuur als meest kansrijke blauwdruk op te voeren was het voorkomen van kapitaalvernietiging. In de distributienetten is veel geïnvesteerd. De bestaande distributeurs zal er veel aan gelegen zijn om hier zolang mogelijk gebruik van te maken. Bovendien is de hele keten van de huidige energievoorziening op de huidige infrastruc-

tuur afgesteld. Deze investeringen zullen maximaal worden benut. Een geleidelijke ontwikkeling ligt daarom meer voor de hand.

Het type brandstof of energiedrager dat op korte termijn wordt gebruikt zal geleidelijk overgaan op het type brandstof of energiedrager dat op lange termijn zal worden gebruikt. Bij de gasvoorziening kan gas worden bijgemengd met een vergelijkbare calorische waarde, bijvoorbeeld syngas. Indien biomassa de primaire energiedrager is kan de conversie van syngas naar waterstof worden overgeslagen waardoor er volgens één respondent efficiencywinst ontstaat. Ook werd door een enkele respondent een verbreding van de Wobbe-index mogelijk geacht waarbij er allesbranders aan de gasinfrastructuur konden worden gekoppeld.

De urgentie van het broeikasprobleem werd door twee respondenten in twijfel getrokken. Zij vonden het meer een issue waar de politiek zich mee profileert. Zij waren van mening dat het CO<sub>2</sub>-emissieprobleem meer een kwestie van economisch rendement is dan van echt geavanceerde technologieontwikkelingen.

Tenslotte voorzagen enkele respondenten tevens een hogere energieprijzen naarmate fossiele energiedragers zeldzamer worden. Dat had volgens hen tot gevolg dat niet alleen de duurzame bronnen aantrekkelijker zullen worden maar ook de minder rendabele fossiele voorraden.

#### *Onderbouwing voor 'Waterstof-blauwdruk'*

Het is mogelijk om fossiele brandstoffen om te zetten in waterstof waarna dit in een brandstofcel gebruikt kan worden. Enkele respondenten beschouwden deze tussenoplossing als een eventuele brug tussen de huidige en een op waterstof georiënteerde energievoorziening. Hierbij werd de belangstelling voor de brandstofcel van grootschalige kapitaalkrachtige spelers van groot belang geacht omdat er voor de introductie van een nieuwe technologie grote kapitaalkrachtige investeerders nodig zijn. Voorts werd als voordeel van waterstof genoemd dat er bij een gasvormige energiedrager opslag mogelijk is. Elektriciteit moet worden geproduceerd als er vraag is. De technische afstemming tussen vraag en aanbod is complex en kapitaalintensief. Elektriciteit wordt mede om die reden als een veel kwetsbaarder systeem gezien aangezien het sneller uit kan vallen. De betrouwbaarheid van brandstofcellen werd door sommigen hoog ingeschat. Bijkomend noemde een enkeling dat de elektriciteitskabels veel duurder zijn dan gasleidingen en dat gas makkelijker te transporteren is omdat het minder afstemming vereist (daarom zijn er meer vergunningen nodig om elektriciteit te transporteren).

#### *Problematisch bij 'Waterstof-blauwdruk'*

Voor een aantal respondenten was het niet duidelijk hoe in de hoeveelheden waterstof kan worden voorzien om een waterstofeconomie draaiende te houden. Indien hierin zal worden voorzien door middel van elektrolyse uit de overcapaciteit aan duurzame energie werd het logisch gevonden om waterstof enkel als opslagmedium te gebruiken. De conversie van de primaire energiedrager naar waterstof werd als een probleem beschouwd. Een probleem van geheel andere aard werd gezien in het middels warmtenetten voortschrijdende beslag dat elektriciteit legt op de totale infrastructuur, hierdoor wordt de draagkracht voor een wijdvertakt gekoppeld gasnetwerk steeds kleiner. Vinex-lokaties worden de volgende 5 tot 10 jaar gebouwd en een enkele respondent vroeg zich af wat er daarna nog allemaal aan nieuwbouw bij zou kunnen komen. Op deze locaties wordt een infrastructuur neergelegd die in de komende 40 jaar afgeschreven zal moeten worden. Dat betekent dat er in die periode geen infrastructuur voor waterstof aangelegd kan worden. Gas zou dan alleen kunnen blijven bestaan waar er lokaal concurrentievoordelen bestaan.

#### *Onderbouwing voor de 'Elektrische blauwdruk'*

Door een aantal respondenten werd opgemerkt dat elektriciteit in het gebruik erg schoon en onzichtbaar is. Een enkele respondent merkte nog op dat het infrastructurele voordelen oplevert om de opwekking vrij ver van de eindverbruiker te zetten.

### *Problematisch bij de 'Elektrische blauwdruk'*

Volgens enkele respondenten is de warmtekrachtcombinatie minder makkelijk uit te voeren als er alleen maar een infrastructuur voor elektriciteit is. Die infrastructuur is er op het moment niet en volgens enkele respondenten moeten de netten gigantisch worden uitgebreid als alles elektrisch zou worden. Daarbij ontstaan er grote verliezen in het elektriciteitssysteem en zal er een grote capaciteit nodig zijn om vraag en aanbod op elkaar af te stemmen. Als duurzame energie een grotere rol moet krijgen op basis van een 'all electric' variant dan is er een back-up nodig van elektrische stroom omdat duurzame energie vaak op het verkeerde moment of in de verkeerde tijd van het jaar wordt geproduceerd. Door de noodzaak van een back-up zijn er dus ook dubbele kosten. Tenslotte voorziet een aantal respondenten problemen in de transportsector, wat betreft elektrische voertuigen. Zowel het vermogen als de oplaadsnelheid zijn daar nog te nemen barrières.

### *Algemeen*

Op dit moment leven er nauwelijks concrete verwachtingen ten aanzien van de meest extreme blauwdrukken (totale elektrische- of totale waterstofblauwdruk) waarin sprake zal zijn van slechts één infrastructuur. Er is een te groot risico dat een focus op een van beide wel eens een dood spoor zou kunnen zijn. Daar komt de mogelijke dreiging bij van 'lock-in' problemen indien er op het andere spoor technologische doorbraken zouden plaatsvinden. Kleinschalige spelers houden zich vooral bezig met een optimale strategie op de korte termijn (5 tot 10 jaar<sup>4</sup>). De meeste respondenten kozen dan ook voor de blauwdruk 'Bestaande Infrastructuur'. Een aantal respondenten voorzagen na of rondom de periode van vijftig jaar een ontwikkeling in de richting van de totaal elektrische blauwdruk of de totale waterstofblauwdruk. Vaak correleerde het accent of de voorkeur met de achtergrond van de respondent. Deze correlatie wordt onderstreept doordat een aantal respondenten zich (in de toekomst) vooral richten op de handel in energie. Zij stonden om die reden vrij onverschillig tegenover de energievoorziening van de toekomst omdat zij van mening waren te kunnen volstaan met het volgen van de markt.

### *Wie bepalen hoe de energievoorziening van de toekomst eruit ziet?*

Van de twaalf nationale respondenten waren er tien van mening dat de markt bepaalt hoe de energievoorziening van de toekomst eruit ziet. Zonder uitzondering werd daarin enige nuance aangebracht door eraan toe te voegen dat de overheid de randvoorwaarden schept waarbinnen de markt kan opereren of de marktkansen schept waar de bedrijven op in kunnen spelen. Van deze tien waren er vier die de aanbodzijde van de markt hierin een leidende rol toedichten. Twee waren er van mening dat juist de vraagkant de richting bepaalt. De overige vier waren van mening dat het een soort wisselwerking tussen producenten en consumenten zal zijn.

Over de rol die de overheid speelt of moet spelen werd verschillend gedacht. Vier van de totale groep respondenten waren van mening dat de overheid de grootste invloed heeft. De overheid, waarbij de Europese context een steeds groter gewicht in de schaal legt, bepaalt volgens hen de richting waarin de energievoorziening van de toekomst zich zal gaan begeven. Verder werd door een enkele respondent de indirecte invloed van milieubewegingen nog genoemd. Zij kunnen de marketing voor duurzame energie ondersteunen en de energiebedrijven helpen met het creëren van een nieuwe markt. Volgens sommigen, maar daarover waren de meningen verdeeld, zou deze invloed toe moeten nemen in een geliberaliseerde markt waarin consumenten zelf kunnen kiezen. Tenslotte, zo meenden enkele respondenten, worden de energiebedrijven in een geliberaliseerde markt voor hun productiemiddelen steeds afhankelijker van de stand van de technologie en de leveranciers daarvan. Om die reden zou de visie van een op de toekomst gerichte technologieproducent een niet te onderschatten invloed kunnen hebben op de energievoorziening van de toekomst.

---

<sup>4</sup> Afgezien van warmtenet-projecten waarbij in infrastructuur wordt voorzien die een verwachte levensduur heeft van ongeveer 40 jaar.



## 5.2 Technologieën

Het allerbelangrijkste criterium in de investeringsbeslissing voor (nieuwe) technologie is volgens alle respondenten kosteneffectiviteit hetgeen neerkomt op een goede waarborg voor een concurrerende prijs van de gegenereerde energie. Betrouwbaarheid om de leveringszekerheid te kunnen garanderen kwam voor zes respondenten op de tweede plaats. Dit betreft zowel de technische stabiliteit als de economische levensduur. Daarnaast herbergt het begrip volgens een enkele respondent nog de veiligheid van de omgeving en het personeel maar ook het milieu voor zover er rekening moet worden gehouden met ontmantelingskosten. Milieuaspecten kunnen bij de investeringsbeslissing worden betrokken als een mogelijkheid om de marketing te ondersteunen. Groene stroom is hier een voorbeeld van. Tenslotte waren voor een aantal respondenten de marktvoorwaarden op het moment van aanschaf, de verwachtingen voor de toekomst en de randvoorwaarden die de overheid oplegt, van belang.

In de onderstaande tabel staat een overzicht van mogelijke technologieën waarbij telkens is aangegeven hoe de respondenten het belang van deze technologie (van onbelangrijk (--) tot zeer belangrijk (++)) op dit moment inschatten met betrekking tot de energievoorziening van de toekomst. Zonne- en windenergie zijn niet in het onderstaande schema opgenomen omdat deze als vanzelfsprekend worden verondersteld. De cursief weergegeven mogelijkheden zijn opgevoerd door de respondenten.

Tabel 5.3 *Beoordeling technologieën*

Technologie	++	+	0	-	--
<i>Elektriciteitsproductie</i>					
Brandstofcellen, van micro tot groot, op aardgas, SNG, waterstof of vergaste biomassa	7	5	2		
Combinatie van gasturbines met brandstofcellen (hoog elektrisch rendement)	2	9	3		
Coproductie van elektriciteit, warmte en chemische producten (trigeneratie, groene synthese WKK) op basis van aardgas, kolen of biomassa	2	5	6	1	
Hoge Temperatuur Reactor (nucleair, inherent veilig)	1	1	5	4	3
<i>Brandstofproductie</i>					
Methanol via vergassen van biomassa/aardgas/kolen		3	7	3	1
Benzine via vergassen biomassa/aardgas/kolen (Fischer Tropsch)		6	6	2	
Synthetisch aardgas uit vergaste (met lucht of waterstof) biomassa	1	5	6	2	
Biocrude uit biomassa door pyrolyse of HTU	1	1	8	4	
Ethanol uit biomassa door fermentatie		2	10	2	
Waterstof uit aardgas, met CO <sub>2</sub> -verwijdering	1	4	7	1	1
Waterstof via biophotolyse	1	1	11	1	
<i>Warmteproductie</i>					
Gasgedreven warmtepompen	1	3	4	6	
Elektrische warmtepompen	1	6	6	1	
Ketels op waterstof of biogas		2	7	1	3
<i>Geothermische energie</i>					
	2	1			
<i>Voertuigen</i>					
Brandstofcelvoertuigen op:	benzine	5	3	6	
	waterstof	3	5	6	
	methanol		3	10	1
Auto's met verbrandingsmotor op:	biodiesel	2	1	8	1
	RME/DME			12	2
	ethanol	1		8	5
<i>Hybride auto</i>					
<i>Elektrische auto op batterijen</i>	1				

De brandstofcel is de meest populaire toekomstige vorm van elektriciteitsopwekking. De verwachtingen voor deze technologie waren met name hoog gespannen aangezien verschillende multinationals (met name in de auto-industrie) er zich voor interesseren. Dit zou in een versnelde ontwikkeling kunnen resulteren. Niet zelden is dat een signaal dat een technologie zich in de expansiefase begeeft. Ook de overige potentiële technologieën scoren vrij redelijk. Een uitzondering vormt de nucleaire HTR. Er zijn eigenlijk maar twee respondenten uitgesproken voor terwijl er zeven uitgesproken tegen waren. Recente ongelukken met nucleaire centrales en het nog altijd niet bevredigend opgeloste afvalprobleem zijn hier debet aan. Het gebrek aan politiek draagvlak vormt bij nucleaire technologieën een groot bezwaar.

In de categorie brandstoffen worden vooral substituten voor status-quo-achtige energiedragers als benzine en gas als kansrijk beschouwd. De uitschieter voor waterstofproductie met CO<sub>2</sub>-afvang is waarschijnlijk complementair aan de populariteit van de brandstofcel. De afgevangen CO<sub>2</sub> zal worden opgeslagen in lege aardgasvelden of aquifers. Er vinden momenteel onderzoeken plaats of het rendabel kan zijn om met behulp van CO<sub>2</sub>-injectie methaan uit steenkolenvelden te winnen. Opvallend is dat er weinig steun is voor HTU (Hydro Thermal Upgrading), een specifieke vorm van pyrolyse, omdat dit een technologie van Nederlandse bodem betreft.

Warmteproductie kent een concurrentie tussen de gas- en elektriciteitsgedreven warmtepompen. De respondenten hadden een voorkeur voor de elektrische warmtepomp. Het moeten technisch betrouwbare systemen zijn en de warmtepompen hebben op dat gebied nog geen goede reputatie. Opvallend was dat drie respondenten geothermische warmte als een toekomstige mogelijkheid zagen om in hun warmteproductie te kunnen voorzien.

Tenslotte dachten de respondenten dat de brandstofcel zich uitstekend zou lenen voor mobiele toepassingen. De scores zijn aanzienlijk hoger dan voor de conventionele Otto-motor. Opvallend is hierbij dat een conventionele brandstof als benzine het best scoort. Het is eenvoudiger een nieuwe technologie te introduceren als de complementaire distributieketen niet aangepast hoeft te worden. Er werd slechts door een enkeling opgemerkt dat de geheel of gedeeltelijk door elektriciteit aangedreven auto bij de voertuigen ontbreekt.

#### *Welke rol hebben de spelers bij de innovatie en implementatie van technologie?*

De rol die energiebedrijven hierin voor zichzelf zien kan worden onderverdeeld in twee groepen van ongeveer dezelfde grootte. De eerste groep speelt een meer actieve rol die bestaat uit het meteen oppakken en faciliteren van doorbraken voor zover die binnen de bedrijfsstrategie en de visie van het energiebedrijf vallen. De tweede groep neemt een meer afwachtende houding aan die bestaat uit het volgen van de markt. Bij een aantal respondenten valt daaronder tevens het scannen van ontwikkelingen op de buitenlandse markten. Afwachten betekent voor de meeste respondenten wel dat er een bepaalde mate van onderzoek wordt gedaan om bepaalde vaardigheden op te bouwen zodat er snel op een eventuele doorbraak kan worden geanticipeerd. Als er dan prototypes of pilots op de markt worden gebracht komt ook deze groep in beeld. Deze verschillen zijn niet altijd direct te verklaren uit de aard of schaal van de bedrijven. Qua technologiestrategie zijn nationale grootschalige energiebedrijven echter het meest vooruitstrevend. Bij kleinschalige bedrijven was de technologiestrategie vaak toegespitst op hun eigen kerncompetenties. Tenslotte ontbrak de technologiestrategie vaak bij zowel groot- als kleinschalige energiehandelaren, zij volgen de marktontwikkelingen en concentreren zich op de handel.

In het algemeen waren de respondenten van mening dat het in een liberale markt steeds moeilijker zal zijn voor kleinschalige bedrijven om zelf aan onderzoek te doen. Door de versnippering zal er minder frequent onderzoek naar steeds doelgerichte toepassingen worden gedaan. De tijdshorizon van onderzoek naar technologieën zal aanzienlijk worden verkort. Daarbij zal het zoeken naar nieuwe mogelijkheden een belangrijker plaats innemen ten opzichte van eigen onderzoek. Maar liefst tien respondenten waren er echter wel van overtuigd dat er meer prikkels zijn om niet op achterstand te raken. Opvallend is dat vooral de kleinschalige binnenlandse bedrijven en de grootschalige buitenlandse bedrijven aangeven zelf geen onderzoek te doen naar

nieuwe technologieën en zich op de handel in energie richten. Een respondent voorzag een horizontale integratie van de R&D bedrijven in Europees verband. Een ander gaf aan dat schaal-grootte onmisbaar is bij het voeren van eigen R&D-afdeling en dat dit gegeven een belangrijke motivatie vormt in het streven naar schaalvergroting. Tenslotte merkte nog één respondent op dat de verwachte lagere prijzen op gespannen voet komen te staan met de toenemende noodzaak voor R&D.

#### *Is de toekomst decentraal of centraal?*

Acht van de respondenten waren van mening dat decentrale opwekking in de energievoorziening van de toekomst een prominente plaats zal innemen. Vijf geloofden daarentegen dat er een combinatie van beide productiemethoden zal ontstaan. Slechts één respondent was ervan overtuigd dat de efficiencywinsten bij grootschalige productie uiteindelijk toch aan het langste eind zouden trekken.

### 5.3 Strategie

Volgens de meeste respondenten bepalen korte termijn strategieën de dagelijkse bedrijfsvoering, energiebedrijven zijn daar eigenlijk automatisch mee bezig. Bij Nederlandse energiebedrijven staat het op korte termijn creëren van aandeelhouderswaarde vaak centraal. Cruciaal is voor de meeste energiebedrijven het behouden van hun marktaandeel. Een afnemer kijkt niet verder dan de oplossing van zijn eigen probleem, wat bestaat uit een warmte- of krachtvraag, een bepaalde combinatie van chemicaliën of de afvalverwerking. Een energiebedrijf moet de kerncompetenties ontwikkelen om de meest geschikte oplossing onder handbereik te hebben. Daaronder kan de aanwending van een nieuwe of modificatie van een bestaande technologie vallen. Eén van de respondenten gaf de volgende definitie: korte termijn strekt zich uit tot mogelijkheden waarvan binnen redelijke tijdshorizon (in zijn geval één jaar) een commerciële toepassing te verwachten valt.

Op de lange termijn zeiden de respondenten minder naar de individuele afnemers maar meer naar de behoeften die er dan in de markt zijn te kijken. De verwachte ontwikkelingen spelen daarbij een vooraanstaande rol. De lange termijn richt zich volgens de meeste respondenten op een periode van vijf tot tien jaar. Energiebedrijven willen graag weten wat er in die periode op de markt komt. Omdat de markt en de regelgeving op dit ogenblik nog niet transparant genoeg zijn nemen bedrijven een afwachtende houding aan. De energiebedrijven willen zo weinig mogelijk speculeren. Ze zullen zich ervoor hoeden voor oplossingen te kiezen waarmee ze zich in de toekomst helemaal vastzetten. Enkele grootschalige energiebedrijven focussen zich op meerdere sporen. Mogelijke sporen die binnen vijf jaar geld op kunnen leveren worden in toekomstscenario's meegenomen. Deze sporen moeten binnen hun eigen ontwikkelingsbandbreedte passen. Daarnaast moeten ze in overeenstemming zijn met de lange termijn strategie voor zover ze die hebben. Vaak bleek er slechts een lange termijn strategie te bestaan in de hoofden van de mensen die er werken. Een enkele respondent bleek geen strategische afdeling te hebben.

### 5.4 Milieu

De blauwdruk die volgens de respondenten het meest efficiënt de CO<sub>2</sub>-emissie kan reduceren is meestal dezelfde blauwdruk die zij aan het begin als ideaal zagen. Slechts in een enkel geval stapte een respondent over.

De CO<sub>2</sub>-emissiereductie speelt volgens de respondenten een rol bij te nemen investeringsbeslissingen in de vorm van randvoorwaarden die door de overheid zijn vastgesteld. Over de wijze waarop de overheid dit kan doen werden genoemd de meerjarenafspraken en de benchmarkingwet. De meeste respondenten waren van mening dat de overheid voornamelijk voorwaarden moet scheppen en de invulling moet overlaten aan de markt. De meningen waren verdeeld over het gebruik van op efficiëntie gerichte subsidies.

Dergelijke subsidies worden meegenomen in de rentabiliteitsberekeningen en bepalen daardoor welke technologieën in aanmerking komen. Sommige respondenten beschouwden een dergelijke maatregel als te direct sturend op een bepaalde technologiekeuze en vonden deze keuze meer een taak voor de markt.

Vele respondenten vonden uniform ingevoerde verhandelbare emissierechten of de stimulering van duurzame energie door middel van groencertificaten een goed marktconform instrument, maar enkele respondenten twijfelden aan de haalbaarheid o.a. door de initiële verdeling, controleerbaarheid en het erin betrekken van de Europese context. De meeste distributeurs en handelaren zagen in dergelijke marktconforme instrumenten wel nieuwe mogelijkheden voor hun eigen bedrijf.

Een aantal respondenten deelden de mening dat verscherpte milieueisen kunnen leiden tot concurrentievoordelen op meso/micro-niveau. Hierbij werd echter wel aangetekend dat het beleid, de instrumenten en randvoorwaarden zodanig geformuleerd moeten zijn dat het innovatie stimuleert. Als op zichzelf zeer efficiënte processen door relatief grote investeringen nog efficiënter worden gemaakt dan is daarvoor geen markt omdat het weinig toegevoegde waarde levert. Enkele respondenten noemden in dit kader ook de Joint Implementation waar je met minder geld veel meer milieurendement kunt bereiken. Als het instrument zo wordt ingericht dat het op termijn kan leiden tot producten die in de wereld kunnen worden afgezet, dan is dat een investering voor de toekomst. Er zal echter steeds meer rekening moeten worden gehouden met de Europese context. Een aantal respondenten noemde in dit kader hun bedenkingen tegen de voorgenomen maatregelen met betrekking tot de kolencentrales in Nederland. De voorgenomen maatregelen stimuleren geen vernieuwing en resulteren in vermijdingsgedrag. In dit verband werd er tevens gewezen op de invloed van de technologieproducenten. Volgens enkele respondenten zou het mogelijk zijn dat technologieproducenten zouden afspreken een milieuvriendelijke technologie te implementeren en daarvoor een vergoeding ontvangen. De consequenties daarvan zouden zijn dat alle producenten deze prijsverhoging moeten doorberekenen en er dus geen onevenredige concurrentienadelen door ontstaan.

Tenslotte zijn alle respondenten het erover eens dat groene stroom in de toekomst zal worden gebruikt als een marketinginstrument. Bedrijven kunnen door op het gebied van duurzame energie toonaangevend te zijn concurrentievoordelen creëren. Dit zal echter met name voor de kleinverbruikersmarkt opgaan. Grotere bedrijven kunnen niet altijd laten zien dat zij groene stroom afnemen en dan is de communicatiewaarde van zo'n product niet groot genoeg om de extra kosten te rechtvaardigen. De respondenten waren het erover eens dat er een markt voor groene stroom is waarmee energiebedrijven zich kunnen profileren.

## 5.5 Conclusies

### *Bestaande Infrastructuur blauwdruk de meest waarschijnlijke*

Ten aanzien van de blauwdrukken kan worden gesteld dat de Bestaande Infrastructuur blauwdruk als meest waarschijnlijke blauwdruk wordt gezien door spelers in de markt. Ontwikkelingen in de richting van een waterstofblauwdruk of een elektrische blauwdruk zien de meeste respondenten eventueel in een meer genuanceerde vorm vanuit deze Bestaande Infrastructuur ontstaan. Voor de extreme elektrische- en waterstofblauwdrukken wordt de tijdshorizon van 50 jaar als wellicht te kort ervaren. Beperkingen in de mogelijkheden worden tevens veroorzaakt doordat de infrastructuur zoals die er nu ligt een enorm kapitaal vertegenwoordigt en om die reden zo geleidelijk mogelijk zal worden afgeschreven. Aangezien het volgens sommige respondenten niet duidelijk is wie het voortouw zou moeten nemen en wie het moet bekostigen indien er aanpassingen aan de infrastructuur wenselijk zijn, heeft het Bestaande Infrastructuur scenario een natuurlijk voordeel.

### *Tendens naar decentrale (kleinschalige) opwekking*

De liberalisering heeft tevens consequenties voor het zelfstandig uitvoeren van onderzoek naar innovatieve technologieën door energiebedrijven. In het kader van een toegenomen druk tot efficiëntie zullen onderzoeken naar nieuwe technologieën een steeds kortere tijdshorizon kennen. Het eigen onderzoek zal een sterke focus op de toegevoegde waarde krijgen en zal steeds nadrukkelijker moeten passen in de lange termijn strategie van een energiebedrijf. Met betrekking tot investeringsbeslissingen is er een soort spanningsveld ontstaan tussen enerzijds de betrouwbaarheid van bewezen technologieën en anderzijds de innovatieve technologieën waarmee energiebedrijven zich kunnen onderscheiden op allerlei terreinen. Bij centrales met een lange levensduur of weinig mogelijkheden om te upgraden zijn de overgangskosten te hoog om in het geval van een beoordelingsfout op de ideale route terug te grijpen. Wellicht hangt deze padafhankelijkheid samen met de sterke voorkeur in de markt voor decentrale (kleinschalige) productie.

### *Grote onzekerheid over de toekomst van de energievoorziening leidt tot een focus op de korte termijn*

Het tempo waarin omgevingsveranderingen plaatsvonden is in de energiesector de laatste jaren onder invloed van de liberalisering fors toegenomen. De onzekerheid waarmee de energiebedrijven worden geconfronteerd is dan ook groot. Dit betreft niet alleen de marktonzekerheden, ook de overheid blijkt niet altijd een even consistent beleid te voeren. Het management van energiebedrijven zal onder een toenemende concurrentiedruk steeds sneller beslissingen moeten nemen. Bovendien dwingt liberalisering hen juist om vooral te focussen op efficiëntie waardoor het gevaar bestaat dat er minder aandacht zal worden besteed aan het inzicht in de toekomst. Een aantal van de kleinschalige spelers wees erop dat er voor hen in het voortraject vooral een volgende rol is weggelegd aangezien zij niet voldoende invloed hebben om de ontwikkelingen met betrekking tot de energievoorziening in de toekomst te kunnen sturen.

Ook de grootschalige spelers zijn huiverig om het voortouw te nemen aangezien de status-quo in het verleden vaak in hun voordeel heeft gewerkt en zij ondanks hun aanzienlijke investeringskracht niet de illusie hebben dat zij de markt kunnen maken. In het besef dat deze inertie hen wel eens parten zou kunnen spelen, ten opzichte van kleinere flexibele spelers met een onevenredig grote ambitie, volgen sommigen van hen een technologiestrategie waarin meerdere sporen zijn opgenomen. Teneinde inzicht in de toekomst te verwerven investeren zij in fundamenteel onderzoek met behulp van toekomstscenario's. Op de grootschalige nationale energiebedrijven na zijn er echter weinig energiebedrijven met een expliciete technologiestrategie.

Tenslotte zijn zowel groot- als kleinschalige spelers bang voor het nemen van cruciale investeringen die invloed hebben op de richting die de onderneming de komende jaren uitgaat. Zijn dergelijke keuzes eenmaal gemaakt dan zijn de ondernemingen bijna gedwongen de gekozen strategie verder uit te werken. Zouden zij hun strategie willen herzien dan brengt dat weer nieuwe bakstenen met zich mee die in een vrije markt eenvoudigweg toe kunnen worden gerekend aan de veroorzaker ervan<sup>5</sup>. Om dit 'lock-in'-effect te voorkomen kunnen energiebedrijven inzicht in de toekomst verwerven en op basis daarvan kerncompetenties ontwikkelen waarmee zij zich snel aan een veranderende markt kunnen aanpassen. Energiebedrijven zullen zoveel mogelijk proberen beheersbare risico's in hun portfolio op te nemen. Op een markt vol onzekerheden leidt dit automatisch tot een focus op de korte termijn.

### *Duurzame energie vormt de groeimarkt van de toekomst*

Het streven naar schaalvoordelen door middel van horizontale of verticale integratie is voor een lange termijn strategie niet zaligmakend. Het verwerven van de juiste kerncompetenties om snel in te kunnen spelen op de ontwikkelingen in de energiemarkt is minstens zo belangrijk. Deze kerncompetenties zullen voor de energiebedrijven niet alleen liggen op het gebied van fysieke energielevering en een goede inkooppositie. Kerncompetenties in handel, marketing en risico-

---

<sup>5</sup> In de literatuur wordt dit vaak aangegeven met 'path dependency' (Barney, Hesterly, 1996).

management worden minstens zo belangrijk en vormen mogelijkheden om groei te realiseren in een verdringingsmarkt. Hieruit kan worden geconcludeerd dat het inzicht in de technologie van de toekomst vooral van belang is voor producenten en meer nog de ontwikkelaars van technologie omdat zij een kerncompetentie in technologie c.q. fysieke energielevering hebben. Daarnaast scheppen milieumaatregelen van verschillende aard om duurzame energie te bevoordelen nieuwe mogelijkheden voor duurzame energieproductie. Dit kan tevens interessant zijn voor energiebedrijven die meer een focus op de handel in energie hebben. Sommige energiebedrijven hebben in duurzame energieproductie (of zelfs in duurzame energieproductietechnologie) geïnvesteerd alleen om hierin een kenniscompetentie op te bouwen. Mocht de markt vragen om meer duurzame energie dan zouden zij daarop in kunnen spelen. Grootschalige duurzame energieproductie zou zowel door de energieproducenten als de energiehandelaren kunnen worden opgepakt, kleinschalige duurzame energieproductie zal voorbehouden blijven aan de energiehandelaren.

De technologieproducenten zijn erg gefocuseerd op productinnovatie mede omdat technologieën een steeds kortere levenscyclus krijgen. Deze bedrijven worden in de markt gezien als de aanjagers van technologische vernieuwing. Omdat de technologieproducenten niet in dezelfde bedrijfstak opereren als de energieproducenten is er een grotere kans op een discontinue technologische verandering. De liberalisatie van de energiemarkt blijkt op alle onderscheiden deelmarkten te resulteren in een fellere concurrentiestrijd waarbij milieuproducten door alle deelmarkten worden gezien als een groeisector.

#### *Voorkeur voor groencertificaten, verdeeldheid over subsidies*

Over de wijze waarop duurzame energie het best bevoordeeld kan worden bestaat verschil van mening. Over het algemeen zijn de respondenten het er wel over eens dat de beschikbare beleidsinstrumenten zoveel mogelijk moeten worden geheroriënteerd naar een vrije markt. Er bestaat anders een mogelijkheid dat de maatregelen tot onevenredige concurrentienadelen leiden. Goede marktconforme instrumenten zijn in dit verband het invoeren van uniform verhandelbare emissierechten, reductie of groencertificaten. De meeste distributeurs en handelaren zagen in dergelijke marktconforme instrumenten nieuwe mogelijkheden voor hun eigen bedrijf. Over subsidies waren de meningen erg verdeeld en ongeveer de helft van de respondenten vond subsidie wel een geëigend middel mits deze effectief is.

## 6. MAATSCHAPPELIJKE WRIJVINGSFACTOREN

### 6.1 Inleiding

Een van de geïnterviewden voor dit hoofdstuk merkte op dat de energievoorziening minder maakbaar is dan in de blauwdrukken wordt gesuggereerd. Inderdaad impliceert het concept van een blauwdruk een zekere mate van maakbaarheid. Immers, net als een ingenieur die na het opstellen van een pakket van eisen een blauwdruk van het uiteindelijk product maakt, presenteren wij blauwdrukken van energievoorziening.

Maar in dit rapport wordt 'blauwdruk' niet alleen vanuit dit beta-perspectief geconceptualiseerd. Centraal in dit en het vorige hoofdstuk staan juist de strategische belangen en positionering van belangrijke partijen in het speelveld van de energievoorziening. Veel meer dan een maakbaarheidsstructuur ligt hier een onderhandelingsstructuur aan ten grondslag. Dit hoofdstuk tracht in kaart te brengen welke mogelijke maatschappelijke belangen er op het spel kunnen komen te staan en tot welke conflicten dat kan leiden in de verschillende blauwdrukken. Er wordt beoogd inzicht te geven in 'maatschappelijke wrijvingsfactoren' van de blauwdrukken.

Het succes van technologische innovaties, hoe veelbelovend ze ook zijn, is nooit alleen afhankelijk van technische en economische factoren. Zeker als het gaat om radicaal nieuwe technologieën of grootschalige innovaties. Gebruikers zullen gedurende experimenten en demonstraties 'leren' wat nieuwe technologieën mogelijk maken of wat ze juist beletten (Lundvall, 1988). Omgekeerd leren producenten wat consumenten en andere belanghebbenden verwachten. Via marktonderzoek of demonstratieprojecten verzamelen ze informatie en feedback (Akrich, 1995). Ook overheidsinstanties en diverse soorten maatschappelijke organisaties zijn dikwijls betrokken bij (grootschalige) technologische ontwikkelingen. Deze actoren proberen een inschatting te maken van mogelijke maatschappelijke effecten van nieuwe technologieën om daarmee invloed uit te oefenen op de ontwikkeling en introductie van technologie (Schot, 1992).

Van belang voor dit onderzoek zijn enerzijds de maatschappelijke implicaties van technologieën in de verschillende blauwdrukken en anderzijds opvattingen van belangrijke actoren in het maatschappelijk krachtenveld. Het eerste deel van het onderzoek (Paragraaf 6.2) zal gewijd zijn aan enkele sleuteltechnologieën voor de toekomst, die karakteristiek zijn voor de verschillende blauwdrukken. Uitgangspunt is dat technologie niet maatschappelijk neutraal is, maar bepaalde houdingen, handelingen en offers veronderstellen bij gebruikers en andere actoren. Dit uitgangspunt biedt de mogelijkheid om een indicatie te krijgen van mogelijke maatschappelijke wrijvingsfactoren van de onderzochte sleuteltechnologieën.

In het tweede deel (Paragraaf 6.3) komen de standpunten van de belangrijkste actoren ter sprake. Dit deel schetst een beeld van het gewicht van de verschillende belangen (pro) en wrijvingsfactoren (contra), die met de verschillende blauwdrukken op het spel staan. De toekomstige energievoorziening wordt daarbij beschouwd als een maatschappelijk krachtenveld. Het gaat niet zozeer om de fysieke condities die een bepaalde blauwdruk mogelijk maken, maar om het maatschappelijk draagvlak ervoor. Door de actoren in dit krachtenveld te plaatsen wordt duidelijk welke polen sterk bezet zijn en welke minder.

Per blauwdruk wordt in het derde deel (Paragraaf 6.4) de balans opgemaakt. De blauwdrukken worden hier opgevat als een matrix van technologieën en actoren. Dit resulteert uiteindelijk in een genuanceerd beeld van de kansen voor maatschappelijke inbedding van de drie blauwdrukken.

## 6.2 Maatschappelijke implicaties van sleuteltechnologieën

Technologieën staan niet in een maatschappelijk vacuüm maar stellen voorwaarden, verplichten, schrijven voor en sluiten uit. Een zonnecel moet zon vangen. Dus mag er geen object voor staan dat schaduw veroorzaakt, moet hij op de zon georiënteerd zijn, levert hij 's nachts geen elektriciteit. Dit heeft consequenties voor architecten, installateurs, elektriciteitsgebruikers, etc. Hoe meer en moeilijker de eisen, die een technologie aan zijn omgeving stelt, hoe meer maatschappelijke wrijving er kan ontstaan. En hoe meer verschillende belangen in het socio-technische script geschreven staan, des te moeizamer de maatschappelijke inbedding zal verlopen. Deze paragraaf stelt de maatschappelijke implicaties van een aantal energietechnologieën, en de daarmee samenhangende belangen, aan de orde. De volgende paragraaf zal nader ingaan op het uitdragen van die belangen door maatschappelijke organisaties en onderzoeksinstellingen.

### 6.2.1 Fotovoltaïsche energie (PV)

Het grootste obstakel voor de grootschalige introductie van fotovoltaïsche (PV) energie is de hoge prijs. Maar omdat veel partijen veel verwachtingen van PV hebben bestaat er een grote gezamenlijke actiebereidheid om de marktintroductie te bevorderen. Dit blijkt bijvoorbeeld uit de snel groeiende Nederlandse PV-markt. In 1990 was er één modulefabrikant op pilot-schaal actief en er bestonden geen industriële bedrijven die componenten produceerden. Nu is er een grote modulefabrikant, terwijl er twee kandidaten serieus productie voorbereiden. Tientallen bedrijven houden zich bezig met netkoppeling of inpassing in het dak. Anno 1999 zijn alle energiebedrijven en vele projectontwikkelaars in meer of mindere mate actief met zonnestroom bezig (Cobouw, 6 april 1999).

Ondanks de grote gezamenlijke actiebereidheid stuit de groei van zonne-energie op problemen. Ad Brogtrop van het Projectbureau Duurzame Energie: 'Voor grootschalige toepassing in de bestaande bouw, op grote gebouwen of in hele wijken, heb je met zoveel partijen te maken - het energiebedrijf, eigenaren, de welstandscommissie - dat zulke projecten moeilijk van de grond komen' (Stromen, 5 maart 1999).

Er is een aantal knelpunten, dat nog veel aandacht vergt. Vooralsnog is er weinig kennis en ervaring omtrent bouwkundige aspecten als maatvoering, randafwerking en inpassing in daken, gevels of zonneschermen. Voor grootschalige toepassing van PV is een strakke oost-west rijtjesverkaveling wenselijk. De opbrengst van een zonnecel is optimaal wanneer hij op het zuiden is geplaatst. Maar dit kan huivering opwekken bij stedenbouwkundigen, die in hun creativiteit beperkt worden door nog meer functionele eisen. Ook voor bewoners heeft dit nadelen. Eén rij woningen heeft een tuin op het zuiden, de andere echter op het noorden.

De vraag is wie in de toekomst initiatiefnemer voor het plaatsen van zonnecellen zal zijn: energiebedrijven, de gemeenten/projectontwikkelaars of particulieren? Voor energiebedrijven zullen zonnecellen de eerste tijd niet winstgevend zijn. Wellicht is er voor hen een kans om een groen imago te tonen (vgl. vorige hoofdstuk). Dit zou in een geliberaliseerde markt een aantrekkelijke strategie kunnen blijken. Een leaseconstructie wordt ook genoemd als beheervorm (Van Kampen, 1999)

De mogelijkheden voor particulieren om zonnepanelen aan te schaffen bestaan inmiddels en zullen uitgebreid worden. Binnenkort komen stekkerklare panelen via de grote doe-het-zelf handels beschikbaar (de Boer, 1999). Er moeten dan wel afspraken gemaakt worden tussen energiebedrijven en particulieren over een terugleververgoeding. Op dit moment houden de hoge kosten en de lage afzet elkaar nog in een impasse en is er van grootschaligheid nog lang geen sprake. Om deze impasse te doorbreken heeft Greenpeace samen met o.a. Novem een grote inschrijfactie op touw gezet, waarbij 15.000 consumenten een gesubsidieerd zonnepaneel kunnen aanschaffen. Greenpeace hoopt met dit Solaris-project een eerste stap te zetten om de markt open te breken.



Ook gemeenten en projectontwikkelaars kunnen het initiatief nemen. Voor hen zijn zonnecellen interessant, vanwege de bijdrage aan strenger wordende EPL normen voor locaties. Zij kunnen de kosten doorberekenen in de woningprijzen. Uit onderzoek blijkt dat de meeste bewoners van huizen met PV geen pioniers zijn, maar gekozen hebben voor een huis, waar toevallig ook zonnepanelen opzitten. Er is sprake van 'passieve acceptatie' (Van Mierlo, 1995, 1999). Hoewel de kosten van zonnepanelen hoog zijn, lijkt dit erop te wijzen dat een huis met geïnstalleerde panelen niet onverkooptbaar is. De meerprijs is immers gering in verhouding tot de totale prijs van een nieuwe woning.

Naast gemeenten, architecten, stedenbouwers, energiebedrijven, aannemers en particulieren spelen woningbouwverenigingen een rol. Vooral voor pv-integratie in de bestaande bouw (maar natuurlijk ook in nieuwbouw) moeten zij overtuigd raken van het belang ervan. Bovendien hebben woningbouwverenigingen in de installatiefase de taak om aan bewoners uit te leggen wat er gaat gebeuren en wat voor hen de consequenties zijn (Van Mierlo, 1994). Concluderend is er weinig maatschappelijke weerstand tegen PV zonne-energie te verwachten. De vraag is vooral wie het initiatief neemt en wie daarvan de kosten draagt.

### 6.2.2 Windenergie

De ontwikkeling van technologie voor het opwekken van energie uit wind is zeer stabiel. In veel Europese landen groeit windenergie exponentieel. Internationale concurrentie speelt hierin zeker een rol. Maar er zijn ook duidelijke verschillen tussen landen te zien, die vooral van bestuurlijke aard zijn. In Engeland zijn de mogelijkheden om bezwaar te maken tegen nieuwe windparken bijvoorbeeld veel groter dan in Duitsland, waar elke gemeente een locatie aan moet wijzen.

Windenergie op land stuit vaak op problemen met de ruimtelijke integratie. Horizonvervuiling, geluidsoverlast, flikkering en schaduweffecten, verstoring van vogelbroedgebieden, belemmering van vogeltreklijnen en elektromagnetische interferentie met tv-, radio- en radarsignalen zijn argumenten die dikwijls in de discussie worden gebracht.

De knelpunten voor inpassing van windenergie concentreren zich daarom vooral op de keuze van locaties. Windenergie moet concurreren met andere mogelijke functies van bestemmingen. Wanneer een geschikte locatie gevonden is, moet dit opgenomen worden in bestemmings- en streekplannen. Natuur- en milieuorganisaties en omwonenden kunnen via inspraakprocedures bezwaar maken tegen zulke bestuurlijke besluitvorming (Duurzame energie in opmars voortgangsrapportage, 1999).

Windparken kunnen gecombineerd worden met andere functies (infrastructuur, landbouw enz.), zoals het geval is met het geplande grootschalige windpark langs de afsluitdijk. Maar bijvoorbeeld de Nederlands Vogelbescherming is hier fel tegen. Het zou het leefgebied voor tienduizenden trekvogels verkleinen, waaronder bedreigde soorten. 'Aan het uitmelken van de Waddenzee moet een einde komen,' aldus directeur Wanders (Metro, 9 november 1999).

Gecombineerd gebruik van landbouw en windenergie biedt veel mogelijkheden. Maar provincies geven in (concept) streekplannen vaak de voorkeur aan grootschalige windparken op vooraf aangewezen locaties, boven solitaire windturbines (LEI-DLO, 1999).

Van windenergie op zee valt veel te verwachten. De bovengenoemde motieven voor bezwaarschriften zullen hier een minder belangrijke rol spelen. En offshore windenergie kan, ondanks de hogere prijs, de positie van Nederlandse energiebedrijven ten opzichte van de buitenlandse concurrentie sterk verbeteren. Momenteel lopen er plannen voor een near-shore demonstratiepark, als een springplank voor offshore technologie. De aanpak hiervoor laat zien dat er geleerd is van de problemen die op land naar voren kwamen. Zo worden er van tevoren een Milieu Effect Rapportage en een Planologisch Actieplan gemaakt om conflicten in een later stadium te voorkomen.

Samengevat is het zoeken naar geschikte locaties voor windenergie op land een complexe zaak, vooral vanwege bestaande procedures en wetgeving. Offshore windenergie lijkt meer mogelijkheden te bieden.

### 6.2.3 Biomassa

Uit het oogpunt van maatschappelijke inbedding van biomassa verdient een onderscheid tussen afval en teelt aanbeveling. De technologie is vergelijkbaar, maar omtrent de input ervan bestaan grote verschillen. En met name de input vereist grote veranderingen in maatschappelijke structuren.

Afval (resthout industrie, bewerkt afvalhout, oud papier/karton, mest, riool slib, agrarische residuen) bestaat al zolang men consumeert, evenals de noodzaak afval te verwerken. Het idee om energie uit afval op te wekken is nieuwer. Biomassa installaties hebben echter wel te kampen met de erfenis van voormalig afvalbeleid, dat zijn neerslag vindt in de (overheidsgedomineerde) organisatie van de huidige afvalverwerking (bijv. recycling). Deze sector is daarom een concurrent van de biomassa installaties voor energieopwekking, zeker bij schaarste aan afval. Bovendien staat deze vorm van biomassa verwerking op gespannen voet met bestaand afvalpreventiebeleid. De implementatie van nieuwe installaties vereist de nodige procedurele afstemming op gemeenteniveau (vergunningen). Daarnaast heeft afval bij het publiek een bepaalde betekenis gekregen. Mensen zijn gewend geraakt aan afvalscheiding en zien het nut daarvan vooral in de mogelijkheid tot recycling (Collins, 1997).

Bij afvalverbranding komen schadelijke stoffen vrij. Afvalhout, bijvoorbeeld, is vaak bewerkt (geverfd, geïmpregneerd) en bij verbranding daarvan ontstaan emissies. Om deze redenen maken milieuorganisaties bezwaar tegen het predikaat 'duurzaam'.

Het potentieel reststromen zal te klein zijn als op zeer grote schaal biomassa ingezet wordt. Dan moet energieteelt (of import) dit aanvullen. Maar teelt doet een aanzienlijk beroep op ruimte. Plannen om productiebossen aan te planten voor elektriciteitsopwekking zullen daarom concurrentie ondervinden van andere bestemmingsplannen: (biologische) landbouw voor voedselproductie, natuurontwikkeling, bewoning, transportinfrastructuur enz. Deze belangen, die door verschillende belangenorganisaties en (semi-) overheidsinstanties verwoord worden, zijn bijzonder moeilijk met elkaar te rijmen. Bij toenemende schaarste aan ruimte zal dit veel maatschappelijke weerstand kunnen genereren.

Een andere belangrijke bron van maatschappelijke wrijving zijn de telers. Energieteelt met traditionele landbouwmethoden is lastig. Bij elektriciteitsproductie uit vergassing van hout zal geen jaarlijkse oogst plaatsvinden, maar een meerjaarlijkse. Populierenhout is bijvoorbeeld pas na een jaar of vier dermate volgroeid dat tot verwerking kan worden overgegaan. Landbouworganisaties willen echter liever eenjarige gewassen, omdat dit beter past in rotatieschema's en meer flexibiliteit in het omschakelen naar economisch aantrekkelijkere gewassen geeft. Telers produceren daarom liever eenjarige gewassen voor biobrandstoffen (koolzaak, suikerbieten) dan hout voor elektriciteitsopwekking (De Laat, 1996).

Conclusie: Biomassa uit afval is tot op redelijk grote hoogte beschikbaar. Aanvullingen uit binnenlandse teelt krijgen te maken met schaarste aan beschikbare grond en concurrentie van andere bestemmingen.

#### 6.2.4 Warmtepompen

Als maatregelen in de woningbouw de bewoners treffen kan dat weerstand opwekken. Als warmtepompen bijvoorbeeld niet voldoen aan de eisen die gesteld worden aan de bestaande cv-ketels, ondermijnt dit de ontvankelijkheid. Om die reden moest Nuon in 36 woningen in Nijmegen de warmtepompen vervangen door gasketels. De pompen bleken na een jaar teveel lawaai te maken en de verwarming en watervoorziening haperden (Stromen, 2 april 1999, p.6).

Kenmerkend voor een warmtepomp is dat zijn efficiëntie het hoogst is, wanneer het temperatuurverschil tussen de te verwarmen ruimte en de leidingen klein is en de oppervlakte groot. Daardoor zullen de warmtebronnen (leidingen in vloeren en muren) niet de hoge temperatuur bereiken van de traditionele radiatoren, gekoppeld aan een cv-ketel. Hieraan meten bewoners echter wel vaak af of de kachel aan is geslagen. Uit het project De Gelderse Blom, een Veenendaalse nieuwbouwwijk, kwam naar voren dat de gebruikers van warmtepompen soms de indruk hadden dat de pomp niet werkte, omdat bij een buitentemperatuur van 5°C de stooklijn slechts 30°C bedroeg. Dit gaf hun het idee dat de ruimte niet voldoende werd verwarmd. De bewoners gaven aan een warme radiator te willen voelen (De Wit, 1998).

De gebruiker krijgt te maken met vloer- en wandverwarming of evt. grotere radiatoren. Met het plaatsen van kasten en wandmeubels moet hier wel rekening mee gehouden worden. Ook beperkt vloerverwarming de flexibiliteit in het kiezen van een vloer (De Wit, 1998).

De warmtebron voor het systeem kan aanleiding geven tot problemen en maatschappelijke weerstand (Wassenaar, 1998). Indien gebruik wordt gemaakt van een luchtwarmtewisselaar zal er sprake zijn van een ventilator. Zowel het geluid als de warme luchtstroom zouden bewoners als hinderlijk kunnen ervaren. Daarnaast zal dit apparaat in de winter gaan berijpen en regelmatig moeten worden ontdooid. Ten slotte moet 's-winters, als de warmtevraag het hoogst is en de luchttemperatuur het laagst, een groot temperatuurverschil worden overbrugd. Dit gaat ten koste van de prestatie van de warmtepomp.

Een andere mogelijke warmtebron is het veel duurdere energiedak, dat warmte onttrekt aan lucht en regen. Deze dakbestemming vraagt, indien ook PV wordt toegepast, om een integratie van technieken. Een derde mogelijkheid is om warmte aan oppervlaktewater te onttrekken. Bezwaarlijk is de kans op vervuiling en bevrozing. Water met voldoende stroming en diepte, dat niet bevriest door de warmteonttrekking van de warmtepomp, is zelden dichtbij.

Tenslotte kan de bodem op een diepte van ongeveer tien meter als warmtebron dienen. Een dergelijke verticale bodemwarmtewisselaar is minder eenvoudig te installeren. Een vraag die in dit verband rijst is die naar de effecten van grootschalige toepassing. Indien veel pompen in een klein gebied warmte aan het grond- en oppervlaktewater onttrekken, zal dit dan geen complicaties opleveren met de watervoorziening? 'Aan verticale plaatsing zitten nogal wat nadelen. Er kunnen alleen relatief korte leidingdelen worden gebruikt, waardoor er veel koppelstukken nodig zijn die de kans op lekkages van glycol naar de bodem vergroten. Een ander nadeel is, dat bij verticale plaatsing de leidingen de kleilagen doorboren die het ondiepe grondwater van het diepe grondwater scheiden. Het ondiepe grondwater is vaak vervuild en het diepe grondwater gebruiken we voor ons drinkwater. Wanneer je de kleilaag daartussen met leidingen doorboort, kan er vuil ondiep grondwater in het dieper gelegen schone grondwater sijpelen' (Duurzame Energie 3, 1999).

Daarnaast zal bij de grootschalige toepassing van verticale warmtewisselaars gelet moeten worden op de kans en gevolgen op bevrozing van de ondergrond (Giljamse, 1999). Deze ondergrond wordt niet vanuit het binnenste van de aarde opgewarmd, maar vanaf de aardkorst, via het grondwater. Bij onvoldoende stroming moet de ondergrond echter actief opgewarmd worden. Voor de hand ligt om met dezelfde warmtepomp 's-zomers de ruimte te koelen en de warmte in de grond op te slaan. De mogelijkheid tot koeling kan de aantrekkelijkheid van warmtepompen vergroten.

Concluderend wijkt de manier van verwarming af van wat bewoners zijn gewend. Dit zou acceptatieproblemen op kunnen leveren. Bovendien kleven aan warmtepompen milieurisico's. De duurzaamheid ervan bij grootschalige toepassing moet nog aangetoond worden.

### 6.2.5 Warmtekracht

Toepassingen voor warmtekracht (op basis van aardgas, biogas of waterstof) zijn in verschillende sectoren en op verschillende niveaus denkbaar: industrie, glastuinbouw, utiliteit en woningbouw. De grootste bottleneck op dit moment lijkt de rentabiliteit. Cogen Nederland twijfelt sterk aan de doelstellingen, beschreven in de Uitvoeringsnota Klimaatbeleid (15.000 MW in 2010). 'Het kan alleen als de overheid eisen stelt aan het rendement van energieopwekking,' aldus Cogen op een persconferentie (16 september 1999).

De warmtevraag in de glastuinbouw, gebouwde omgeving en industrie is vijf tot zes keer zo groot als de elektriciteitsvraag. De warmte/kracht verhouding van de meeste w/k installaties ligt meestal in de buurt van één à twee, in sommige gevallen zelfs lager dan één. Met mini- of micro-w/k zal dus ofwel een elektriciteitsoverschot worden geproduceerd ofwel in slechts een beperkt deel van de gevraagde warmte kunnen worden voorzien (aangevuld door een piekinstallatie.) Het elektriciteitsoverschot zou kunnen worden teruggeleverd. De vraag is of het elektriciteitsnet daarvoor altijd geschikt is en/of dit kan tegen aantrekkelijke tarieven.

Een complicerende factor voor bijvoorbeeld huishoudens is echter de ongelijktijdigheid van de warmte- en elektriciteitsvraag. Ook op een mooie zomerse dag draaien wasmachine en koelkast. In dat geval staat de installatie niets te doen en moet alsnog elektriciteit worden ingekocht. Een alternatief is de combinatie van een micro w/k-installatie met een warmtepomp en een warmtebuffer (Woudstra, 1997). Zulke individuele geïntegreerde systemen zijn niet commercieel beschikbaar, dus er valt nog weinig te zeggen over de haalbaarheid.

Toch wordt er met een enkel nieuwbouwproject gestudeerd op de mogelijkheden. In Vleuten is een wijk met 900 woningen voorzien van warmte (ruimteverwarming en tapwater), die wordt opgewekt met een kleine warmtekracht centrale en twee warmtepompen, en verspreidt via een distributienet. De besparing ten opzichte van individuele hr-ketels zou 24% bedragen. De totale investeringskosten zijn tien miljoen gulden (De Boer, 1999). Uit een iets kleiner, maar verder vergelijkbaar project van Edon en Gasunie in Hoogkerk komt echter naar voren dat er geen energiebesparing is ten opzichte van een HR-combiketel (Lely, 1999).

Voor w/k installaties en gastoepassingen in het algemeen geldt dat veel aandacht besteed moet worden aan veiligheids- en omgevingsaspecten, zoals geïnstalleerde leidingen, behuizing, afvoerkanalen, luchttoevoer, ventilatie, gebruikswijze en consumentengedrag. Samengevat krijgt de invoering van veel kleinschalige w/k in de gebouwde omgeving te maken met grote, complexe investeringen (w/k-eenheden, warmtepompen, distributienetten, warmtebuffers), mogelijke geluidsoverlast, schadelijke emissies. De energetische voordelen staan bovendien niet onomstotelijk vast.

### 6.2.6 Warmtedistributie

'Kinderziekten' hebben de laatste twintig jaar stadsverwarming een slechte naam bezorgd. Vooral op het financiële vlak bestaan twijfels. De Nederlandse geschiedenis van warmtedistributie begint in Utrecht (1923) en Rotterdam (eind jaren '40) met kleinschalige projecten. In 1978 werd serieus gestart met de aanleg van warmtedistributie in Nieuwegein en Almere. Kort daarna volgden projecten in Leiden, Enschede, Helmond, Breda, Purmerend, en andere plaatsen, terwijl in Rotterdam en Utrecht forse uitbreidingen werden gerealiseerd. De bereikte energiebesparing voldeed aan de verwachtingen, maar de opbrengsten voor exploitanten vielen zwaar tegen. Deze teleurstellende resultaten werden vooral veroorzaakt door een combinatie van externe

oorzaken. Door isolatie, dubbele beglazing etc. in nieuwbouwwijken bleken de werkelijke inkomsten voor de exploitant veel lager uit te vallen dan begroot. De distributienetten waren overgedimensioneerd, waardoor de kapitaalslasten hoger waren dan achteraf nodig bleek. Daar kwam bij dat de prijzen voor fossiele brandstoffen niet radicaal stegen, zoals men indertijd verwachtte, maar aanzienlijk zijn gedaald. Omdat de warmtedistributieprijzen voor de eindgebruikers gerelateerd waren aan de prijs van fossiele brandstoffen, bleven de werkelijke inkomsten ook om deze reden achter bij de planning. De projecten maakten grote verliezen en warmtedistributie hield er een negatief imago aan over (Van Gelder, 1999).

Bovendien versterkt het feit dat grote netten ook grote verliezen kennen het imago niet. Door deze verliezen krijgt een afnemer aan het einde van een leiding minder warmte per m<sup>3</sup> dan een afnemer aan het begin. Een rechtvaardige tarievenstructuur vereist complexe warmtemeters. Bovendien betreft het (rest)warmte, waarvan de prijs niet eenduidig vastligt. Kortom, warmtedistributie vereist grote investeringen, waarvan de rentabiliteit niet nauwkeurig voorspelbaar is. Daarnaast leidt warmtedistributie tot een ondoorzichtige tarievenstructuur en een moeilijk te rechtvaardigen kostenverdeling.

### 6.2.7 CO<sub>2</sub>-opslag

Er zijn tenminste twee mogelijkheden om geproduceerde CO<sub>2</sub> kwijt te raken: recycling en opslag. Met recycling in de glastuinbouw is weinig ervaring, maar de voordelen zijn evident. Het mes snijdt aan twee kanten. De tuinders stoken nu niet alleen in de winter maar ook in de zomer gas om CO<sub>2</sub> voor groeibevordering te maken. Een demonstratieproject voor CO<sub>2</sub>-bemesting is inmiddels gerealiseerd in Rotterdam-Oost. Een elektriciteitscentrale in Alexanderpolder levert warm water en CO<sub>2</sub> via pijpleidingen onder het riviertje Rotte door aan tuinders in Bleiswijk en Bergschenhoek (NRC, 9 mei 1997).

Voor grootschalige toepassing zal echter wel een transportinfrastructuur nodig zijn. En voor zover transport via pijpleidingen plaatsvindt ligt het voor de hand te verwachten dat deze vorm van CO<sub>2</sub>-verwijdering alleen aantrekkelijk is voor centrales in de buurt van gebieden waar veel glastuinbouw zit.

Opslag van CO<sub>2</sub> is veel controversiëler. In aanmerking komen lege gasvelden, olievelden, zoutcavernes en watervoerende lagen. De lege gasvelden zijn het grootst en zouden bewezen lekvrij zijn (anders zou het aardgas immers ook ontsnapt zijn). Maar de gevolgen van een eventuele lekkage zijn groot, zowel bovengronds (verdringing van de zuurstofrijke lucht kan leiden tot verstikking) als ondergronds (scheuren in een afsluitende laag kunnen een toename van de grondwaterzuurgraad tot gevolg hebben) (Technisch Weekblad 15, 1999). Milieuorganisaties (Greenpeace, Milieudefensie) hebben verklaard tegenstander te zijn, vooral vanwege de impliciete legitimatie van het gebruik van fossiele brandstoffen.

### 6.2.8 Transport

#### *Brandstofcellen*

Het onderzoek naar brandstofcellen vindt vooral plaats in de transportsector. Maar brandstofcel auto's hebben een relatief lage maximumsnelheid, wat problemen oplevert bij het inhalen met hoge snelheid. Mede door hun geruisloosheid vindt men ze suf en lachwekkend (Troelstra, 1999). Meer comfort hoeft niet per se positief gewaardeerd te worden.

Met brandstofcellen is een geleidelijke overschakeling van een olie- naar een waterstofinfrastructuur mogelijk. Wanneer in eerste instantie een reformer voor de brandstofcel wordt aangebracht kan het voertuig nog gewoon benzine tanken, dat in de reformer wordt omgezet in waterstof.

Het voordeel van een brandstofcelauto met reformer is dat het explosieve waterstof pas geproduceerd wordt, direct voorafgaand aan de toepassing (al rijdende). De tankstations zijn veiliger. In een later stadium kan waterstof worden gedistribueerd en getankt, zonder tussenkomst van een reformer.

### *Elektrisch vervoer*

Ook elektrische voertuigen verschillen wezenlijk van conventionele. De batterij van een elektrische auto neemt momenteel drie tot vijf keer zoveel ruimte in beslag als een benzinetank. De bagageruimte is hierdoor ingeperkt (Schuld, 1998).

Opladen van de batterij gaat zeer langzaam (vijf tot zeven uur) ten opzichte van het 'huidige tanken'. De laadpunten in huizen/ garages moeten geschikt zijn. Parkeerplaatsen die niet direct bij de woning liggen moeten voorzien worden van laadpunten en betalingssystemen (Schuld, 1998).

Mogelijk zullen langs de hoofdwegen snellaadstations geplaatst worden, waarmee de batterij binnen een kwartier opgeladen kan worden. Dat heeft gevolgen voor de infrastructuur. Snellaadstations zullen dan op het middenspanningsnet aangesloten moeten worden. De op te bouwen infrastructuur is duur en pas rendabel wanneer er voldoende elektrische auto's op de wegen rijden. Toch zal investeren in snellaadstations en infrastructuur moeilijk te vermijden zijn, indien met elektrische auto's grote afstanden afgelegd worden, al is het maar om de angst weg te nemen halverwege stil te komen staan met een lege batterij (Schuld, 1998). Kortom, de grootschalige toepassing van elektrische auto's en de benodigde infrastructuur veroorzaken 'kip en ei' problematiek (Troelstra, 1999).

Evenals auto's met een brandstofcel hebben elektrische auto's een lage maximumsnelheid. Wat betreft veiligheid bestaat het gevaar van een elektrische schok bij onzorgvuldigheid. Bovendien is door het grote gewicht van de batterij de remweg langer, de uitwijkmogelijkheid beperkter en het gevolg van een eventuele botsing ingrijpender dan bij alternatieven (Troelstra, 1999).

Bij hybride auto's moet het ruimtebeslag van de batterij opgeteld worden bij die van de brandstoftank. Het voordeel boven een elektrische auto is wel dat er in eerste instantie minder voorzieningen voor laden onderweg aangebracht hoeven te worden. De actieradius is beduidend groter en diesel of benzine kan overal getankt worden.

## 6.3 Blauwdrukken als hoeken van het maatschappelijk krachtenveld

In de vorige paragraaf werd geanalyseerd welke maatschappelijke implicaties een aantal belangrijke energietechnologieën en energiedragers met zich meedragen. Maar maatschappelijke wrijving die in de lucht zweeft is geen wrijving. Zonder stem heeft geen enkel argument kracht. In deze paragraaf wordt onderzocht hoe actoren tegenover de technologieën en energiedragers staan en welke standpunten ze uitdragen in het maatschappelijk krachtenveld.

Er is een onderscheid gemaakt tussen actoren binnen de markt, actoren buiten de markt en kennisinstellingen. Dit onderscheid is gebaseerd op de verschillende rollen die ze spelen. Marktpartijen kwamen in het vorige hoofdstuk al uitgebreid aan bod, en worden hier alleen gepositioneerd ten opzichte van maatschappelijke organisaties en gebruikers. Marktpartijen hebben vooral bedrijfsstrategische belangen, terwijl organisaties buiten de markt collectieve belangen behartigen. Kennisinstellingen hebben eerder een 'ankerrol': als het verleden de basis is van de toekomst, dan geeft het kennisreservoir van deze instellingen gewicht aan de verschillende belangen.

Het maatschappelijk krachtenveld wordt in deze paragraaf afgebakend door de drie blauwdrukken, die de hoeken ervan vormen. Daarmee wordt duidelijk hoe actoren in dit veld staan, welke positie zij ten opzichte van andere actoren innemen, welke rol zij voor zichzelf en voor de andere actoren zien en waar zij zich bevinden in het spanningsveld tussen liberalisering en klimaatbeleid.

### 6.3.1 Markt en maatschappij

Maatschappelijke organisaties doen zich van tijd tot tijd gelden als invloedrijke actoren (Van der Veen, 1995; Nas, 1997). Consumentenbond, milieuorganisaties, vakbonden, kerken enz. hebben een opiniërende rol die zowel op consumenten als op overheidsbeleid gericht kan zijn. Daarmee sturen ze (indirect) in het krachtenveld van de toekomstige energievoorziening.

Om een beeld te krijgen van de rol van deze organisaties dient geanalyseerd te worden in hoeverre marktpartijen rekening met hen houden. Waaruit bestaat de invloed van maatschappelijke organisaties en in hoeverre kunnen ze die invloed blijven uitoefenen in een liberaliserende energiesector?

Aan een veertiental vertegenwoordigers van marktpartijen is gevraagd wie de toekomstige energievoorziening bepaalt. Daarbij is ten eerste onderscheid gemaakt tussen overheid en markt en ten tweede tussen vraag en aanbod op de markt (zie Hoofdstuk 5). Dit uitgesproken hebbende moesten de respondenten aangeven waar de invloed van verschillende maatschappelijke organisaties volgens hen aangrijpt en hoe dat zich in de toekomst zal ontwikkelen.

Afhankelijk van de strategie van maatschappelijke organisaties en de gevolgen van liberalisering is er een viertal configuraties met verschillende uitkomsten denkbaar.

Strategie	Liberalisering	Organisaties
1. Overheidsbeïnvloeding	& overheid blijft dominant	◇ invloed constant
2. Overheidsbeïnvloeding	& overheid treedt terug	◇ invloed neemt af.
3. Publieksbeïnvloeding	& consument wordt dominant	◇ invloed neemt toe
4. Publieksbeïnvloeding	& producent wordt dominant	◇ invloed neemt af

Verschillende organisaties kunnen volgens verschillende strategieën handelen en ook binnen organisaties zijn meerdere strategieën mogelijk. Het is dus mogelijk dat een respondent meerdere configuraties voorziet. Dit blijkt nauwelijks het geval. De verschillende marktpartijen kiezen bijna zonder uitzondering voor een van de vier configuraties.

Wel is de verdeling tamelijk evenwichtig. Vijf respondenten, vooral vertegenwoordigers van invloedrijke (grote) marktpartijen, verwachten dat de rol van de consument steeds belangrijker wordt. Doordat maatschappelijke organisaties dicht bij consumenten staan neemt hun invloed waarschijnlijk toe (configuratie 3).

Daartegenover verwachten ook vier respondenten een afnemende rol van (opiniërende) organisaties, omdat distributeurs en producenten veel meer te maken krijgen met concurrentie en in consumentenkeuzen de prijs doorslaggevend is (configuratie 4). Daardoor is het voor marktpartijen vooral van belang om energie zo goedkoop mogelijk te leveren. Sociale en milieu-implicaties zijn van later orde. Deze opvatting is vooral bij enkele kleinere distributeurs te horen.

De opvatting dat de overheid dominant blijft, en hier een kans ligt voor maatschappelijke organisaties (configuratie 1), is vier keer geuit. Daarbij wordt opgemerkt dat de overheid zich inhoudelijk weliswaar minder met de markt zal bemoeien, maar niet minder met het milieu. Ze kan de markt nog steeds verplichtingen opleggen of andere (flexibele) instrumenten toepassen.

Dat de invloed van maatschappelijke organisaties afneemt, omdat ze te weinig bij de (dominant wordende) markt betrokken zijn, wordt het minst waarschijnlijk geacht (configuratie 2). Een van de twee respondenten, die dit voorspelt, verwacht dat de markt weliswaar de vorm van de toekomstige energievoorziening zal bepalen, maar de overheid de randvoorwaarden. Daarin kunnen maatschappelijke organisaties toch een belangrijke rol blijven spelen.

Kortom er wordt zeer verschillend gedacht over de rol die maatschappelijke organisaties kunnen spelen. Het meest wordt rekening gehouden met organisaties die hun invloed op de markt (consumenten) uitoefenen. Toch verwacht een aantal respondenten ook dat organisaties een rol kunnen spelen in de randvoorwaarden die de overheid aan de markt stelt.

### 6.3.2 Maatschappelijke organisaties, gebruikers en lokale overheden

Invloedrijke partijen buiten de markt, die in dit onderzoek werden betrokken, zijn twee grote milieu-organisaties (Natuur & Milieu en Greenpeace) en de Consumentenbond. Hun mening is gepeild middels interviews. Informatie over particulieren (voor zover hun pluraliteit dat toelaat) en inzicht in de rol van lokale overheden is in de literatuur beschikbaar.

#### *Stichting Natuur & Milieu*

Natuur- en milieuorganisaties zijn met hun grote ledenaantallen (gezamenlijk 3,2 miljoen) sterke spelers in de onderhandelingen over een toekomstige energievoorziening (Van der Heijden, 1997). De Stichting Natuur & Milieu (SNM), de federatie van 12 provinciale milieuorganisaties, heeft haar sporen vooral verdiend met beïnvloeding van politieke besluitvorming. Door liberalisering van de energiesector is te verwachten dat de macht van de overheid slinkt. Uit een interview met SNM blijkt dat de stichting in haar strategie een doelgroepenbeleid hanteert (landbouworganisaties, energiebedrijven, bedrijven en producten, verkeer en vervoer).

Essentieel daarin is echter een strakke rol voor de overheid, die duidelijke randvoorwaarden stelt. M. Bootsma, beleidsmedewerker energie: 'Liberalisering belemmert de mogelijkheden voor duurzame energie en energiebesparing, zowel in de gebouwde omgeving als bij elektriciteits- en gasopwekking. Pas als de overheid normen stelt krijgen duurzame energie en energiebesparing kansen.' Deze normen zouden de energieprestatie van woningen en een verplicht duurzaamheidsaandeel bij de productie van energie moeten behelzen. Volgens SNM is de keuzevrijheid bij producenten en consumenten te gering om een significante emissie-reductie te bereiken. 'Je kunt het gros van de producenten en consumenten alleen over de streep trekken als er eisen worden gesteld of als het financieel aantrekkelijk is.' Het aantal pioniers bedraagt hooguit 5%, die overigens wel een belangrijke bijdrage leveren aan de beeldvorming.

Welke positie op het krachtenveld tussen de drie blauwdrukken sluit het beste aan bij de visie van SNM? Uitgangspunten in deze visie zijn energiebesparing en flexibiliteit in het aanbod. Energiebesparing vraagt volgens Bootsma om een decentrale energievoorziening, waarbij de energie dicht bij de gebruiker wordt opgewekt. Dat stimuleert efficiënt en besparingsgedrag. Flexibiliteit komt volgens Bootsma in de blauwdruk 'Elektriciteit' het minst tot zijn recht. Deze is te centraal geregeld en laat geen ruimte voor duurzame (decentrale) ontwikkelingen op gasgebied. Het meest aansprekend is de mix van gas en elektriciteit. Technologieën die aanspreken zijn biogas voor warmtekracht (in de gebouwde omgeving op wijkniveau), methanol voor transport, windenergie en op de middellange termijn vooral PV energie - SNM steunt de Solaris actie van Greenpeace nadrukkelijk - voor elektriciteit- en waterstofopwekking.

Natuur & Milieu (1998) geeft met betrekking tot biomassa aan dat recycling prioriteit heeft boven energieopwekking. Speciaal voor energieopwekking aangeplante bossen 'kunnen door de beugel als geen bestrijdingsmiddelen en een minimum aan (kunst)mest worden gebruikt'. Voor energieteelt is de ruimte die ook gebruikt wordt voor voedselproductie en natuurontwikkeling de beperkende factor.



### 6.3.2.1 Greenpeace

Voor Greenpeace is de keuze tussen verschillende blauwdrukken niet relevant. Uit een interview met S. van Egmond (campagneleider duurzame energie) blijkt dat het Greenpeace niet gaat om de finale energiedrager, het transport of de infrastructuur, maar om de bron waaruit energie wordt geproduceerd. Greenpeace is vooral geïnteresseerd in primaire energiedrager. Deze moet zo duurzaam mogelijk zijn. En ook daarin wil ze niet kiezen. Wind, zon, biomassa of getijden-energie moeten niet tegenover elkaar gezet worden, maar naast elkaar. Dat geldt ook voor centrale versus decentrale conversietechnieken. Alle opties (naast een aandeel duurzaam in het aanbod ook besparingen in de vraag) moeten worden benut. ‘We kunnen geen dertig, veertig jaar doorgaan met CO<sub>2</sub> uitstoten. Daarom moeten we alle zeilen bijzetten. In 2020 moet driekwart van alle bronnen duurzaam zijn.’

De haalbaarheid van deze doelstelling is geen zuivere technologische of economische kwestie. ‘Het is zo realistisch als we zelf willen.’ Daarin speelt de overheid een belangrijke rol. De politiek representeert de wensen van het publiek. En als we met zijn allen duurzaam willen, dan ligt hier een taak voor de politiek. Deze taak blijft overeind, zelfs als de energiemarkt wordt geliberaliseerd. Ook dan is de markt niet volledig vrij. Nucleaire en fossiele energie worden nog steeds gesubsidieerd. Daar kan de overheid nog veel doen.

Deze top-down benadering van Greenpeace staat niet op zichzelf. Daarnaast probeert Greenpeace ook bottom-up de ontwikkelingen in de markt te beïnvloeden, zowel op activistische als op constructieve wijze. Acties richten zich vooral op het terugdringen van energie uit kolen en nucleaire energie. Ze wil in de openbaarheid brengen wat ongemerkt voorbij lijkt te gaan. De wijze van actie voeren varieert van het ophangen van spandoeken op schoorstenen tot persberichten over nucleaire afvallozing.

De constructieve aanpak blijkt bijvoorbeeld uit de Solaris actie, waarvoor 15.000 kopers van zonnepanelen worden gezocht. Van Egmond ziet dit als een eerste stap op weg naar een PV markt, niet meer dan dat. Om de markt werkelijk open te breken moet zoiets grootschalig aangepakt worden. Greenpeace heeft een studie door KPMG laten uitvoeren (Langman, 1999). Daarin wordt geconcludeerd dat een (wereldwijde) opschaling in de productie van 500 MW<sub>p</sub> (250.000 daken) per jaar nodig is voor een prijsreductie tot het niveau van conventionele energie. Dit vereist minstens de toepassing van zonnepanelen in alle nieuwbouw en renovatie projecten. Maar voor een dergelijke opschaling schieten de constructieve middelen van Greenpeace natuurlijk tekort. Daar moet de overheid haar taken oppakken, aldus Van Egmond.

Hetzelfde geldt voor windenergie. Op dat gebied is technisch veel mogelijk, en het is ook financieel aantrekkelijk. Greenpeace acht 10.000 MW op zee mogelijk, maar daarvoor moet de overheid haar doelstelling naar boven bijstellen (Coelingh, 1997). Of Greenpeace zo constructief wil worden dat ze zelf in energie gaat handelen is voor Nederland nog niet aan de orde. Greenpeace Duitsland levert al wel gegarandeerd nucleair-vrije, *sauberen Strom*. Wellicht krijgen we dit op termijn ook in Nederland.

#### *Consumentenbond*

Bij de Consumentenbond staat de keuzevrijheid hoog in het vaandel. Daarvan afgeleid heeft ook duurzaamheid een hoge prioriteit. Consumenten moeten immers ook voor duurzame opties kunnen kiezen, aldus J. Poolman, projectmanager Energiegerelateerde Onderwerpen van de Consumentenbond in een interview.

De Consumentenbond voelt weinig voor de blauwdruk ‘Elektriciteit’. De afwezigheid van een fijnmazig gasnet vindt ze een ongewenste ontwikkeling, omdat dit de keuzevrijheid van consumenten beperkt. Daarbij is de bond pertinent tegenstander van warmtedistributie, vanwege de ondoorzichtige tarievenberekening (vaak ontleend aan HR-ketels) en moeilijk te rechtvaardigen kostenverdeling. In de decentrale variant van de blauwdruk ‘Elektriciteit’ spelen elektrische warmtepompen een belangrijke rol. Maar omdat elektrische warmtepompen een extra conver-

sieslag veronderstellen, met alle verliezen van dien, valt voor de Consumentenbond de blauwdruk 'Elektriciteit' eigenlijk geheel af. Bovendien verwacht Poolman niet veel van PV en wind-energie. 'Wat ik heb begrepen zal PV altijd een aanvulling zijn en met wind stuit je al gauw op problemen met ruimtelijke ordening.'

Omdat de Consumentenbond denkt dat de blauwdruk 'Bestaande Infrastructuur' te weinig mogelijkheden biedt om het milieu te ontlasten, kiest ze in het maatschappelijk krachtenveld een positie, die dicht bij de 'Waterstof' blauwdruk ligt. Hierin passen voor de bond aansprekende technologieën, dat wil zeggen: technologieën met een directe terugkoppeling naar consumenten, waardoor het consumentenverbruik direct zichtbaar is. Poolman denkt hierbij vooral aan de brandstofcel en de gasgestookte warmtepomp.

De consumentenbond voorziet een verschuiving van elektriciteit naar gas. 'Er zijn tegenwoordig gasgestookte wasdrogers en hotfill apparaten op de markt. Je krijgt ook steeds meer hybride systemen.' Daarnaast verwacht Poolman ook veel van zonneboilers. De Consumentenbond heeft uitgezocht dat de zonneboiler financieel een aantrekkelijke technologie is.

Bij de Consumentenbond bestaat een uitgesproken, hoewel voor de lange termijn geen uitgekristalliseerde, visie op de toekomstige energievoorziening. Maar op welke wijze denkt ze invloed uit te kunnen oefenen? Niet door beïnvloeding van consumenten. Ze wil vooral informeren, niet manipuleren. Bovendien zitten volgens Poolman de consumenten niet op de beslisstoel. Hooguit kunnen ze zich verenigen in bijvoorbeeld een kopersvereniging van woningen in een nieuwbouwwijk. Evenals de Stichting Natuur en Milieu wil de Consumentenbond vooral inzetten op overheidsbeïnvloeding. Onder overheidsbeïnvloeding verstaat Poolman vooral het tegengaan van liberalisering. Want in tegenstelling tot de suggestie van vrijheid in het woord liberalisering, komt de keuzevrijheid van consumenten er juist door in het geding. 'Opties richting groene energie worden erdoor tenietgedaan. Energiebedrijven werken marktconform en moeten concurreren met het buitenland.'

#### *Gebruikers en omwonenden*

Behoud van de bestaande finale energiedragers, en bijbehorende infrastructuur, lijkt vanuit gebruikersperspectief voor de hand te liggen. Apparaten en gebruikers zijn daar op ingesteld. Vanuit dit perspectief maakt de blauwdruk 'Bestaande Infrastructuur' de beste kans. Voor industriële gebruikers kan met name de decentrale variant aanspreken. Daar zitten zowel economische als beheersvoordelen aan.

Bij decentrale technologie staan individuen in principe vrij sterk. Hun invloed kan echter twee kanten op werken: eigen initiatief (zonneboilers, pv) stimuleert ontwikkelingen, bezwaar maken tegen opgedrongen innovaties (warmtepompen) frustreert ze. Individuen (bewoners) kunnen ook een bron van weerstand zijn bij meer centraal georiënteerde energietechnologie. Windparken of warmtedistributienetten kunnen worden tegengewerkt (bezwaarprocedures, klachten). Anderzijds kunnen particulieren ook hier een stimulans zijn (collectief particulier initiatief), maar dit vereist een mate van organisatie, die niet altijd vanzelfsprekend is. Toch toont een aantal voorbeelden dat de bereidheid hiertoe wel bestaat: in de gemeente Niedorp (NH) exploiteren zeven grondeigenaren, verenigd in een BV, een windpark van 19 turbines à 600 kW (Duurzame Energie 5, 1999), bij Alphen aan de Rijn wil een lokale vereniging van grondbezitters een windpark van ongeveer 33 MW realiseren, ook in de Noordoostpolder en de Wieringermeer wordt gepleit voor windparken met een grote mate van lokale participatie (Duurzame Energie 1, 1999).

### *Lokale overheden en projectontwikkelaars*

Gemeenten zullen op het gebied van windenergie in de toekomst een actievere rol gaan vervullen. Wetgeving wordt momenteel voorbereid om gemeenten zo nodig te dwingen ruimte te maken voor kleinschalige windenergie (Energierapport, 1999). Ook bij de implementatie van biomassa installaties spelen gemeenten een belangrijke rol. Zij verlenen uiteindelijk een vergunning. Maar lokale overheden hebben te maken met verschillende belangen. De vraag is of de voordelen van biomassa installaties opwegen tegen de nadelen (ongewenste emissies, transport van biomassa door de dorpskernen).

In de gebouwde omgeving hebben projectontwikkelaars te maken met nationaal vastgestelde energieprestatie normen (EPN). Gemeenten kunnen projectontwikkelaars geen strengere eisen opleggen. Wel kunnen ze onderling convenanten sluiten om op vrijwillige basis bouwprojecten uit te voeren, waarvan de energie-eisen scherper zijn dan wat op grond van de wet kan worden afgedwongen. In een aantal Limburgse gemeenten heeft dergelijke samenwerking geresulteerd in de installatie van zonneboilers op substantiële schaal.

Het mes snijdt aan twee kanten. Gemeenten kunnen hun bijdrage aan het klimaatbeleid vergroten en projectontwikkelaars zijn beter voorbereid op toekomstige verscherping van de EPN. Bovendien bouwen ze daarmee een goede verstandhouding met de betreffende gemeenten op, aldus H. Marinus van de Vereniging van Nederlandse Gemeenten (Janse, 1997).

De relatieve macht van gemeenten is afhankelijk van hun vermogen samen te werken met belangrijke actoren. Voorbeelden laten zien dat een aantal gemeenten daar goed in slaagt. Wat de voorbeelden ook laten zien is dat gemeenten niet eenduidig te plaatsen zijn in het maatschappelijk krachtenveld, afgebakend door de drie blauwdrukken. 'Terwijl op nationaal niveau de tegenstellingen tussen gas, warmte en elektriciteit hoog oplopen, werken op lokaal niveau gemeentes, energiebedrijven en projectontwikkelaars vaak nauw samen aan een duurzame energievoorziening. Tal van mogelijkheden worden daarbij beproefd en in de praktijk gebracht' (Van Gelder, 1998, p.28).

In Leidsche Rijn (bij Utrecht), met 20.000 woningen de grootste Vinex-locatie, en Oosterheem (bij Zoetermeer) wordt stadsverwarming toegepast. IJburg en IJlanden krijgen blokverwarming met micro warmte/kracht installaties. Een getijdencentrale staat in de planning voor Schiehaven-Mullerpier (bij Rotterdam), waar ook stadsverwarming moet komen. Op het voormalig terrein van de Gemeentelijke Waterleidingen in Amsterdam zal een geïntegreerde w/k installatie met warmtepomp neergezet worden. Nieuwland (bij Amersfoort) en de HAL-locatie (bij Heerhugowaard) hebben begin volgende eeuw meer dan 3.000 daken met fotovoltaïsche zonnecellen. Leeuwarden heeft twee serieuze varianten ontwikkeld voor 29 CO<sub>2</sub>-neutrale woningen. Een variant met warmteopslag, zeer goede isolatie en zonnecellen en een andere variant met warmtekracht en een warmtepomp. De gemeente Hoorn wil 3500 nieuwbouwwoningen voorzien van aardwarmte, afkomstig van twee kilometer diepte. Deze voorbeelden laten zien dat in de gebouwde omgeving wordt geëxperimenteerd met uiteenlopende energietechnologieën, variërend van centraal tot decentraal. De projecten liggen verspreid over het speelveld van de toekomstige energievoorziening (Van Gelder, 1998).

Ook in de transportsector domineert geen van de blauwdrukken. Een aantal kleinschalige voorbeelden toont de voorzichtige opkomst van elektrisch en hybride vervoerssystemen: tien elektrische auto's bij Gemeentewerken Rotterdam (Stromen 7, 1999), elektrische bussen met bovenleiding in Eindhoven (Stromen 7, 1999) en Arnhem (SSZ, 1998), twee hybride vrachtwagens bij expeditiecentrum Groningen (Duurzame Energie 4, 1999), twee hybride bussen in Leiden (SSZ, 1998), een groot aantal elektrische auto's bij gemeente, instellingen en bedrijven in Alphen aan de Rijn (Stromen 5, 1999).

Enkele voorbeelden tonen daarnaast pionierswerk voor de blauwdruk 'Waterstof': huisvuilauto's op aardgas (CNG) in Groningen en ruim honderd aardgasvoertuigen (van personenauto's tot vuilniswagens) van de gemeenten Haarlem, Amstelveen en Velsen en Energie Noord West (SSZ, 1998).

Maar ook nieuwe technologieën, die uitgaan van 'Bestaande Infrastructuur', worden beproefd op lokaal niveau: LPG-trucks van DAF bij meer dan dertig Nederlandse gemeenten, twee omgebouwde LPG-vuilniswagens in en rond Zwolle, een hybride elektrische/LPG-vuilniswagen in Breda, Lichtgewicht bussen met LPG motor in Haarlem en Hoorn (SSZ, 1998), dieselbussen met CRT-roetfilter op Texel (Stromen 12, 1999), een stadsbus met vliegwiel in combinatie met een kleine LPG motor in Den Haag (Stromen 3, 1999).

### *Overige actoren*

#### 1. Waterbeheerorganisaties

Zoals blijkt uit Paragraaf 6.2.4 kan de grootschalige toepassing van warmtepompen consequenties hebben voor het waterbeheer. Verschillende grondwaterstromen vermengen mogelijk, wat kans op vervuiling geeft. Ook breuken in de leidingen van de warmtepomp kan vervuiling veroorzaken. Mogelijk zullen waterschappen hier in de toekomst bezwaren tegen maken.

#### 2. Landbouworganisaties

Een begrenzend factor voor biomassatoepassing is het landbeslag voor energieteelt. Maar kan deze bestemming concurreren met andere toepassingen van landbouwgrond. Bovendien verschilt de manier van bewerking van wat agrariërs gewend zijn. Een energiebos heeft bijvoorbeeld een veel langere rotatietijd dan voedselgewassen. Ligt echter de grond toch braak, zoals nu door Europees landbouwbeleid gestimuleerd wordt, dan kan energieteelt een rendabele benutting zijn van die grond. Maar of toekomstig biomassabeleid kan leunen op Europese braakligpremies en -verplichtingen is zeer de vraag.

### *Kennisinstellingen*

Kennisinstellingen zijn andersoortige actoren dan marktpartijen of pressiegroepen. Toch oefenen ze ook invloed uit in het maatschappelijk krachtenveld. Vanwege de specialistische kennis die ze opgebouwd hebben, worden ze ingeschakeld door marktpartijen, maatschappelijke organisaties of overheden. Daarbij is het van belang dat ze objectief blijven. Maar het is ook van belang dat ze hun specialistische kennis profileren en uitbouwen om op termijn (vervolg)opdrachten binnen te halen. Hierdoor ontstaat een paradigmatische structuur (onderzoekgebieden, heuristieken, vraagstellingen, methodologie) waarmee ze bepaalde opdrachten beter aankunnen dan andere. Een instelling met veel kennis op het gebied van gastoepassingen heeft weinig belang bij een 'all-electric' energievoorziening. Met andere woorden: ondanks de objectiviteit van onderzoek vervullen kennisinstellingen een maatschappelijke rol, die niet neutraal is qua blauwdruk voor de toekomstige energievoorziening.

### *Gastec*

Bij Gastec is veel ervaring met gas als energiedrager, en toepassingen daarvan. Gastec ziet toekomst in gasgestookte warmtepompen. Niet alleen voor ruimteverwarming, maar ook voor koeling. En juist aan de groeiende koelvraag als comfortproduct kan de (gasgestookte) warmtepomp voldoen (Kobussen, 1999). Ook de brandstofcel wordt bij Gastec gezien als een zeer interessante optie voor kleinschalige warmtekrachtopwekking (Van Driel, 1999). Zo'n installatie 'is compact, geluidloos, efficiënt en schoon' (p.11). Gastec werkt aan verschillende waterstofproductietechnieken waarbij aardgas als grondstof dient. Daarnaast wordt speciale aandacht besteed aan een apparaat dat voorgeschakeld kan worden, zodat aardgas omgezet kan worden in het benodigde waterstofrijke mengsel.

In een energievoorziening die is gebaseerd op aardgas en waterstof zal Gastec een belangrijke onderzoekende en adviserende rol kunnen vervullen. Met nieuwe probleem- en vraagstellingen kunnen ze voortbouwen op bestaande expertise. En die expertise omvat vooral technologie, die in de blauwdruk 'Waterstof' is gespecificeerd.

### *KEMA*

KEMA is een onderzoeksinstituten die haar sporen vooral heeft verdiend met het keuren van elektrische apparatuur. De organisatie profileert zich op haar homepage met een brede focus op zowel de aanbod als de vraagkant van elektriciteit. 'KEMA is a professional, high quality service provider for all parties associated with the supply of (electric) power and the users of this power. The latter being investors, operators, consumers, government agencies, suppliers and financiers.' Haar speerpunten voor onderzoek zijn management van, materialen voor en onderhoud van elektriciteitsproductie.

In opdracht van de SEP heeft KEMA het deelproject *Elektrische infrastructuur* in de serie *Verkeer & vervoer in de 21<sup>e</sup> eeuw* gepubliceerd (Schuld, 1998). Hiermee laat KEMA zien een belangrijke onderzoeks- en adviesrol te kunnen spelen in de blauwdruk 'Elektriciteit'.

### *ECN*

Bij ECN is veel onderzoek gericht op elektriciteit als finale energiedrager. De instelling heeft een vooraanstaande positie op het gebied van zonne-energie. Ook is er veel ervaring met wind-energie. Daarnaast wordt bij ECN veel gewerkt aan biomassa (vergassing, pyrolyse, verbetering van processen) en schoon fossiel (waterstof en syngas technologie, warmtekracht, brandstofcellen). Deze aandachtsgebieden passen in de blauwdruk 'Waterstof', waarin elektriciteit uit zon en wind een belangrijke rol speelt bij de opwekking van waterstof.

Het onderzoek van ECN is niet zonder meer in een van de hoeken van het speelveld te plaatsen. Bepaalde activiteiten passen in de blauwdruk 'Elektriciteit', andere in 'Waterstof', terwijl er relatief weinig onderzoek gedaan wordt dat specifiek is voor 'Bestaande Infrastructuur'.

### *TNO*

Op vier afdelingen van TNO-MEP vindt energiegerelateerde R&D plaats. Bij de afdeling Koudetechniek en warmtepompen wordt onderzoek verricht naar warmtepompen. Deze apparaten komen in alle blauwdrukken voor, waarbij een onderscheid bestaat tussen gasgestookte en elektrische. Het onderzoek van TNO richt zich vooral op het koudemiddel, en minder op deze finale energiedragers.

Bij de afdeling Thermische Conversie ligt de focus op biomassa en afval. In de lijst van publicaties springen twee conversiemethoden in het oog:

- Verbranding: De onderzochte aspecten zijn o.a. computer simulaties, kostenberekeningen en emissies.
- Pyrolyse of HTU: Dit jaar heeft TNO, samen met Shell, Stork, BTG en Biofuel, een HTU installatie in gebruik genomen: een belangrijke stap in het verduurzamen van olieproducten.

Vergassing is 'op de achtergrond aanwezig'. Energie- en Stromingstechnologie besteedt o.a. aandacht aan warmteterugwinning, zonneboilers, isolatie, restwarmtegebruik; kortom, besparingstechnieken die in alle blauwdrukken een plaats kunnen hebben.

De afdeling Procestechologie publiceert veel over membraantechnologie voor de scheiding van rookgassen. Deze zgn. schoonmaaktechnologie is toepasbaar in bestaande en nieuwe verbrandingsconcepten bij industrie en elektriciteitsproductie.

Bovenstaande (conversie-) technieken maken het gebruik van de finale energiedragers elektriciteit, olie en warmte mogelijk. De huidige infrastructuur kan daarmee grotendeels blijven bestaan. TNO-MEP maakt zich met haar onderzoeksprogramma impliciet sterk voor de blauwdruk 'Bestaande Infrastructuur', maar beweegt daarbinnen eerder richting de elektrische dan de gasblauwdruk.

## 6.4 Conclusies

De conclusies over de kansen voor maatschappelijke inbedding van de blauwdrukken vereisen eerst een inschatting van de krachten (en aangrijpingspunten daarvan) die door de actoren zal worden uitgeoefend. Daarna wordt ingegaan op het onderscheid centraal/decentraal en op de drie blauwdrukken.

### 6.4.1 Actoren tussen liberalisering en klimaatbeleid

Bij energiemarktpartijen lopen de meningen uiteen over de gevolgen van liberalisering. Enkeligen verwachten een nauwelijks veranderende rol van de overheid, de meesten denken dat de markt veel vrijer zal worden. In de eerste situatie behouden maatschappelijke organisaties hun huidige invloed. Indien de markt dominant wordt is hun invloed minder eenduidig.

De rol die marktpartijen in een marktgestuurde energiesector voor maatschappelijke organisaties weggelegd zien, hangt sterk samen met het impliciete beeld dat men van 'de consument' heeft. Een rationeel calculerende consument, die het goedkoopste uit het aanbod kiest, wil lage prijzen. Hij laat zich niet door maatschappelijke organisaties beïnvloeden. De belangrijkste keuzen worden aan aanbodzijde (investeringen) gemaakt. Dit standpunt wordt door een aantal (kleine) marktpartijen aangehangen.

Het beeld van de consument die flexibiliteit, zekerheid en kwaliteit eist, biedt veel meer aangrijpingspunten voor maatschappelijke organisaties, vooral als ze zich op publieksbeïnvloeding richten. Hier liggen volgens de meeste geïnterviewden uit het bedrijfsleven de grootste kansen voor maatschappelijke organisaties.

Desondanks geven de maatschappelijke organisaties aan dat vooral de overheid (en dus de kiezers) in moet grijpen met duidelijke randvoorwaarden. Daarin gaat de Consumentenbond het verst (liberalisering tegenhouden). De Stichting Natuur & Milieu vraagt om een overheid die scherpe randvoorwaarden stelt (financiële middelen en strenge normen), terwijl Greenpeace vindt dat de overheid meer initiatief zou moeten nemen met grootschalige toepassingen van duurzame energie (offshore wind, PV in nieuwbouw). Greenpeace lijkt het meest op de ontwikkelingen in te spelen door actief consumenten te benaderen.

Lokale overheden, actoren met een zekere mate van autonomie ten opzichte van de rijksoverheid, geven vooral vorm aan hun (pionierende) rol in het krachtenveld door nieuwe concepten uit te proberen op nieuwbouwlocaties.

### 6.4.2 Centrale versus decentrale technologie

De Stichting Natuur & Milieu en de Consumentenbond zien voordelen in decentrale varianten van de blauwdrukken. Natuur & Milieu vanwege de besparing die de nabijheid van energieopwekking zou stimuleren en de Consumentenbond omdat een centrale regie dikwijls de keuzevrijheid van individuele consumenten beperkt. Door Greenpeace wordt geen voorkeur uitgesproken (als het maar duurzaam is) en bij lokale overheden kan een grote diversiteit in de schaal van conversietechnologie worden waargenomen. Initiatieven lopen uiteen van getijdencentrale tot massale PV toepassing en van stadsverwarming tot warmtepompen.

Typische technologieën die in de centrale varianten van de blauwdrukken belangrijke rollen vervullen zijn windenergie, biomassa, CO<sub>2</sub>-opslag en warmtedistributie.

- Windenergie ondervindt vooral ruimtelijke problemen. Aan veel locaties kleven bezwaren, zoals hinder voor vogels, geluidsoverlast, horizonvervuiling etc.
- Biomassa stuit op vergelijkbare problemen, indien dit op grote schaal wordt toegepast. Reststromen inzetten voor energieopwekking vereist beleidsmatige afstemming met de afvalverwerkingsector. En energieteelt moet concurreren met andere bestemmingsplannen, zoals landbouw voor voedsel, stedenbouw, infrastructuur, natuurontwikkeling.
- CO<sub>2</sub>-opslag is voor de milieubeweging vooralsnog onbespreekbaar, terwijl recycling van CO<sub>2</sub> in de glastuinbouw alleen in gebieden met een hoge kasdichtheid realistisch is.
- Warmtedistributie wordt in enkele gemeenten nieuw leven ingeblazen, maar voor de Consumentenbond is deze ontwikkeling een doorn in het oog. Het zou leiden tot ondoorzichtige tarievenstructuren, moeilijk te rechtvaardigen kostenverdelingen en de afwezigheid van gasaansluitingen in woningen.

Kenmerkend voor bovengenoemde centralistische technologieën is dat de problemen toenemen met de schaalgrootte. Voor wind de aantasting van de openbare (multifunctionele) ruimte, voor biomassa de schaarste aan land en voor warmtedistributie de inherente inflexibiliteit.

Typisch decentrale technologieën zijn zonne-energie, warmtepompen en micro warmtekracht installaties.

- In tegenstelling tot centrale technologieën neemt bij zonne-energie het grootste probleem af naarmate de schaal van toepassing groter wordt. De huidige hoge kosten kunnen aanzienlijk gedrukt worden bij opschaling van de productie. Het probleem is vooral, dat iemand de aanvankelijk hoge kosten voor rekening moet nemen (of slim weet te spreiden) en de markt openbreekt. Verschillende partijen kunnen hiertoe in principe initiatief nemen, sommige doen dit ook.
- Warmtepompen kunnen verbonden zijn met een horizontale of een verticale warmtewisselaar. Aan de horizontale kleeft het risico van bodembevriezing en lekkage, aan de verticale wisselaar het risico van vervuiling van het diepe grondwater. Bij toepassing op grote schaal kan de bodem beurtelings bevroren en ontdooien. De effecten hiervan zijn niet bekend.
- Micro-warmtekracht op wijk- of flatniveau zou moeten leiden tot energiebesparing. Vooralsnog staat dat niet onomstotelijk vast. Bovendien blijkt de invoering van kleinschalige w/k complexe investeringen met zich mee te brengen (w/k-eenheid, warmtepompen, lokale distributienetten, warmtebuffers), aangezien zowel warmte- als elektriciteitsproductie afgestemd moet worden op de behoefte.

Kenmerken voor de problemen van decentraal opgestelde technologieën (PV en micro-w/k) is dat ze relatief hoge investeringskosten hebben en derhalve lange terugverdiertijden. Daarnaast zijn warmtepompen en warmtekracht niet per se duurzamer (qua besparing resp. qua milieurisico's) dan hun alternatieven.

### 6.4.3 Blauwdrukken

In dit onderzoek zijn drie blauwdrukken onderscheiden: 'Elektrisch', 'Waterstof' en 'Bestaande Infrastructuur'. Ze verschillen onderling vooral in de aan- en afwezigheid van bepaalde energiedragers met bijbehorende infrastructuur en conversietechnologie. Kenmerkend voor 'Elektrisch' is de afwezigheid van een fijnmazig gasnet en de aanwezigheid van een elektriciteitsnet (en in de centrale variant ook een warmtenet). De blauwdruk 'Bestaande Infrastructuur' handhaaft de bestaande infrastructuur, maar voorziet in een groot aantal nieuwe primaire energiedragers en conversietechnologieën teneinde een forse CO<sub>2</sub>-reductie te realiseren. De blauwdruk 'Waterstof' voorziet vooral in gasvormige energiedragers (aardgas, biogas, waterstof), maar er wordt niet afgezien van elektriciteitsaansluitingen.

### *Blauwdruk 'Elektrisch'*

Wanneer elektriciteit de belangrijkste finale energiedrager wordt heeft dat consequenties voor het energiegebruik en voor de infrastructuur. In de gebouwde omgeving zullen gastoeepassingen zo veel mogelijk vervangen worden door elektrische apparaten. Koken op gas behoort in nieuwbouwwoningen niet meer tot de mogelijkheden, wat een beperking in de keuzevrijheid van consumenten met zich meebrengt. Ruimteverwarming gebeurt door warmtepompen (Paragraaf 6.2.4) of warmtedistributie (Paragraaf 6.2.6), met de mogelijke bezwaren van dien. De belasting van het laagspanningsnet zal vooral in het eerste geval flink toenemen. Dat geldt ook voor het middenspanningsnet indien op grote schaal elektrische auto's worden ingevoerd. Met hybride voertuigen is dit minder prangend, hoewel daar het ruimtebeslag in de auto weer erg groot is.

De blauwdruk 'Elektrisch' is voor een aantal actoren niet aantrekkelijk, vanwege de noodzaak tot warmtedistributie of elektrische warmtepompen. Ook de afwezigheid van een fijnmazig gasnet motiveert een aantal afwijzingen. KEMA staat als pleitvoerder voor deze blauwdruk tamelijk alleen. Gemeenten passen hier en daar wel warmtepompen en warmtedistributie toe, maar daarnaast ook allerlei andere concepten, die beter passen in de twee andere blauwdrukken.

### *Blauwdruk 'Waterstof'*

De blauwdruk 'Waterstof' vindt meer weerklank, hoewel er met de energiedrager waterstof nog weinig ervaring is. Natuur- en milieuorganisaties zien kansen voor duurzame opties (zon, wind, biomassa) ten behoeve van waterstofproductie. De Consumentenbond is erg gecharmeerd van gasgestookte warmtepompen en brandstofcellen. Kennis hieromtrent zit vooral bij Gastec resp. ECN. Zowel de Consumentenbond als Natuur & Milieu heeft een voorkeur voor decentrale technologie.

Aan het verduurzamen van de aardgasinfrastructuur kleeft een aantal moeilijkheden. Het bijmengen van biogas aan aardgas is riskant, als het niet wordt opgewerkt tot aardgaskwaliteit. Anders leidt het tot rendementsdalingen van apparaten en corrosie als een potentieel probleem bij condenserende toestellen. Voor de overschakeling op waterstof moeten toestellen met gasbranders flexibel gemaakt, zodat ze ook op waterstof (toevoeging) branden. In de industrie wordt dit al gedaan. De aanpassingen aan apparaten, transportmiddelen en infrastructuur kan in principe stapsgewijs plaatsvinden, zodat er geen radicale innovaties (gevoelig voor maatschappelijke weerstand) nodig zijn. Aan auto's op brandstofcellen wordt veel onderzocht, maar voornamelijk zijn er geen noemenswaardige demonstratieprojecten. Wel rijden er ruim honderd voertuigen op aardgas rond.

Overigens blijft het de vraag of een waterstofeconomie niet op maatschappelijke weerstand zal stuiten, vanwege de associaties met 'knalgas' en de waterstofbom.

### *Blauwdruk 'Bestaande Infrastructuur'*

De decentrale variant van 'Bestaande Infrastructuur' wordt tamelijk breed gedragen door maatschappelijke organisaties, mits hiermee voldoende duurzaamheid bereikt wordt. De Consumentenbond is echter bang dat er te weinig milieuwinst te boeken valt met deze blauwdruk. Maatschappelijke organisaties noemen het behoud van de bestaande infrastructuur niet als argument pro 'Bestaande Infrastructuur'. Bij kennisinstellingen bestaat voldoende basis voor technologieën die in alle drie blauwdrukken een rol spelen, maar op specifieke technologieën van 'Bestaande Infrastructuur' (trigeneratie, Fischer Tropsch, methanisering van biomassa) zijn ze minder voorbereid. Lokale overheden passen verschillende concepten toe, maar doen dit niet consequent blauwdruksgewijs. Dat betekent overigens niet dat ze voor 'Bestaande Infrastructuur' pleiten.



## 7. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In dit hoofdstuk worden de conclusies aangaande de technologische (Hoofdstuk 2 en 3), bedrijfseconomische (Hoofdstuk 4) en maatschappelijke (Hoofdstuk 5) wrijvingsfactoren met elkaar in verband gebracht, aan de hand van een aantal thema's.

### *Vergaande CO<sub>2</sub>-reductie: leiden er veel technologische wegen naar Rome?*

In dit rapport is aan de hand van drie 'blauwdrukken' van de toekomstige energievoorziening onderzocht of vergaande CO<sub>2</sub>-reductie (50% in 2050) technisch mogelijk is. In één blauwdruk blijven elektriciteit, methaan en benzine en diesel de rol van finale energiedrager vervullen en verandert alleen de oorsprong van die energiedragers (Bestaande Infrastructuur). In de beide andere blauwdrukken is elektriciteit resp. waterstof de dominante finale energiedrager. In alle drie blauwdrukken is een technische invulling van de energievoorziening voorstelbaar waarbij de CO<sub>2</sub>-emissies met 50% gereduceerd worden (N.B. de daarmee gepaard gaande kosten zijn geen onderwerp van studie geweest, evenmin als andere milieu-effecten). In alle blauwdrukken gaat dat gaat wel gepaard met een grote inzet van *alle* belangrijke duurzame energiebronnen (zon, wind, biomassa en omgevingswarmte), ook al wordt daarnaast *ook* op grote schaal gebruik gemaakt van CO<sub>2</sub>-opslag en/of kernenergie.

De Bestaande Infrastructuur blauwdruk heeft het grote voordeel dat geleidelijke overgang naar een CO<sub>2</sub>-arme voorziening mogelijk is zonder de energie-infrastructuur<sup>6</sup> fundamenteel aan te passen. Groot nadeel lijkt dat biomassa in feite de enig mogelijke bron is voor CO<sub>2</sub>-arme synthetisch aardgas (SNG) en benzine/diesel, waardoor de afhankelijkheid van biomassa erg groot wordt.

De Waterstof blauwdruk heeft als grote voordeel dat het eindgebruik volledig CO<sub>2</sub>-vrij wordt. Het nadeel is dat zowel de infrastructuur voor transport en distributie als de eindconversie (ketels, motoren, turbines) aangepast of geheel vernieuwd moeten worden. Dit soort omschakelingen vergt veel tijd en regie. En veel energie: de productie van waterstof stuwt het primair energiegebruik op.

De Elektriciteit blauwdruk lijkt de voordelen van de beide andere blauwdrukken te combineren: het eindverbruik wordt CO<sub>2</sub>-vrij en een geleidelijke overgang is tot op zekere hoogte mogelijk. Bovendien heeft deze blauwdruk de charme van de eenvoud: minder netten voor transport en distributie, en maar één conversiestap van primaire naar finale energiedrager. Maar de schijn bedriegt wellicht: veel 'mooie' technologische opties vallen buiten de boot, dus wedden we niet teveel op één paard? En is er niet veel (lastige) opslag nodig (in de transportsector, ongelijktijdigheid van vraag en aanbod in de gebouwde omgeving)? In ieder geval blijkt er bij de energiebedrijven en maatschappelijke organisaties weinig enthousiasme voor deze blauwdruk. Het gebrek aan flexibiliteit en keuzevrijheid voor de eindverbruiker is het meest genoemde bezwaar<sup>7</sup>. Natuurlijk zijn ook combinatievormen van deze blauwdrukken mogelijk. Bij die combinatie-mogelijkheden zijn echter dezelfde veranderingsprocessen aan de orde: introductie van nieuwe finale energiedragers en/of inzet van nieuwe primaire energiedragers bij de productie van finale energiedragers. De blauwdrukken zijn daarom een adequaat middel om te onderzoeken welke veranderingen nodig en mogelijk zijn, en welke 'wrijving' dat met zich mee brengt.

---

<sup>6</sup> Met energie-infrastructuur wordt hier bedoeld: de systemen voor transport en distributie van de finale energiedragers.

<sup>7</sup> Hier ligt kennelijk de impliciete aanname aan ten grondslag dat de eindverbruiker niet alleen flexibiliteit wil m.b.t. de keuze van energieleverancier, maar ook m.b.t. het soort energie-apparaten dat hij/zij in huis heeft, het is de vraag of een ongestoorde, betrouwbare en niet te dure energievoorziening niet veel belangrijker is voor het merendeel van de consumenten.

### *Lock-in of lock-out: is de Bestaande Infrastructuur blauwdruk wel te verslaan?*

In de interviews wordt o.a. aangegeven dat de bedrijven in de energiesector bang zijn op het verkeerde paard te wedden (een menselijke eigenschap die versterkt wordt door de liberalisering). Dat geldt voor de keuze van technologie, maar ook voor de keuze van infrastructuur. Men wil niet alle kaarten zetten op 'all electric' of 'all hydrogen', uit angst voor een 'lock in' in een mogelijk doodlopende weg. Vanuit de *energiebedrijven* vallen dus geen aanzetten in de richting van een die blauwdrukken te verwachten. Belangstelling voor innovatief onderzoek op het gebied van transport en distributie, bijv. het geschikt maken van het aardgasnet voor waterstof, lijkt er niet te bestaan. Anders dan in het geval van energietechnologie, is onderzoek op het gebied van transport en distributie in het verleden door de overheid volledig aan de sector zelf overgelaten (i.c. Kema en Gastec). Als gevolg van de liberalisering ligt de nadruk op kostenbesparing op korte termijn, en niet op aandacht voor de lange termijn. Omdat netten een lange levensduur hebben, zou het aan te bevelen zijn om bij de aanleg juist wel met de lange termijn rekening te houden. Innovatief onderzoek op dit gebied dreigt het slachtoffer van de liberalisering te worden. Hier ligt een taak voor de overheid.

Ook vanuit het klimaatbeleid komen er waarschijnlijk voorlopig geen prikkels om te komen tot een nieuwe energie-infrastructuur. Waarschijnlijk kan Nederland nog heel lang (in ieder geval tot vele jaren na 2010) aan haar klimaatdoelstellingen voldoen zonder dat een fundamentele wijziging van het energiesysteem noodzakelijk is. Met grote inspanningen op het gebied van duurzame energie en energiebesparing in het binnenland, en de inzet van de zogenaamde flexibele instrumenten in het buitenland, zijn de doelstellingen haalbaar.

Al met al is er meer reden tot angst voor een 'lock out' van vormen van de energievoorziening die een fundamentele omschakeling vergen dan tot angst voor een 'lock in'. Als we er voor kiezen 'bijziend' te zijn, dan is de energievoorziening in 2020 qua structuur ongewijzigd, en is de tijd die we hebben om die structuur wel drastisch te wijzigen verkort van 50 naar 30 jaar. Dit doet de 'kansen' van de waterstof-blauwdruk aanzienlijk dalen, en in mindere mate ook de kansen van de 'all electric'-blauwdruk. Als we nu niet werken aan het openhouden van bepaalde opties, worden die opties vanzelf kansloos.

### *Duurzame energie, besparingen, nucleair en CO<sub>2</sub>-opslag: alternatieven of bondgenoten tegen wil en dank?*

Het is in principe in alle drie blauwdrukken mogelijk om tot 50% CO<sub>2</sub>-reductie te komen. Dat gaat wel gepaard met een grote inzet van *alle* belangrijke duurzame energiebronnen (zon, wind, biomassa en omgevingswarmte), ook al wordt daarnaast *ook* op grote schaal gebruik gemaakt van CO<sub>2</sub>-opslag en/of kernenergie.

Dit vormt indirect een pleidooi voor voortdurende aandacht voor verdergaande energiebesparing. Het argument dat zuinig omgaan met energie niet meer zo belangrijk is als die energie toch 'groen' is, gaat alleen op als die groene energie in overvloed en tegen lage prijzen beschikbaar is. Als er niet heel veel meer dan nu aan energiebesparing gedaan wordt, is voor 50% CO<sub>2</sub>-reductie een enorm beroep of duurzame energiebronnen nodig: vele tienduizenden megawatts PV en wind en 1000 tot 2000 PJ biomassa zijn dan bij lange na niet voldoende om 50% CO<sub>2</sub>-reductie te bereiken. Ook andere opties voor een CO<sub>2</sub>-arme energievoorziening (besparingen, CO<sub>2</sub>-opslag, kernenergie) mogen dus niet vergeten worden. Het wordt alle hens aan dek.

### *Centraal of decentraal?*

De energiesector verwacht een toenemend aandeel voor decentrale energieopwekking. Eigenschappen als minder grote investeringen per installatie, een minder grote afhankelijkheid van het distributienet en 'dicht bij de klant' lijken beter te passen bij een geliberaliseerde energiemarkt. Beheersbaarheid, flexibiliteit en keuzevrijheid zullen ook voor de eindverbruiker aantrekkelijke eigenschappen zijn. Maatschappelijke organisaties spreken ook hun voorkeur uit voor decentrale technologie (keuzevrijheid voor de gebruiker, stimulans voor zuinig omgaan

met energie). Die decentrale technologieën zijn veelal nieuw en dus nog veel onderzoek en ontwikkeling vergen. Ook geldt voor veel decentrale technologie dat er veel actoren bij betrokken zijn (bewoners, huizenbouwers/projectontwikkelaars, omwonenden, gemeenten, installateurs, etc), met mogelijk tegenstrijdige belangen. Bovendien blijkt dat in alle drie blauwdrukken een invulling met een (bijna) uitsluitend decentraal karakter veel moeilijker is te geven dan een invulling met grootschalige, centrale conversietechnologie. De productie van de finale energiedragers (elektriciteit, waterstof of SNG, biobrandstoffen) vindt centraal plaats, waarna de geproduceerde energiedragers gedistribueerd worden. Een meer decentrale invulling van de energievoorziening dan in de hier gepresenteerde blauwdrukken is wel mogelijk (bijv. met nog veel meer PV, zon-thermisch met opslag, veel warmtekrachtkoppeling op aardgas of lokaal geproduceerde waterstof), maar de afhankelijkheid van enkele primaire dragers wordt daarmee zeer groot. Met name in de Bestaande Infrastructuur blauwdruk, die zoals is gebleken veruit de meeste kans maakt, lijkt een decentrale energievoorziening het moeilijkst te realiseren, aangezien lokale productie van SNG en transportbrandstoffen uit biomassa niet voor de hand ligt. De uitgesproken voorkeuren voor enerzijds de Bestaande Infrastructuur blauwdruk en anderzijds een decentrale energievoorziening, lijken vanuit het gezichtspunt van vergaande CO<sub>2</sub>-reductie dan ook nog al tegenstrijdig. Centrale technologie, met name voor de productie van secundaire brandstoffen, zal hoe dan ook erg belangrijk blijven.

#### *De rol van onderzoek*

Ten aanzien van het (benodigde) onderzoek zijn op grond van deze studie een aantal zaken op te merken:

1. Reeds eerder genoemd: onderzoek naar nieuwe, innovatieve systemen voor transport en distributie dreigen tussen de wal en het schip te vallen, nu de energiesector (traditioneel uitvoerder van dit onderzoek) in de geliberaliseerde wereld weinig of geen prikkels ondervindt tot dit type onderzoek.
2. De blauwdruk 'waterstof' kent het grootste aantal potentiële technologieën met de grootste vereiste ontwikkelingsinspanning. Daarnaast lijkt er vanuit de onderzoeksinstituten (Kema, TNO, Gastec, ECN) relatief weinig aandacht voor het maken van synthetisch aardgas en transportbrandstoffen uit andere energiedragers dan olie. Dit is mogelijk te verklaren uit het feit dat dit soort onderzoek (via een omweg toch weer hetzelfde maken) wetenschappelijk wellicht minder aanspreekt dan de theoretisch aantrekkelijker concepten uit de waterstofeconomie of de all electric society. De blauwdruk die in de maatschappij veruit de meeste steun krijgt, Bestaande Infrastructuur, lijkt in de onderzoekswereld relatief weinig aandacht te krijgen. Opvallend in dit verband is dat het maken van benzine en diesel uit biomassa, dat momenteel in het GAVE-programma veel aandacht krijgt, tot op heden vooral door Shell werd gestimuleerd, en niet vanuit de onderzoekswereld.
3. De productie van gasvormige en vloeibare energiedragers is veel afhankelijker van biomassa dan de productie van elektriciteit. Onderzoek zou zich meer kunnen richten op deze toepassingen van biomassa (i.p.v. elektriciteitsopwekking) en dan met name op technologieën met een zo hoog mogelijke verhouding tussen het gewenste eindproduct en de benodigde biomassa. Daarbij ligt samenwerking met de landbouwsector en de raffinagesector voor de hand: de landbouwsector als producent voor biomassa, de raffinagesector die veel belang heeft bij het maken van transportbrandstoffen.

#### *De rol van overheden*

De meeste respondenten uit de energiesector zijn van mening dat de markt bepaald hoe de energievoorziening van de toekomst er uit zal zien. Een minderheid vindt dat de overheid de richting bepaalt. Zowel energiebedrijven als maatschappelijke organisaties vinden dat de overheid randvoorwaarden moet stellen. Als de overheid minder invloed krijgt, wordt de rol van maatschappelijke organisaties via beïnvloeding van die overheid krijgt, geringer. De invloed via beïnvloeding van de consument zou daarentegen wel eens veel groter kunnen worden, maar hierover blijken de meningen erg verdeeld.

De overheid heeft een uitgebreid beleidsinstrumentarium op het gebied van energiebesparing (EPN, MJA's, benchmarking, subsidies) en elektriciteit uit duurzame bronnen (subsidies, groencertificaten, verplicht aandeel). In deze studie wordt duidelijk dat voor vergaande CO<sub>2</sub>-reductie alle zeilen bijgezet moeten worden. Dat betekent dat ook in de transportsector, de warmtevoorziening en industrie (chemie) de energievoorziening veel minder CO<sub>2</sub> mag uitstoten. Op deze terreinen lijkt het overheidsbeleid veel minder ontwikkeld.

Op het gebied van de energie-infrastructuur lijkt er op dit moment een soort vacuüm te bestaan. In de interviews geven de energiebedrijven aan dat het niet duidelijk is wie op het gebied van veranderingen van de energie-infrastructuur het voortouw moet nemen en wie de kosten moet dragen. Hier ligt een duidelijke taak voor de overheid. Uitgangspunt van het beleid zou moeten zijn dat het geen zin heeft de energie-infrastructuur geforceerd op korte termijn te veranderen, maar dat al wel geanticipeerd moet worden op de lange termijn. Op grond van deze studie, dienen twee beleidsrichtingen zich aan:

1. Er voor kiezen om niet heel actief veranderingen van de energie-infrastructuur na te streven. Eerder in deze conclusies is al aangegeven dat dan de Bestaande Infrastructuur blauwdruk bijna vanzelf werkelijkheid wordt. Het technologiebeleid (onderzoek en ontwikkeling) kan dan heel gericht op deze blauwdruk gericht worden. Deze aanpak heeft als voordelen dat geen moeilijke keuzes gemaakt hoeven te worden, prioriteitsstelling in het energieonderzoek relatief eenvoudig wordt en de hand op de knip gehouden kan worden.
2. Er voor kiezen om actief te bewerkstelligen dat alle opties opengehouden en voorbereid worden. Dat zou voor de komende decennia betekenen dat in het energieonderzoek verschillende technologische richtingen aandacht moeten krijgen, en dat onderzocht moet worden hoe de netbeheerders op de beste manier geprikkeld kunnen worden tot het plegen van innovaties.

Om het onderzoek naar de toepassing van nieuwe finale energiedragers (bijv. ethanol-auto's, 'groen' aardgas, waterstof, etc) vaste grond onder de voeten te geven, zouden er de komende decennia ook concrete experimenten uitgevoerd moeten worden. Bijvoorbeeld op lokaal niveau daadwerkelijk een Waterstof- of Elektriciteit-blauwdruk in praktijk brengen. Lokale overheden lijken al klaar voor de rol die daarbij voor hen is weggelegd. Het zijn immers gemeenten die nu al zorgen voor experimenten met nieuwe infrastructuren en eindverbruikerstechnologieën (met name op VINEX-locaties, maar bijv. ook t.a.v. praktijkproeven met alternatieve transportbrandstoffen).

## LIJST VAN AFKORTINGEN

AVI	Afvalverbrandingsinstallatie
BIG	Biomass integrated gasifier
CB	Carbon Black
CC	Combined Cycle, combinatie van een gasturbine met een nageschakelde stoomcyclus
CNG	Compressed Natural Gas, gecomprimeerd aardgas
CO <sub>2</sub>	Koolstofdioxide
DME	Dimethyl ether
E	Elektriciteit
EtOH	Ethanol
FT	Fischer - Tropsch
GSWKK	Groene synthese warmtekrachtkoppeling, coproductie van chemicaliën/brandstoffen, elektriciteit en warmte.
GT	Gasturbine
H <sub>2</sub>	Waterstof
HD	Hoge druk
HHV	Higher heating value (bovenste verbrandingswaarde)
HT	Hoge temperatuur
HTFC	Hoge Temperatuur Fuel Cell (SOFC of MCFC)
LD	Lage druk
LHV	Lower heating value (onderste verbrandingswaarde)
LT	Lage temperatuur
MCFC	Molten Carbonate Fuel Cell
MeOH	Methanol
MHD	Magnetohydrodynamic, directe conversie van warmte naar elektriciteit
ORC	Organic Rankine Cycle
POX	Partial oxidation
RME	Rape(seed) (oil) methyl ester
SOFC	Solid Oxide Fuel Cell
SPFC	Solid Polymer Fuel Cell
STEG	Stoom- En Gasturbine, combinatie van gasturbine met nageschakelde stoomcyclus
Th	Thermisch
WKK	Warmtekrachtkoppeling

## BIJLAGE A LIJST MET TECHNOLOGIEËN

Input	Technologie	Primair	Product Secudair	Ternair
H2	SPFC H2 auto	beweging		
Aardgas/SNG	Oxidatieve methaankoppeling	Etheen	e	
Aardgas/SNG//H2	H2 uit aardgas met CO2 verwijdering	H2		
Aardgas/SNG//H2	Aardgas stoomreforming	Syngas		
Aardgas/SNG//H2	Partiele oxidatie (POX)	Syngas		
Aardgas/SNG//H2	Autotherme reforming	Syngas		
Aardgas/SNG//H2	POX-krachtkoppeling	Syngas	e	
Aardgas/SNG//H2	u-wkk SPFC	e	warmte	
Aardgas/SNG//H2	u-wkk HT-FC (SOFC)	e	warmte	
Aardgas/SNG//H2	u-wkk stirling	e	warmte	
Aardgas/SNG//H2	u-wkk gasmotor	e	warmte	
Aardgas/SNG//H2	Gaskachel	warmte		
Aardgas/SNG//H2	VR-ketel	warmte		
Aardgas/SNG//H2	HR-ketel	warmte		
Aardgas/SNG//H2	warmtepomp gasgestookt (incl. SDHP)	warmte		
Aardgas/SNG//H2	mini-wkk SPFC	e	warmte	
Aardgas/SNG//H2	mini-wkk HT-FC	e	warmte	
Aardgas/SNG//H2	mini-wkk SOFC-GT	e	warmte	
Aardgas/SNG//H2	mini-wkk MCFC	e	warmte	
Aardgas/SNG//H2	mini-wkk mini-GT	e	warmte	
Aardgas/SNG//H2	mini-wkk gasmotor	e	warmte	
Aardgas/SNG//H2	wijk-wkk SPFC	e	warmte	
Aardgas/SNG//H2	wijk-wkk HT-FC (MCFC/SOFC)	e	warmte	
Aardgas/SNG//H2	wijk-wkk SOFC-GT	e	warmte	
Aardgas/SNG//H2	wijk-wkk mini STEG	e	warmte	
Aardgas/SNG//H2	Stadsverwarming-wkk	e	warmte	
Aardgas/SNG//H2	Oven/fornuis/droger/ketel	warmte		
Aardgas/SNG//H2	GT	e		
Aardgas/SNG//H2	GT-wkk	e	warmte	
Aardgas/SNG//H2	MHD-STEG	e		
Aardgas/SNG//H2	Ketel	warmte		
Aardgas/SNG//H2	STEG	e		
Aardgas/SNG//H2	STEG-wkk	e	warmte	
Aardgas/SNG//H2	Ketel-wkk	e	warmte	
Aardgas/SNG//H2	HT-FC (SOFC/MCFC)	e	warmte	
Aardgas/SNG//H2	SOFC-GT	e	warmte	
Aardgas	CB/H2 proces	cokes	H2	
Aardwarmte	Aardwarmte	warmte		
Aardwarmte	ORC	electriciteit		
Afval	Oven/fornuis/droger	warmte		
Afval	AVI	e		
Afval	AVI-wkk	e	warmte	
Afval	vergassing	syngas		
Afval	pyrolyse	syngas		
Afval	allesbrander	warmte		
Benzine	Verbrandingsmotor	beweging		
Benzine	Hybride aandrijving	beweging		
Benzine	SPFC	beweging		
Biocrude	biocrude processing	diesel	benzine	
Biomassa	vergassing luchtgeblazen	syngas		
Biomassa	vergassing zuurstofgeblazen	syngas		
Biomassa	vergassing batelle	syngas		
Biomassa	vergassing CASST	syngas		
Biomassa	vergisting	sng		
Biomassa	HTU	biocrude		
Biomassa	pyrolyse gas	syngas		

Input	Technologie	Product		
		Primair	Secudair	Ternair
Biomassa	pyrolyse vloeistof	biocrude		
Biomassa	pyrolyse vast	coke		
Biomassa	fermentatie	EtOH		
Biomassa	DME productie	DME		
Biomassa	oven/fornuis/droger/ketel	warmte		
Biomassa	grondstof chemie	chem.prod		
Biomassa	houtkachel	warmte		
Biomassa	stadsverwarming	warmte		
Biomassa algen	extractie/hydrocracking	diesel		
Biomassa mest	vergisten	SNG		
Biomassa mest	ketel	warmte		
Biomassa mest	vergassen	syngas		
Biomassa teelt (koolzaad)	extractie/verestering	diesel		
CNG	Verbrandingsmotor	beweging		
CNG	Hybride aandrijving	beweging		
CNG	SPFC	beweging		
Diesel/biodiesel/RME/DME	Verbrandingsmotor	beweging		
Diesel/biodiesel/RME/DME	Hybride aandrijving	beweging		
Diesel/biodiesel/RME/DME	SPFC	beweging		
e	elektrolyse HD/HT	H2		
e	elektrolyse HD/LT	H2		
e	elektrolyse LD	H2		
e	Electrische boiler	warmte		
e	Electrische warmtepomp	warmte		
e	elektrische auto	beweging		
EtOH	Verbrandingsmotor	beweging		
Huisbrandolie	ketel	warmte		
Kolen	Vergassing	Syngas	warmte	
Kolen	Liquifactie	Olie	warmte	
Kolen	Ketel	e		
Kolen	oven/fornuis/droger/ketel	warmte		
Kolen	MDH-STEg	e	warmte	
LPG	Verbrandingsmotor	beweging		
LPG	Hybride aandrijving	beweging		
LPG	SPFC	beweging		
MeOH	Verbrandingsmotor	beweging		
MeOH	Hybride aandrijving	beweging		
MeOH	SPFC	beweging		
Restgas	oven/fornuis/droger/ketel	warmte		
Restgas	ketel-wkk	e	warmte	
Restgas	STEg	e		
Restgas	STEg-wkk	e	warmte	
Stookolie	ketel	warmte		
Stortgas	gasmotor	e		
Syngas	MeOH productie conventioneel	MeOH		
Syngas	MeOH productie LPMEOH	MeOH		
Syngas	MODG	benzine	diesel	
Syngas	MeOH productie GSWKK	MeOH	e	warmte
Syngas	Fischer Tropsch direct	diesel		
Syngas	Fischer Tropsch SHOP	diesel		
Syngas	Fischer Tropsch GSWKK	diesel	e	warmte
Syngas	chemische productie	chem.prod		
Syngas	oven/fornuis/droger/ketel	warmte		
Syngas	GT	e		
Syngas	GT-wkk	e	warmte	
Syngas	MDH-STEg	e		
Syngas	STEg	e		
Syngas	STEg-wkk	e	warmte	
Syngas	HT-FC(MCFC/SOFC)	e	warmte	
Syngas	wijk-wkk SPFC	e	warmte	
Syngas	wijk-wkk HTFC (MCFC/SOFC)	e	warmte	

Input	Technologie	Product		
		Primair	Secudair	Ternair
Syngas	wijk-wkk GT	e	warmte	
Syngas	wijk-wkk STEG	e	warmte	
Syngas	shift/prox/(CO2 verwijdering)	H2		
Syngas	methanisering	SNG		
Uranium	LWR	e		
Uranium	HTR + stoom	e	stoom	
Uranium	HTR + warmte	e	warmte	
Water	Waterkracht mini-waterkracht	e		
Water	Waterkracht getijden	e		
Water	Waterkracht golfenergie (AWS)	e		
Wind	Wind lokaal	e		
Wind	Wind parken centraal	e		
Wind	Wind op zee	e		
Zon	PV	e		
Zon	zonnecollector	warmte		
Zon	biophotolyse	H2		
Biomassa + aardgas	FISST	syngas		
Biomassa + H2	hydrovergassing	SNG		
Biomassa + kolen	co-verbranding	e		
Biomassa + kolen	co-vergassing	syngas		
Uranium + aardgas	gas heated reformer	syngas		
Koolbedmethaan + CO2	STEG (CO2 verwijdering)	e		



## REFERENTIES

- Akrich, M. (1995): 'User representations: practices, methods and sociology'. In: A. Rip et. al. (eds.), *Managing technology in society. The approach of constructive technology assessment*, Pinter Publ., London, pp.167-184.
- Algemene Energieraad (1999): *Overheidsbeleid voor de lange termijn energievoorziening*, Advies aan de minister van Economische Zaken, juli 1999.
- Baas, N., E. Esseling, F. Fontijn, F. Jonkman, M. Kaal, M. Osse en F. Schoof (1999): *Trends in Energy 1999*, Moret Ernst & Young, pp. 74, 1999.
- Bezinningsgroep Energiebeleid (2000): *Klimaatprobleem: oplossing in zicht*. April 2000.
- Boer, A. de (1998): 'Via triplegas naar waterstofeconomie'. *Gas*, juli/augustus 1998, pp. 28-31.
- Boer, A. de (1999): 'Collectieve geïntegreerde systemen in nieuwbouw. Combinaties van warmtekracht, warmtepompen en energieopslag', *Gas 3*, pp.26-31.
- Centraal Planbureau (1997): *Economie en fysieke omgeving, Beleidsopgaven en oplossingsrichtingen 1995-2020*. Den Haag, 1997.
- Coelingh, J. (1997): 'Greenpeace wil 10.000 MW op zee', *Duurzame energie 3*, pp.35.
- Collins, L. (1998): 'Renewable energy from wood and paper: technological and cultural implications', *Technology in society 20*, pp.157-177.
- Driel, M (1999), 'Waterstoftechnologie ontwikkelt zich'. In: *EnergieNed, Oogst '98*, pp. 9-10.
- DTO, (1997): *Duurzame Technologische ontwikkeling Chemie., Vijf technologie ontwikkelingsvelden*. Willens & van de Wildenberg B.V.
- Duurzame energie in uitvoering. Voortgangsrapportage* (1999). Ministerie van Economische Zaken, Den Haag.
- ECN (1998): *Nationale Energie Verkenningen 1995-2020*. ECN-C--97-081, maart 1998.
- Energierapport* (1999), Ministerie van EZ, Den Haag.
- EPON, EZH, EPZ, Sep, Una (1997): *Doorstromen naar duurzaam*. Januari 1997.
- EVN (1998), *Energie Verslag Nederland 1998*, ECN, Petten.
- Faaij e.a. (1999): *Beelden van de toekomst, twee visies op de Nederlandse energievoorziening ten behoeve van de Nationale Dialoog*, 1999.
- Gasunie (1999), *Gasunie research. Onderzoeksgebied krachtopwekking*, <http://www.gasunie.nl/research/nl/index.htm>.
- GAVE, (1998): *Verslag van de strategische Workshop 2 december 1998, Nieuwe Gasvormige en Vloeibare energiedragers*. Novem rapport 9901.
- Gelder, J.W. van (1998): 'Vinex-bouwgolf wekt veel energie op', *Gas 1*, pp. 28-32.
- Gelder, J.W. van (1999): *Warmtedistributie verdient een kans op Vinex-locaties*, CONTRAST Advies, <http://www.xs4all.nl/~contrast/publicaties/stadsverwarming.html>.
- Geurs, K.T. e.a. (1998): *Verkeer en vervoer in de Nationale Milieuverkenning 4*, RIVM, rapportnummer 773002011, maart 1998.
- Giljamse, W. (1999), *0-energie woning*, ECN colloquium 8 november, Petten.

- Gradassi, M.J., Green, N.W., Economics of Natural Gas Conversion Processes, Fuel Processing Technology, 42 (1995), pp. 65-83.
- Hamel, G. and C.K. Prahalad - *De strijd om de toekomst* - Scriptum books, Schiedam, 1994.
- Heijden, H.A. van der (1997), 'Goeie lobbes moet de macht uitdagen', *Milieudefensie 4*, pp.42-45.
- Iwaco (1999): 'Bij nieuwbouw kan de aanleg van warmtepompen goedkoper zijn', *Duurzame energie 3*, pp. 5.
- Janse, F. (1997): 'Gemeenten meer betrokken', *Duurzame energie juni*, pp. 17.
- Kampen, B. van (1999): 'De groeistuipe van zonnecellen', *Energietechniek 5*, pp.248-251.
- KEMA (1997): *From Source to Service, an invitation to a new and integrated energy and environment policy*. February 1997.
- Kipperman, A.H.M. (1995): Toekomstige structuur van de Energievoorziening, *De ingenieur*, nr. 20, pp. 26-28, december 1995.
- Kobussen (1999): 'Ook Nederland wil steeds vaker koelen', In: *70 jaar Gastec*, presentaties 30/9/99, pp. 9-10.
- Kram, T., D. Hill (1993): *National energy options for reducing CO<sub>2</sub> emissions, volume 1: the international connection*. A Report of the Energy Technology Systems Analysis Programma / Annex IV (1990-1993), ECN-C--93-046, September 1993.
- Kwant, P.W. (1997): 'Een gigantische omschakeling die er hoe dan ook komt'. In: DTO, *Sleutel chemie. Zon en biomassa: bronnen van de toekomst*, Ten Hagen & Stam, Den Haag.
- Laat, B. de (1996): *Scripts for the future. Technology foresight, strategic evaluation and socio-technical networks: the confrontation of script-based scenarios*, PrintPartners Ipskamp, Enschede.
- Lako, P., Seebregts, A.J. (1995): *Characterisation of power generation options for the 21st century Report on behalf of Macro task E1.*, ECN-C--98-085, 1995.
- Langman, M. en M. van der Sman (1999): *Zonne-energie. Van eeuwige belofte tot concurrerend alternatief*, KPMG, Hoofddorp.
- Larson, E.D., Haimin Jin, (1999): *Biomass conversion to Fischer-Tropsch liquids: Preliminary energy balances, Making a business from biomass in energy, environment, chemicals, fibers and materials*. proceedings of the biomass conference of the Americas, 1999.
- LEI-DLO (1999): *Tegenwind verwacht voor windenergie in de agrarische sector*, <http://www.lei.dlo.nl/News/1607.html>.
- Lely, U.Ph. (1999): 'Mini-wk's in de praktijk getest', *Gas 10*, pp.32-36.
- Lenstra, W.J. e.a. (1999): *Frameworks and communication: perspectives in tackling the climate change challenge for energy supply*. Den Haag, Ministerie van VROM.
- Lundvall, B.A. (1988): 'Innovation as an interactive process: from user-producer interaction to the national system of innovation'. In: G. Dosi et. al. (eds.), *Technical change and economic theory*, Pinter Publ., London, p.349-369. Matthyssens, M., Martens, M. en Vandenbempt, K., Concurrentiestrategie en marktdynamiek, Kluwer, 1998.
- Menkveld, M. (1998): *Energievraag Utiliteit in 2050*. Interne ECN-notitie, 24 december 1998.
- Mierlo, B. en M. Sprengers (1995): *Een woning met zonnecellen kopen. Onderzoek onder inschrijvers en kopers van nieuwbouwwoningen in Amsterdam*, IVAM, Amsterdam.
- Mierlo, B. van (1999): *Zonnecellen op het dak: wat vinden kopers daarvan? Een vergelijking van drie projecten*, IVAM, Amsterdam.

- Mierlo, B., A. van Roekel en C. Westra (1994): *Maatschappelijk draagvlak voor zonnecellen op huurwoningen. Besluitvorming rond het PV-project in Heerhugowaard en de ervaringen van bewoners en omwonenden*, IVAM, Amsterdam.
- Nas, M. et al. (1997): *Maatschappelijke organisaties, publieke opinie en milieu*, Sociaal en Cultureel Planbureau, Rijswijk.
- Natuur en Milieu (1998): *Hout voor energieopwekking alleen onder voorwaarden. Gezamenlijk persbericht van Stichting Natuur en Milieu en 12 provinciale milieufederaties*, <http://www.snm.nl/pers/biomassa.htm>.
- Novem, *Plaatsingsplan windenergie buitengaats*, augustus 1999.
- Okken, P.A. e.a. (1993): *Drastische CO<sub>2</sub>-reductie: hoe is het mogelijk*. ECN-C-92-066, januari 1993.
- Patterson, W., (1999): *Transforming electricity*, Earthscan publications ltd., London, 1999.
- Paul, P.F.M., Romey, I.F.W., McMullan, J.T., (1994): Advanced transport fuels from fossile sources: Strategic considerations, *Int. J. Energy. Res.*, volg 18, pp. 65-67.
- Porter, Michael E., (1980): Concurrentiestrategie: analysemethoden voor bedrijfstukken en industriële concurrenten, oorspronkelijke titel: *Competitive strategy*, New York, 1980.
- Porter, Michael E., (1985): *Competitive advantage*, The free Press, New York, 1985.
- RIVM, *Milieubalans 99*, Bilthoven, september 1999.
- Schimmelpfennig, D., (1995): *The option value of renewable energy: the case of climate change*. *Energy Economics*, 1995, vol. 17, no. 4, pp. 317-317.
- Schot, J.W. (1992): 'Constructive technology assessment and technology dynamics: the case of clean technologies', *Science, technology & human values 1*, pp.36-56.
- Schrauwers, A., (1999): Duurzame chemie kampt met lange duur, *Chemisch Weekblad*, nr. 7, 10 april 1999.
- Schuld, J.H. (1998), *Verkeer en vervoer in de 21<sup>e</sup> eeuw. Deelproject 5: elektrische infrastructuur*, Kema, Arnhem.
- Scott, D.S. (1994): The Energy System, *International Journal of Hydrogen Energy*, pp. 485-490
- Skytte, A. (1999): 'Market imperfections on the power markets in northern Europe: a survey paper'. *Energy Policy* n° 27, pp. 25-32.
- SSZ (1998): *Stiller, schoner en zuiniger. Verkeer en vervoer in het stedelijk gebied*, Overzicht 1992-1999, Novem, Utrecht.
- Troelstra, W.P., A. Smith and M. Bol (1999): *Implementation barriers of alternative transport fuels*, Innas BV, Breda.
- Veen, C.J. van der en J.L. Peschar (1995): *Aanvaardbaarheid en politieke haalbaarheid van energiebesparende maatregelen*, ABC, De Lier.
- Verwer, J., (1999): *The development of competing electricity markets*, 20<sup>th</sup> AIPE congres on engineering competition, november 1999.
- Vos, R. de (1996): *Nieuwe energie door oude netten*. *Energie- en Milieuspectrum* 11-96, pp.14-17, november 1996.
- VROM-raad, (1998): *Transitie naar een koolstofarme energiehuishouding*. Advies ten behoeve van de Uitvoeringsnota Klimaatbeleid. Advies 010, 23 december 1998.
- W. Korver e.a. (1997): *Wegwijzers naar 2050, verkeer en vervoer in de 21<sup>e</sup> eeuw. Deelstudie 'Vervoerbehoefte en vervoersystemen'*. TNO-INRO, VVG-1997-15.

- Wassenaar, R.H. (1998): 'Warmtepompen in de gebouwde omgeving', *TVVL Magazine* 7/8, pp.18.
- Wit, L.R. de (1998): 'Warmtepompen in de woningbouw. Project De Gelderse Blom', *TVVL Magazine* 7/8, pp.8.
- Woudstra, N. (1997): 'Warmte/kracht? Ja, maar hoe?', *Energietechniek* 12, pp. 667-671.
- Wurster, R. and Zittel, W, Parametric data sheets for selected hydrogen technologies, Published at the workshop on Energy technologies to reduce CO<sub>2</sub> emissions in Europe: prospects, competition, synergy. Energieonderzoek Centrum Nederland ECN, Petten, April 11-12.
- Ybema, J.R. e.a. (1999): *De bijdrage van duurzame energie in Nederland tot 2020*. ECN-C--99-053, september 1999.
- Ybema, J.R., e.a. (1995): *Prospects for Energy Technologies in the Netherlands; Volume 2, Technology characterization and technology results*. ECN-C--95-039, september 1999.
- Zaman, J., (1999): Oxidative processes in natural gas conversion, *Fuel Processing Technology* 58 61-81.