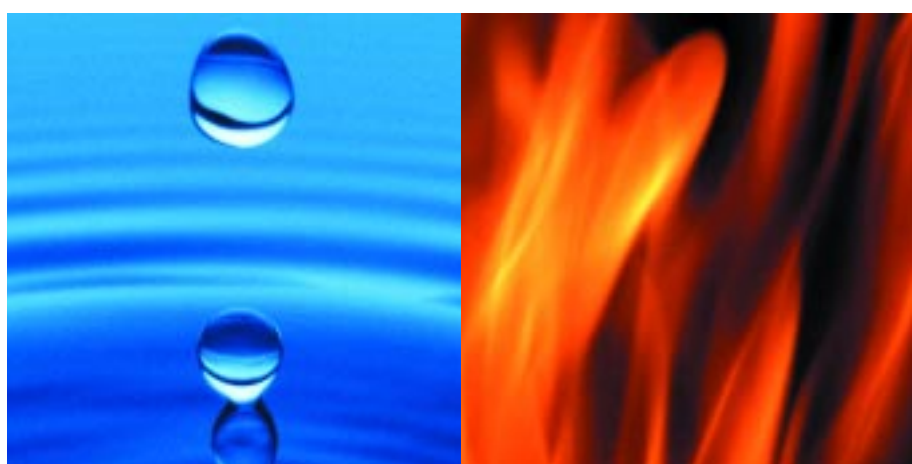


# Energie en samenleving in **2050**

**NEDERLAND IN WERELDBEELDEN**



# Energie en samenleving in **2050**

**NEDERLAND IN WERELDBEELDEN**

*6 december 2000*


# Inhoudsopgave

## 1. Wereldbeelden

Inleiding

Vier wereldbeelden: Vrijhandel, Ecologie op kleine schaal, Isolatie, Grote solidariteit

De mondiale energievoorziening

Wisselwerking energie en wereldbeelden in 2050: West-Europa en Nederland

## 2. De Nederlandse energievoorziening op lange termijn (2050)

Energie in 'Vrijhandel'

Energie in 'Ecologie op kleine schaal'

Energie in 'Isolatie'

Energie in 'Grote solidariteit'

Verschillen, maar ook overeenkomsten tussen wereldbeelden

## 3. De Nederlandse energievoorziening getoetst aan kwaliteitscriteria

Drie criteria: Voorzieningszekerheid, Economische efficiency, Duurzaamheid

Toetsing aan de criteria

## 4. Discussie

### • Bijlagen

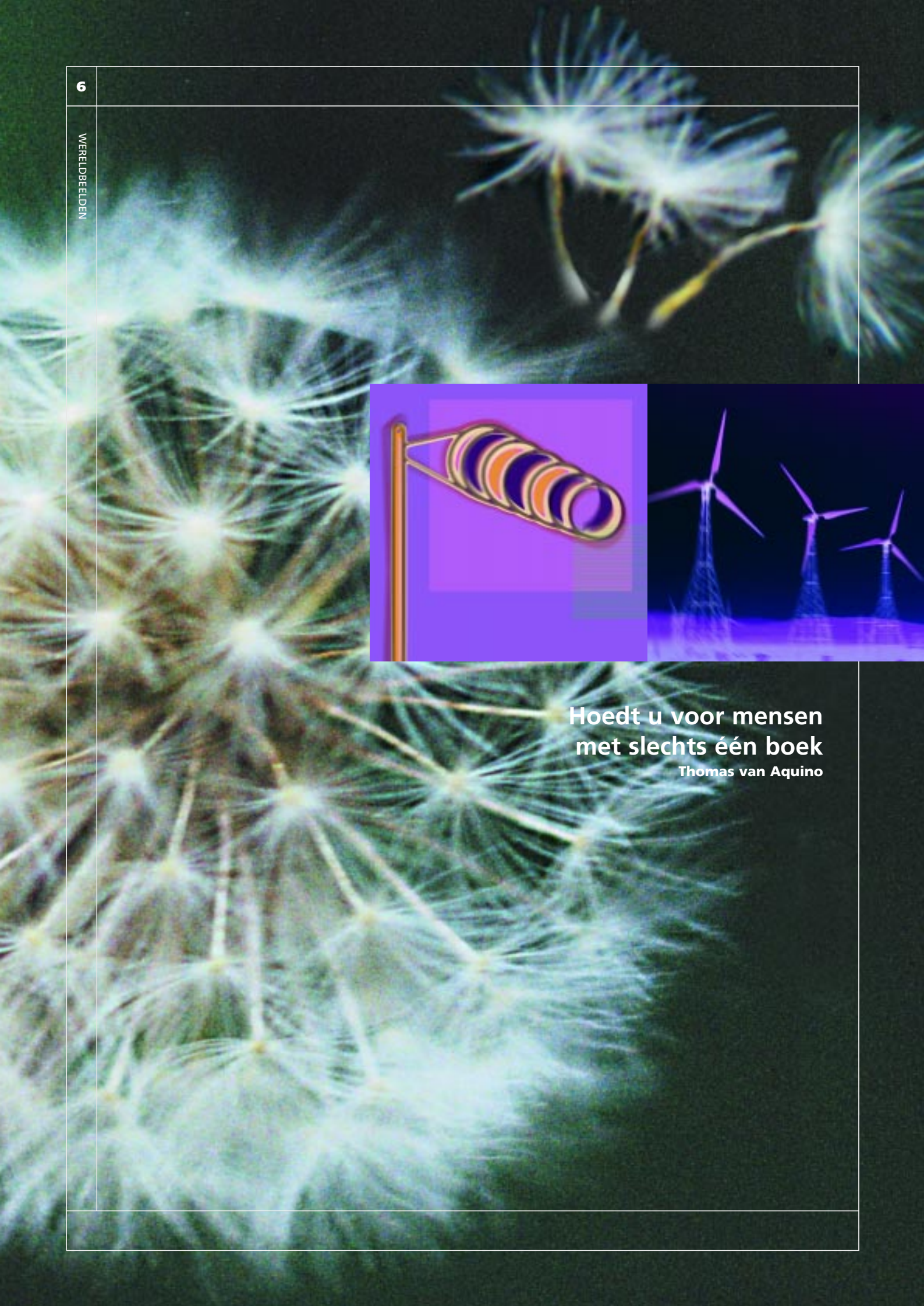
I. Vraag en aanbod van energie: mondiaal

II. Vraag en aanbod van energie: West-Europa en Nederland

Lijst van gebruikte afkortingen

Literatuur- en bronnenoverzicht





**Hoedt u voor mensen  
met slechts één boek**

Thomas van Aquino

# 1 Wereldbeelden

## Inleiding

**Met het project Lange Termijn Visie Energievoorziening (LTVE) beoogt het Ministerie van Economische Zaken de gedachtevorming en discussie te stimuleren over de Nederlandse energievoorziening omstreeks 2050. Dit rapport vormt daar een onderdeel van. Het bestaat uit twee delen. Het eerste deel geeft de visie van het Ministerie op mogelijke ontwikkelingen, alsook een beoordeling daarvan op grond van actuele kwaliteitscriteria. Het tweede deel omvat de bijlagen. Bijlage 1 onderbouwt de in het eerste deel gepresenteerde visie. Dit gebeurt op basis van mondiale kwantitatieve gegevens en trends ontleend aan recente studies. Bijlage 2 geeft een inschatting van het effect van de eerder besproken factoren en trends op de energievoorziening van West-Europa en Nederland. Op grond van dit rapport zal EZ bepalen welke beleidsrespons op dit alles gewenst is.**

Het Ministerie van Economische Zaken vindt het om verschillende redenen van belang om nu al na te denken over de energievoorziening voor volgende generaties. Hierbij verdienen drie specifieke thema's in het bijzonder aandacht:

- Beslissingen omtrent investeringen
- Duurzaamheid
- Onderzoek en ontwikkeling (R&D)

### BESLISSINGEN OMTRENT INVESTERINGEN

Het is de taak van de huidige generatie de juiste investeringen te doen ten behoeve van de energievoorziening. West-Europa en Nederland beschikken over een fijnmazig energiesysteem dat goed gebruik maakt van de beschikbare energiebronnen en adequaat inspeelt op de wensen van de verbruikers. Investeringen op dit terrein zijn vaak groot, hebben een lange aanlooptijd en een lange levensduur. Daarom moeten aanpassingen en vernieuwingen tijdig gebeuren om ook straks aan de wensen van de verbruikers te kunnen voldoen. Maar welke eisen zullen de afnemers anno 2050 stellen? En binnen welk kader - energiemarkt, economie, instituties,

milieukwaliteit, technologie, maatschappelijke normen en waarden - zal dan dit energiesysteem functioneren? Met name de laatste factoren (dus wat sociaal acceptabel is of wordt geprefereerd) kunnen op de langere termijn uiterst relevant blijken.

*Voorbeeld: bepaalde energiesystemen leveren kostenvoordelen op bij toenemende grootschaligheid (centrales, pijpleidingen, windmolens, e.a.). Maar recente ontwikkelingen op energiegebied bieden de verbruiker juist voordelen bij kleinschalige opwekking (brandstofcel, micro-WKK, zon-PV). De mate waarin beide voorzieningen benut zullen worden hangt af van de vraag hoe de consumenten financiële voordelen zullen waarderen ten opzichte van waarden als kleinschaligheid en autonomie.*

### DUURZAAMHEID

Een tweede, minstens zo belangrijk motief voor het Ministerie om een visie te ontwikkelen omtrent de energievoorziening op lange termijn is het streven naar duurzaamheid. In de woorden van de commissie Brundtland ('Our common future', 1987) stelt 'duurzaamheid' de

huidige generatie voor de opgave, op een sociaal aanvaardbare wijze in hun behoeften te voorzien, zonder daarmee de kansen voor toekomstige generaties te verkleinen. Zo'n duurzame ontwikkeling vereist een samenspel van economie en technologie in de juiste sociaal-maatschappelijke context; om daaraan beleidsmatig een bijdrage te kunnen leveren is het dus belangrijk die mogelijke context te verkennen.

#### ONDERZOEK EN ONTWIKKELING

Daarvan afgeleid is er de vraag welke technologie er nu en in de toekomst kan worden toegepast om aan de beoogde duurzame ontwikkeling inhoud te geven. Met deze vraag voor ogen is een visie op de toekomstige energievoorziening van belang voor het inzetten van een R&D-strategie.

#### ZEKERHEDEN EN ONZEKERHEDEN

De energievoorziening is een complex samenspel van fysieke mogelijkheden en beperkingen, economische relaties, instituties en sociaal-psychologische waardepatronen. Omtrent de eerst genoemde factoren bestaat inmiddels veel kennis. Daarom durven wij met (enig) vertrouwen lange termijn voorspellingen te doen. Ook over de tweede factor, economische relaties, zijn veel ervaringsgegevens beschikbaar. Zo kunnen we, bijvoorbeeld, met zekerheid stellen dat de vraag naar energie wordt bepaald door de omvang van de bevolking, het welvaartspeil, de energie-intensiteit van de economie en de efficiency van de gebruikte technieken. Veel minder zeker echter zijn voorspellingen over instituties en sociaal-psychologische waardepatronen. Het is denkbaar dat de internationale ontwikkelingen die we nu meemaken zich zullen voortzetten, maar hoe en in welke mate is niet vanuit empirische relaties voorspelbaar. Het gaat dan om tendenties als liberalisering, mondialisering, technologische ontwikkeling, maar ook streven naar decentralisering, kleinschaligheid, kwaliteit en milieu, e.a.

Uitgangsstelling in dit rapport is, dat de mate van zekerheid bij een termijn van vijftig jaar beperkt is en dat op een zo lange termijn de onzekerheden wezenlijker en interessanter zijn. Doel van dit project nu is om juist die onzekerheden in kaart te brengen en vervolgens een strategie te ontwikkelen die in alle onzekerheid zo niet het grootste voordeel, dan toch tenminste het kleinste nadeel biedt ('least regret strategy').

#### TWEE ONZEKERHEDEN, VIER WERELDBEELDEN

Bij het maken van systematische gissingen omtrent de toekomst zijn twee benaderingswijzen gangbaar: het scenario en de toekomstschets, het 'verhaal'.

De eerste is een volgtijdelijke reeks van gebeurtenissen volgend op de huidige situatie, voortbordurend op vastliggende of vast lijkende causale relaties, die veelal in de vorm van een model zijn gegoten. Deze aanpak is hier niet gevolgd.

Gekozen is voor een tweede benadering, het schetsen van mogelijke toekomstige samenlevingsvormen, zonder ons nu al af te vragen hoe die ontwikkeling zich de komende vijftig jaar zal voltrekken. 'Alternatieve toekomst' dus, die in deze studie 'wereldbeelden' zijn genoemd. Zij zijn opgebouwd vanuit een viertal combinaties van twee fundamentele onzekerheden die, zoals gezegd, liggen in het sociaal-culturele waardepatroon van de samenleving. Elk wereldbeeld is dan een logisch beredeneerd type samenleving dat over vijftig jaar zou kunnen bestaan indien een van die waardepatronen domineert.

#### Vier wereldbeelden: Vrijhandel, Ecologie op kleine schaal, Isolatie, Grote solidariteit

Uit een combinatie van onzekerheden zijn vier wereldbeelden gecondenseerd. Ze zijn afgeleid uit een combinatie van twee, op wereldniveau dominante tendensen met elk twee totaal verschillende uitkomsten (zie figuur op volgende pagina).

#### *E*=Economische ontwikkeling

met als mogelijke uitkomsten:

- a. De wereldeconomie draagt bij aan het oplossen van mondiale problemen als het milieu en de tegenstelling arm - rijk (winst voor de wereld en later) of
- b. De wereldeconomie wordt gebaseerd op direct (geldelijk) gewin (winst voor hier en nu), waarbij de gevolgen voor het milieu er niet toe doen.

#### *S*=Samenwerking

met als mogelijke uitkomsten:

- a. een onderlinge verwevenheid van een volledig open economie met mondiale bestuursstructuren (mondiale instituties) of
- b. regio's en landen verschansen zich achter hun grenzen (lokale netwerken).



## Winst voor hier en nu

<p><b>'Vrijhandel': economie en geld overheersen zonder nationale barrières</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Economie: overal hoge economische groei, tegenstelling arm-rijk is hardnekkig</li> <li>• Technologie: snelle ontwikkeling in dienst van productie</li> <li>• Cultuur: zelfbewuste wereldburgers, grenzeloze consumptie</li> <li>• Instituties: versterking WTO-achtige lichamen</li> <li>• Duurzaamheid: CO<sub>2</sub>-uitstoot blijft stijgen, armoede blijft bestaan</li> </ul>	<p><b>'Isolatie': geldelijk gewin overheerst binnen nationale/regionale grenzen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Economie: rijke landen trekken zich terug achter afgegrensde grenzen</li> <li>• Technologie: beperkte ontwikkeling alleen binnen rijke gebieden</li> <li>• Cultuur: naar binnen gericht, eigen veiligheid voorop, egoïsme</li> <li>• Instituties: geen</li> <li>• Duurzaamheid: milieuproblemen en armoede zeer hardnekkig</li> </ul>
<p><b>Mondiale instituties</b></p> <p><b>'Grote solidariteit': wereldproblemen worden gezamenlijk opgelost</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Economie: vrije handel, structurele wijzigingen op wereldniveau</li> <li>• Technologie: zeer sterke ontwikkeling ook gericht op ecologie</li> <li>• Cultuur: minder materialisme, nieuwe normen en waarden</li> <li>• Instituties: sterke mondiale overheid, verantwoordelijke multinationals</li> <li>• Duurzaamheid: instituties lossen het CO<sub>2</sub>- en armoedeprobleem op</li> </ul>	<p><b>Lokale netwerken</b></p> <p><b>'Ecologie op kleine schaal': wereldproblemen worden lokaal opgelost</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Economie: lage groei, consumptie dicht bij productie, milieu in de prijzen</li> <li>• Technologie: gemiddelde ontwikkeling, kleinschalige toepassingen</li> <li>• Cultuur: einde aan materialisme, nieuwe waarden, milieubewuste consumptie</li> <li>• Instituties: regionale bestuursvormen, sterke netwerken, 'poldermodel'</li> <li>• Duurzaamheid: lokale milieuproblemen zijn in de hand te houden</li> </ul>

## Winst voor de wereld en later

### De mondiale energievoorziening

Drie ontwikkelingen bepalen de energievoorziening omstreeks 2050, die van de vraag naar energie, het aanbod van energie en de afstemming tussen beide.

1. De vraag naar energie wordt bepaald door de omvang van de wereldbevolking, het welvaartspeil en de energie-intensiteit. Dit roept de volgende vragen op:
- Hoe zal de wereldbevolking zich de komende decennia ontwikkelen?
  - Welke economische ontwikkeling valt te verwachten?
  - Welke energie-intensiteit zal die ontwikkeling hebben?

*Conclusie: De vraag naar energie zal toenemen. De wereldbevolking groeit, evenals haar productie en consumptie, zodat de vraag naar energie stijgt. Tegelijk zorgt de technologische ontwikkeling voor een toenemende energie-efficiency. Die toename is echter onvoldoende om de groei door de eerstgenoemde factoren te compenseren.*

---

Zie voor de onderbouwing van deze conclusie Bijlage 1 Vraag van energie: mondiaal

2. Het aanbod van energie wordt bepaald door de wereldvoorraden energie en de inzet van duurzame energie, beide in samenhang met de bijbehorende technologie. Dit roept de volgende vragen op:
- Hoe groot zijn de energievoorraden?
  - Welke inzet van duurzame energiebronnen is mogelijk?
  - Welke technologie is beschikbaar om dit aanbod te realiseren in een door de gebruikers gewenste vorm?
  - Wat voor energiesysteem heeft de publieke voorkeur?

*Conclusie: Deze eeuw is er voldoende energie beschikbaar om aan de groeiende vraag te voldoen. Het is echter waarschijnlijk dat al in de eerste helft een tekort zal ontstaan aan gemakkelijk winbare, goedkoop leverbare olie. Alternatieven zullen de sterk stijgende vraag moeten opvangen. Publieke voorkeuren, verschillend in elk wereldbeeld, bepalen deze alternatieven. Er zal waarschijnlijk een overgang plaatsvinden naar een door elektriciteit gedomineerde energiemarkt.*

---

Zie voor de onderbouwing van deze conclusie Bijlage 1 Aanbod van energie: mondiaal

3. Vraag en aanbod van energie zullen op elkaar worden afgestemd onder condities van kostenbeheersing, beperking van de milieugevolgen en zekerstelling van de levering. Dit roept de volgende vragen op:

- Komen er instituties om de gevolgen van de energievoorziening in goede banen te leiden en welke randvoorwaarden kunnen hieruit voortvloeien?
- Wat kost het om vraag en aanbod op elkaar af te stemmen?
- Welke milieugevolgen kan de energievoorziening op termijn hebben?

*Conclusie: De afstemming van vraag en aanbod van energie zal zich blijven afspelen onder de randvoorwaarden van ongestoorde voorziening, betaalbaarheid en ecologische inpasbaarheid. Het gewicht van deze drie elementen verschilt per wereldbeeld en hangt samen met de vraag of er (wereld)instituties zullen zijn om gemeenschappelijke randvoorwaarden te stellen.*

---

Zie voor de onderbouwing van deze conclusie Bijlage 1 Afstemming van vraag en aanbod: mondiaal

# Conclusies

## energievoorziening op lange termijn (mondiaal)

*De komende decennia zal de vraag naar energie fors toenemen. In principe is er voldoende aanbod van energie om aan die vraag te voldoen. Onzeker is of de gevraagde energie er altijd in de gewenste vorm zal zijn en onder welke condities de energievoorziening zal gaan plaatsvinden.*

### *Kanttekening:*

- 1. Het fysieke aanbod van energie vormt geen probleem, maar de makkelijk te exploiteren voorraden aardolie en aardgas zijn niet meer voldoende om aan deze groeiende vraag te voldoen: energie wordt duurder, maar niet in die mate dat de vraag niet toeneemt;*
- 2. Omdat fossiele energie vooralsnog de boventoon voert, blijft vermindering van de milieubelasting (CO<sub>2</sub>-emissies) een brandende kwestie;*
- 3. Voor wat betreft de overgang naar andere vormen van energietransport, -distributie en -gebruik staat de keuze voor het soort netwerken nog open.*

## Wisselwerking tussen energie en wereldbeelden in 2050: West-Europa en Nederland

In "Wereldbeelden" werd vastgesteld dat de belangrijkste onzekerheden liggen in het collectieve, sociaal-culturele waardepatroon in de maatschappij:

- wil men doel en uitkomsten van het economisch proces toetsen aan het geldelijk gewin op korte termijn of aan gemeenschappelijke belangen op langere termijn, zoals het mondiale milieu?
- wil men problemen gezamenlijk onderkennen en de oplossing in handen geven van overkoepelende instituties of wil men alleen de problemen dicht bij huis, maar dan zelf, oplossen?

Hierna vertalen we deze wereldbeelden naar het West-Europa van 2050 en naar Nederland in het bijzonder. Vervolgens geven we aan welke energieopties het meest bij elk wereldbeeld passen. Tot slot beoordelen we die mogelijkheden in termen van duurzaamheid, voorzieningszekerheid en economische efficiency.



### Nederland in een wereld van 'Vrijhandel'

#### DE OMGEVING

De wereldeconomie floreert. Er is wereldwijd een goede economische samenwerking, maar geen bereidheid om ook de nadelen van de economische groei gezamenlijk op te lossen. De markten zijn sterk concurrerend, voor kartels is geen plaats. Daarbij worden alle natuurlijke hulpbronnen zeer efficiënt gebruikt voor het productieproces. Ook energiedragers als kolen, uranium, gas, biomassa en zware olie zijn daarom goedkoop. Omdat korte-termijn kostenoverwegingen bepalend zijn voor het economisch handelen maakt de lage energieprijzen investeringen in energiebesparing en duurzame energie niet interessant. De technologische ontwikkeling is gericht op productiviteitsverhogingen, niet op milieuverbetering. CO<sub>2</sub>-concentraties zijn hoog, maar worden niet als een direct zwaarwegend probleem van hier en nu gezien, maar als een van daar en later. De Europese Unie, inmiddels uitgebreid met Noord-Afrika, is een goed functionerende vrijhandelszone, maar niet meer dan dat: de samenwerking beperkt zich tot het vrije verkeer van goederen, diensten, kapitaal en personen.

#### NEDERLAND IN 2050

De waardering voor economische vooruitgang is erg groot. Dit heeft het bedrijfsleven zeer invloedrijk gemaakt. De macht van de Nederlandse overheid wordt ingeperkt door (handels-)afspraken in WTO en EU. Een afwijkende positie van Nederland op het gebied van het milieu wordt niet gewaardeerd en zou, onder invloed van de internationale concurrentieverhoudingen, ook onmiddellijk leiden tot bedrijfsverplaatsingen. Nederland is gespecialiseerd in handel en dienstverlening. Zware industrie is uit kostenoverwegingen verdwenen naar Oost-Europese landen en Azië. De personen- en goederenmobiliteit is erg groot. De verkeersinfrastructuur bepaalt de ruimtelijke inrichting: corridors. Door de bloeiende wereldhandel floreren de mainports. De Nederlandse burger ervaart weliswaar forse milieuproblemen en een matig leefklimaat (files, drukke steden, gebrek aan natuur), maar beschouwt die als de prijs voor de welvaart.



### Nederland in een wereld van 'Ecologie op kleine schaal'

#### DE OMGEVING

De hectiek en nadruk op welvaart uit het einde van de twintigste eeuw heeft plaats gemaakt voor waardering voor immateriële zaken. Economische groei in traditionele zin is afgevlakt. Milieuproblemen blijven daardoor beperkt. Fysieke mobiliteit maakt plaats voor communicatie en thuis werken met behulp van ICT. Men is wel op de hoogte van het lot van de wereld en men trekt zich dit ook wel aan, maar dat leidt niet tot wereldwijde gezamenlijke acties; eerder tot kleinere individuele acties op locatie: begin bij jezelf. De ontwikkeling van technologie staat in het teken van de veranderde waarden: kwaliteit en kleinschaligheid staan voorop. Door het ontbreken van een mondiale gemeenschappelijke agenda wordt de techniekontwikkeling ook niet gezamenlijk aangepakt. Schone technologie en autonome energiesystemen vallen zeer in de smaak. Internationale organisaties als VN en WTO zijn in het slop geraakt. Europese instituties bestaan nog wel maar functioneren op een laag pitje; de waardering ervoor is klein.

#### NEDERLAND IN 2050

Nederland kan zelfstandig beslissen en hoeft zich niet aan te sluiten bij internationale compromissen. Omdat de burgers zeggenschap eisen bij besluiten die hen direct raken, is de overheid verregaand gedecentraliseerd. Het bedrijfsleven moet rekening houden met een veelheid aan lokale markten, met elk verschillende behoeften. Productie vindt plaats op relatief kleine schaal, de producten zijn zeer gedifferentieerd. Het bedrijfsleven houdt ook rekening met de veranderde normen en waarden: de consumenten verwachten niet anders dan verantwoord ondernemerschap. De weerzin tegen hinder en vervuiling heeft de energie-intensieve industrie verdreven. De burger is maatschappelijk betrokken, leeft in een kleine, vertrouwde kring en heeft weinig behoefte aan mobiliteit. Informatie, contacten en andere prikkels worden verzorgd door hoogontwikkelde ICT. Hij stelt hoge eisen aan de kwaliteit van de directe leefomgeving en lost milieuhinder snel en liefst zelf, zonder overheid, op. Hij voelt zich persoonlijk sterk betrokken en verantwoordelijk voor mondiale milieu- en armoedeproblemen en laat dat in zijn consumptiegedrag ook blijken ('Foster Parents', 'Max Havelaar'). Hij vindt autonome energieopwekking (zonnecellen, kleine windturbines, biomassa) aantrekkelijk en wantrouwt grootschalige energiesystemen.





### Nederland in een wereld van 'Isolatie'

#### DE OMGEVING

De wereldeconomie wordt gedreven door direct geldelijk voordeel op korte termijn. Internationale samenwerking is nauwelijks aan de orde. De wereldhandel is beperkt als gevolg van blokvorming; de verhouding tussen de handelsblokken is gespannen. China is weer naar binnen gekeerd en ook de VS vaart een isolationistische koers. Door de handelsbarrières worden mogelijke schaalvoordelen of specialisaties niet benut. Dit, samen met de beperkte wereldhandel, heeft een dempend effect op de mondiale economische groei. Technologie wordt alleen ontwikkeld ten gunste van de eigen regio. De Europese samenwerking is terug op het niveau van vóór het Verdrag van Maastricht; het Verenigd Koninkrijk heeft zich uit de EU teruggetrokken en Scandinavië heeft een Noordse federatie gevormd. Net als de andere handelsblokken streeft de EU naar zelfvoorziening voor wat betreft voedsel, grondstoffen en energie. De agrarische sector is sterk, evenals de defensie-industrie.

#### NEDERLAND IN 2050

De macht van de nationale overheid is sterk ten opzichte van de nog resterende supra-nationale instituties, maar zwak ten opzichte van het bedrijfsleven. De heersende opvatting is dat de overheid daaraan geen beperkingen moet opleggen waar die ten koste van de welvaart kunnen gaan. De burger is nationalistisch en sterk gericht op het eigen welbevinden en op dat van de eigen familie. Milieu vindt men niet belangrijk, gezondheid wel. Er is een duidelijke scheiding tussen stad en platteland; binnen de steden zijn etnische wijken gegroeid. De mobiliteit is beperkt. Omdat de wereldhandel kwijnt verliezen de mainports hun positie.



### Nederland in een wereld van 'Grote solidariteit'

#### DE OMGEVING

Vanuit het bewustzijn van een gedeelde 'planet Earth' is de oplossing van wereldproblemen als honger, armoede, grondstoffenschaarste en klimaatbedreiging opgedragen aan machtige mondiale organisaties als VN en WTO. De economie floreert door samenwerking. Economische groei, milieubewustzijn en vooruitgangsoptimisme hebben geleid tot een snelle technologieontwikkeling. Een levendige emissiehandel is een effectieve aanpak gebleken van grensoverschrijdende emissies. Het bedrijfsleven is geconcentreerd in multinationale conglomeraten, die een belangrijke stem hebben in multilaterale (VN-, WTO-)accorden voor het in stand houden van evenwichtige concurrentieverhoudingen. Om het draagvlak hiervoor te bewaren, mede op instigatie van het wereldvakverbond, investeren de multinationals fors in milieuverbetering en arbeidsomstandigheden die beide onder toezicht staan van VN-organisaties. De Europese samenwerking is verdiept en uitgebreid. Alle Europese landen, met inbegrip van Oost-Europa en Rusland, zijn inmiddels lid. Binnen de EU heeft een groep landen, waaronder Nederland, zich omgevormd tot een federatie.

#### NEDERLAND IN 2050

Net als de andere leden van de Europese federatie is Nederland bijzonder welvarend. De nationale overheid is ondergeschikt aan Europese besluitvorming, maar er is wel beleidsspecialisatie mogelijk. Zo wordt Nederland gewaardeerd om zijn eigengereide houding ten opzichte van schone technologie en ontwikkelingshulp. Het Nederlandse bedrijfsleven is - hoewel voor een groot deel bestaande uit filialen van multinationals - gespecialiseerd in milieu- en energie-efficiency. Nederland is distributieland voor energie. De Nederlandse burger is mobiel, welvarend en gesteld op luxe en comfort, vooral in de woning. Omdat hij ook de nadelen van de welvaart ziet en zich daarvoor verantwoordelijk voelt is milieubewust inkopen en leven een must. Door de grote ruimtedruk is er veel aandacht en waardering voor doelmatig grondgebruik.



**The times they  
are a-changing**

**Bob Dylan**

## 2

*De Nederlandse energievoorziening***op lange termijn (2050)**

Gezien de huidige stand van de techniek, de vooruitzichten en de nog steeds voortgaande kennisontwikkeling is er een scala aan mogelijkheden voor de West-Europese en Nederlandse energievoorziening omstreeks 2050. Een bescheiden schets van de huidige inzichten in die nieuwe mogelijkheden geven we in Bijlage 2. De beschreven nieuwe vormen van energievoorziening komen overigens niet 'vanzelf' op de markt: elk heeft voor- en nadelen die verschillend beoordeeld kunnen worden op grond van maatschappelijke omstandigheden, al dan niet rationele argumenten en sociaal-culturele overwegingen. Omdat die wisselen per wereldbeeld zien we ook dat sommige energieontwikkelingen in het ene wereldbeeld meer waarschijnlijk zijn dan andere.



## Energie in 'Vrijhandel'

### DE NEDERLANDSE ENERGIEVRAAG

Nederland is een dienstenland, brandpunt van elektronische handel. Niche-activiteiten zijn de high-tech tuinbouw en 'intelligente' distributie. De energie-intensieve industrie is verhuisd naar landen dicht bij de hulpbronnen en afzetmarkten en heeft in de loop van de tijd plaatsgemaakt voor meer kennisintensieve bedrijvigheid als de fijnchemie. De vraag naar primaire energie is afgenomen tot ca. 2500 PJ. Bijna de helft van de eindvraag naar energie bestaat uit elektriciteit; ongeveer het drievoudige van nu, voor het overgrote deel geïmporteerd.

### DE ENERGIEVOORZIENING

Er is een overvloedig aanbod van energie op de wereldmarkt; door de open markten en gesteund door technologische ontwikkeling is er vrijwel geen prijsverschil meer tussen de verschillende energiedragers. De Nederlandse aardgasvoorraad is uitverkocht: er kon op tijd een goede prijs voor worden gemaakt. Allesoverheersend is de vraag welke energiedrager het goedkoopst is: kostenverschillen zijn alleen nog het gevolg van benodigde infrastructuur en apparatuur. Er wordt uit kostenoverwegingen zoveel mogelijk gebruik gemaakt van schaalvoordelen en van de bestaande infrastructuur.

Elektriciteitsproductie is een Europese zaak: andere landen hebben zich in deze industrietak gespecialiseerd en Nederland koopt ruimschoots in over een goed geoutilleerd Europees netwerk. Wel is er nog gasgestookt pieklastvermogen.

- **Kolen:** omdat men zich weinig bewust is van mondiale milieuproblemen ziet men toepassing van steenkool niet als een probleem; kolen zijn ruim voorradig en het transport is goedkoop. In Europa wordt steenkool op grote schaal voor elektriciteitsproductie gebruikt.
- Om de kosten te drukken wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van bestaande, afgeschreven infrastructuur. **Kolenvergassing** is in Nederland een aantrekkelijke optie omdat daarbij het vroegere aardgasnet kan worden gebruikt.

- **Kernenergie:** voor zover de kosten van het draaiend houden van het Europese kernenergievermogen laag zijn gebleven ten opzichte van het concurrerende kolen (-vergassings-) vermogen, is import van kernstroom geen punt.
- **Windenergie:** niet uit duurzaamheidsoverwegingen, maar omdat inmiddels forse schaalvoordelen zijn bereikt is stroom uit offshore-windparken een Nederlands exportproduct. Uit kostenoverwegingen wordt de nodige energieopslag elders verzorgd: Zwitserland is Europees elektriciteitsbankier.
- **Aardgas:** het Nederlandse aardgas is op, maar gassen worden in alle kwaliteitssoorten geïmporteerd, geëxporteerd en gebruikt in hoogwaardige WKK-installaties. Nederland is Europees gasbankier.
- **Biomassa** is goedkoop en ruim voorradig. Het is ook op de wereldmarkt veel gevraagd en dus voor sommige landen een lucratief exportproduct geworden, al dan niet in veredelde vorm. Nederland is Europees distributieland van deze veredelde producten.
- **Verkeer:** omdat er nog steeds goedkope olieproducten zijn, is de elektrische auto niet doorgebroken. De benzine- en dieselmotoren zijn sterk verbeterd. Welvaart en individualisme leiden tot een groei van het autogebruik (factor 2 à 2,5). Grote, luxe auto's voeren de boventoon. Ook het goederenvervoer stijgt sterk (factor 3 à 4) en de economie dicteert een sterke rol voor het wegtransport. De energievraag voor mobiliteit is hoger dan in 2000.
- **Ruimteverwarming:** omdat elektriciteit relatief goedkoop is ten opzichte van gas, is de warmtepomp op grote schaal doorgebroken voor klimaatregeling (warmte en koude). Efficiënte gasverwarming is echter nog steeds mogelijk. Gedreven door behoefte aan comfort, hebben woningen en gebouwen een energetische standaardkwaliteit.
- **Zonne-energie-PV** is een mooie gadget maar als stroombron te duur.





### Energie in 'Ecologie op kleine schaal'

#### DE NEDERLANDSE ENERGIEVRAAG

Nederland is een dienstenland, met nadruk op verzorging. De industrie is geëvolueerd naar kleinschalige activiteiten met een hoge toegevoegde waarde ('Nederland design-land'). Recycling is een interessante bedrijfstak en Nederland is distributieland van afval en secundaire grondstoffen voor dit deel van Europa. Nederlandse regio's kunnen zichzelf voorzien van plantaardig voedsel en vleesvervangers. Door het verdwijnen van de grootschalige industrie en de voortdurende aandacht voor eco-efficiency is de vraag naar primaire energie gedaald naar ca. 2000 PJ; van de finale vraag is iets minder dan de helft elektriciteit.

#### DE ENERGIEVOORZIENING

Kleinschaligheid voert de boventoon.

Voor grootschalige infra- en voorzieningsstructuren is geen draagvlak. Als aanvulling kan nog gebruik worden gemaakt van de 'eigen' aardgasvoorraad omdat daarvan weinig is geëxporteerd.

- **Gas:** het gasnetwerk is in stand gehouden en geschikt voor verschillende soorten gas (aardgas, biogas, waterstof). De gasstromen die niet afkomstig zijn van biomassa ('CO<sub>2</sub>-neutraal') worden voor zover mogelijk ontkoold. De nadruk ligt op lokale en regionale gasvoorziening; de nationale aardgasvoorraad geldt als noodvoorraad.
- **Ruimteverwarming:** het gas wordt bij voorkeur geleverd aan kleinschalige installaties (brandstofcellen, mini- of micro-WKK, respectievelijk op wijk- of op woningniveau).
- **Duurzame energie** is erg populair vanuit het oogpunt van zelfvoorziening: vooral PV, zonnewarmte en wind op eigen locatie. De nodige energieopslag heeft men lokaal of hooguit regionaal georganiseerd.
- Voor **clean coal** bestaat weinig interesse; de grootschaligheid van ontwikkeling en exploitatie maakt dit onaantrekkelijk. Bovendien zijn er genoeg alternatieven.

- **Kernenergie:** grote centrales zijn alle gesloten. Inherent veilige kleinschalige mini-centrales zijn hiervoor in de plaats gekomen.
- **Biomassa** wordt lokaal en regionaal verwerkt, maar er ontbreekt een grootschalige productie- en distributieorganisatie. Daarom is het vooral de energiebron van het verstedelijkte platteland; de grote steden zijn aangewezen op aardgas.
- **Opslag van energie** wordt zoveel mogelijk lokaal verzorgd, bijvoorbeeld door warmte- en koudeopslag in de bodem. Zomerse biomassa wordt 's winters gebruikt en dient dus eveneens als seizoenopslag.
- **De mobiliteit** is betrekkelijk laag. De fiets is zeer populair en de trein handhaaft zich. Auto's zijn hybride: elektrische voortdrijving in de stad, brandstofcel buiten de stad. De auto is functioneel en vaak voor het moment geleend. Het goederenvervoer stijgt relatief gering (factor 2) en is voornamelijk nationaal. De energievraag is door de gestegen efficiency slechts iets hoger dan in 2000.



## Energie in 'Isolatie'

### DE ENERGIEVRAAG

De economische structuur is niet veel anders dan die nu is. De dienstensector is minder dominant dan in de andere beelden. Er is nog industrie voor lokale en regionale afzetmarkten, evenals binnenlandse elektriciteitsproductie. De landbouw produceert voor de binnenlandse markt. De energievraag is ca. 3000 PJ; eenderde van de eindvraag is elektriciteit.

### DE ENERGIEVOORZIENING

Zelfvoorziening is belangrijk. Nederland teert op 'eigen' aardgasvoorraden, zoals andere Europese landen zoveel mogelijk 'eigen' energiesystemen uitbouwen (Duitsland kolen en duurzame energie, Frankrijk kernenergie). Olie is relatief duur omdat in het wereldenergiesysteem productiekartels zijn blijven bestaan. Het oliegebruik wordt vanwege die afhankelijkheid zoveel mogelijk beperkt. 'Eigen' kolenvoorraden worden aangesproken; duurzame energie en kernenergie zijn aantrekkelijk als middel om de energieonafhankelijkheid te waarborgen. De voorziening is een mengvorm van centraal en decentraal omdat deze een optimale voorzieningszekerheid biedt.

- **Kernenergie** is een bij uitstek Europese optie die de energieonafhankelijkheid waarborgt. Er draaien ook kweekreactoren, waarvan de voorziening nagenoeg grondstofonafhankelijk is. Nederland koopt wel atoomstroom in maar waagt zich niet aan 'eigen' kerncentrales.
- **Kolen** wordt eveneens voor elektriciteitsproductie ingezet omdat het de energieonafhankelijkheid garandeert, zij het dat eisen worden gesteld aan de lokale milieubelasting ('clean coal').
- Om de variaties in het vraagpatroon te vermijden wordt elektriciteit uit basislast-centrales in dalperiodes gebruikt voor de productie van **waterstof**, dat o.a. in auto's kan worden ingezet.
- **Duurzame energie** (wind offshore en op land, zon) wordt veel ingezet uit het oogpunt van energieonafhankelijkheid; hetzelfde geldt voor een vergaande energiebesparing.

- Het Nederlands **aardgas** wordt gebruikt als strategische voorraad. Om er zo lang mogelijk mee te kunnen doen is de efficiency van aardgasgebruik tot grote hoogte opgeschroefd: Nederland is een WKK-land (micro-, mini- en grootschalige WKK).

- **Biomassa** wordt vooral toegepast in agrarische gebieden. Het gaat in hoofdzaak om agrarisch afval, omdat er door de nadruk op voedselproductie geen ruimte is voor energieteelt.

Het platteland heeft zich afgewend van de stad waardoor er een verschil is tussen de stedelijke en de agrarische energievoorziening: de eerste op (gasgestookte) stadsverwarming, de laatste vooral op duurzame energie en biomassa.

- **Mobiliteit:** De personenmobiliteit is gedaald, er is minder toerisme. De auto's zijn kleiner, zuinig en spartaans. Omdat olie duur en schaars is, is de brandstofcel- en elektrische auto wel doorgedrongen. Investerings in openbaar vervoer zijn achtergebleven, zodat een mager openbaar vervoer functioneert voor de minima die zich geen auto kunnen veroorloven. Het goedertransport is licht gegroeid. Spoor en binnenvaart nemen een aanzienlijk aandeel in het vervoer op zich. De energievraag voor mobiliteit is per saldo ongeveer gelijk aan die in 2000.



### Energie in 'Grote solidariteit'

#### DE ENERGIEVRAAG

Nederland heeft een grote dienstensector (vooral de sector 'overheid' is sterk), maar ook de industrie bloeit. Deze is op het gebied van milieubeheer en energie-efficiency nog steeds de beste van de wereld.

Dit imago heeft extra industrie aangetrokken:

Nederland is de chemische fabriek van de wereld.

De vraag naar energie is dan ook groot, ondanks hoge efficiency, ketenbeheer en recycling: ca. 4500 PJ.

Door de bloeiende handel in emissierechten kunnen we ons die energie-intensiteit veroorloven. Nederland is nog steeds distributieland van goederen. Het aandeel elektriciteit in de eindvraag komt net boven de 1000 PJ.

#### DE ENERGIEVOORZIENING

Internationale afspraken hebben geleid tot optimalisering van energieproductie, -transport en -gebruik.

Er is een wereldwijde, grootschalige infrastructuur voor het transport van energie (elektriciteit, aardgas, LNG, methanol) waar Nederland optimaal van profiteert.

Het Nederlandse aardgas is inmiddels op, omdat anderen de inzet ervan goed vonden passen in hun overgang naar nieuwe, schone energietechnieken.

De energievoorziening is centraal zowel als decentraal; van beide soorten systemen worden de milieuvoordelen optimaal benut. Van alle wereldbeelden is het in dit wereldbeeld het meest waarschijnlijk dat een of meer energietechnieken worden toegepast die anno 2000 nog als 'exotisch' worden afgedaan, gezien de combinatie van snelle technische ontwikkeling, economische groei en nadruk op duurzaamheid.

- Hoewel het Nederlandse **aardgas** op is, heeft Nederland wel zijn gasinfrastructuur behouden. Gasvormige energiedragers kunnen worden ingezet waar dat milieutechnisch optimaal is (WKK, maar ook warmtepompen). Lege gasvelden worden gebruikt als gasbank en voor CO<sub>2</sub>-opslag.

- **Duurzame energie** wordt zoveel mogelijk toegepast als middel om de CO<sub>2</sub>-emissie beperkt te houden. Ook op dit punt is een mondiale taakverdeling opgetreden: waar ruimte is worden energiedragers geproduceerd op basis van PV, biomassa komt uit Scandinavië, windenergie wordt grootschalig toegepast in de Noordzeelanden.
- **Biomassa**: Nederland heeft op zich genomen zijn agrarische kennis te steken in de productie van 'slimme biomassa'. De chemische industrie is overgestapt op biologische grondstoffen als feedstock.
- Het Nederlandse potentieel aan **windenergie** wordt maximaal benut, mede door toepassing van een grootschalig spaarbekken op zee voor elektriciteitsopslag op basis van pompaccumulatie.
- **Kernenergie** is inmiddels in een voldoende veilige geachte vorm beschikbaar. Nederlands geld en kennis worden geleverd aan Europese projecten op dit gebied.
- De **mobiliteit** is groot. Om deze CO<sub>2</sub>-neutraal te laten verlopen is er grootschalig elektrisch (verkregen uit 'schoon' fossiel) openbaar vervoer tussen de Europese agglomeraties (TGV, magneetweeftrein). Binnen de agglomeraties is eveneens hoogwaardig openbaar vervoer, maar daarnaast wordt de brandstofcelauto (met opslag van waterstof in nanotubes) de standaard. De automobilititeit is daardoor slechts beperkt gegroeid; lichte, zuinige maar comfortabele auto's hebben de markt veroverd. Het goederenvervoer groeit sterk (factor 3), maar wordt voor de helft via spoor en binnenvaart afgewikkeld. Per saldo is de energievraag voor mobiliteit hoger dan in 2000.

# Conclusies

## Conclusies over Nederlandse energievoorziening op lange termijn

De toekomstige energievoorziening van West-Europa en Nederland is afhankelijk van de sociaal-culturele context, die op een termijn van een halve eeuw zeer verschillende vormen kan aannemen ('wereldbeelden'). Er is dan ook niet één enkele energietoekomst voor Nederland ('blauwdruk').

Wel staat vast:

- Het elektriciteitsgebruik stijgt door toenemende welvaart en een inhaalvraag ten opzichte van nu en andere landen, ongeacht het wereldbeeld;
- De Nederlandse gasinfrastructuur is een voordeel in alle wereldbeelden;
- Windenergie(offshore) komt, weliswaar om heel verschillende redenen, in alle wereldbeelden voor;
- Biomassa blijft één van de meest aangewezen vormen van duurzame energie, maar niet altijd en overal op dezelfde schaal en voor dezelfde toepassing.
- Nederland blijft in meer of mindere mate Europees distributieland van energieproducten, behalve in het wereldbeeld met afnemende wereldhandel door blokvorming ('Isolatie');
- Opslag van energie is een aandachtspunt in alle beelden, behalve in een volledig geïntegreerde energiemarkt ('vrijhandel').

Opmerkelijke conclusies zijn voorts:

- Het klimaatprobleem wordt slechts in één enkel wereldbeeld ('Solidariteit') opgelost; in de andere beelden worden de daaruit voortkomende problemen niet urgent genoeg beschouwd of ontbreekt een internationaal samenwerkingsverband.
- De energiebron voor het toenemende verkeer is in elk wereldbeeld anders, variërend van olie tot waterstof en elektriciteit;
- De laagste gebruikerskosten worden in het beeld 'vrijhandel' gerealiseerd; de laagste integrale kosten, inclusief externaliteiten, in het beeld 'Solidariteit'.

## Verschillen, maar ook overeenkomsten tussen wereldbeelden

De verschillen tussen de wereldbeelden zijn groot, evenals de waardering voor bepaalde energieopties en daarmee de waarschijnlijkheid of een optie in een bepaald wereldbeeld ook werkelijkheid zal worden.

Ondanks deze verschillen zijn er ook overeenkomsten aan te wijzen.

In alle vier de toekomstbeelden voor Nederland 2050 is:

- het elektriciteitsgebruik ten opzichte van 2000 relatief en absoluut toegenomen;
- het Nederlandse gasnet, al dan niet met aanpassingen, nog in gebruik;
- offshore windenergie, zij het om totaal verschillende motieven, doorgebroken;
- de klimaathuishouding van gebouwen geoptimaliseerd.





In drie van de vier toekomstbeelden voor Nederland 2050 is:

- Nederland distributieland voor energieproducten (in 'Isolatie' niet);
- Energieopslag voor de afstemming van aanbod en vraag naar energie een belangrijk vraagstuk (in 'vrijhandel' niet).

Enkele opmerkelijke thema's en verschillen vatten we in het schema op de volgende bladzijde samen.



TABEL 1 verschillen en overeenkomsten tussen wereldbeelden

	 Vrijhandel	 Ecologie	 Isolatie	 Solidariteit
totaal verbruik binnenland	2500 PJ	2000 PJ	3000 PJ	4500 PJ
Gas- en gasinfrastructuur	Nederlands aardgas is op, Nederland is Europees gasbankier	Nederland produceert allerlei gas voor inzet in micro- /mini-WKK	Nederland heeft nog 'eigen' aardgas en is WKK-land	Nederlands aardgas is op, import, biofeedstocks in de chemie
Duurzame energie	Offshore wind, biomassa import	Kleinschalig: PV, zon, wind, biogas en biomassa	Wind offshore en op land, zon, bio-afval platteland	Offshore wind, import van PV en biomassa
Mobiliteit	Verbeterde benzine-motor	Fiets, hybride auto's	Brandstofcel én elektrische auto's	Brandstofcelauto, grootschalig OV tussen aggro's
Klimaatprobleem	Niet als probleem gezien, ook niet opgelost	Wel een probleem, deels opgelost, lift mee met overig milieu	Niet als probleem gezien, niet opgelost	Urgent probleem, wordt opgelost, instituties, emissiehandel
Wie stuurt ?	De markt, 'laagste kosten'	De burgers, 'autonomie'	Nationale staat, 'zekerheid'	Instituties, 'de wereld'





**Elk voordeel  
heb z'n nadeel**  
Johan Cruyff



## 3

*De Nederlandse energievoorziening***getoetst aan  
kwaliteitscriteria****Drie kwaliteitscriteria**

In hoofdstuk 1 hebben we vastgesteld wat voor verschillende wereldbeelden denkbaar zijn. Vervolgens hebben we in hoofdstuk 2 onderzocht wat in de verschillende wereldbeelden mogelijk en onmogelijk is voor de Nederlandse energievoorziening. Als sluitstuk volgt hieronder een oordeel over de aantrekkelijkheid, naar huidige inzichten van deze mogelijke energievoorzieningen. Dit oordeel is nodig voor een eventuele latere beleidsrespons. Onze kwaliteitscriteria zijn:

**'VOORZIENINGSZEKERHEID'**

Dit criterium is relevant vanuit de nationale optiek en vanuit het perspectief van de gebruiker:

- **Nationaal perspectief:** De voorzieningszekerheid is groter naarmate de nodige (primaire) energiedragers beschikbaar zijn, de aanvoerlijnen korter zijn en de politieke stabiliteit van bron- en doorvoerregio groter is.
- **Gebruikersperspectief:** De voorzieningszekerheid is voor de gebruiker groter naarmate de levering storingsvrij en flexibel is, dat wil zeggen naarmate vorm, kwaliteit en tijdigheid van de geleverde energiedrager meer aan zijn wensen voldoen.

**'ECONOMISCHE EFFICIENCY'**

Ook dit kwaliteitscriterium heeft twee elementen, nl. kostentoerekening en rechtvaardigheid:

- **Kostentoerekening:** De economische efficiency is groter naarmate de voorzieningsketen leidt tot de laagste integrale ('kale') kostprijs van energie, de kosten van de externe effecten (zoals milieu- en gezondheidsschade) geminimaliseerd zijn en de prijs voor de eindgebruiker een betere afspiegeling is van deze beide kostencomponenten.
- **Rechtvaardige verdeling:** De economische efficiency is groter naarmate de kosten van de energievoorziening evenwichtiger verdeeld zijn over alle afnemers van energie en naarmate de beschikbaarheid van energie voor alle afnemers beter gegarandeerd is.

**'DUURZAAMHEID'**

Dit criterium kent veel facetten. In elk geval gaat het om emissies, de schadelijke bijwerkingen van energievoorziening en -gebruik, en om efficiency (de manier waarop gebruik gemaakt wordt van in principe eindige grond- en hulpstoffen).





- **Efficiency:** De duurzaamheid van een energiesysteem is groter naarmate in de gehele voorzieningsketen (van bron tot eindgebruik) meer nuttige productie per eenheid geleverde energie wordt gerealiseerd.
- **Emissies:** De duurzaamheid van een energiesysteem is groter naarmate in de gehele keten, van bron tot eindgebruik, het geheel van milieuverstoringen kleiner is: op mondiaal niveau de emissie van CO<sub>2</sub> en andere broeikasgassen; op continentaal niveau de emissie van SO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub>; op nationaal en lokaal niveau de emissie van vluchtige organische stoffen (VOS) en stof; in de gehele keten de productie van andere afvalstromen.

**Toetsing aan de criteria**

De gestelde criteria zijn niet voor iedereen en voor elke situatie van gelijk gewicht. Wanneer een beslisser kan kiezen uit twee energieopties, waarvan de een ruimschoots tegemoet komt aan de eis van 'voorzieningszekerheid' (bijvoorbeeld steenkool) en de ander juist zeer goed aan het criterium 'duurzaamheid' (zoals zonne-energie), is het criterium met het grootste gewicht bepalend voor de uiteindelijke keuze. Zoals al in de beschrijving van de wereldbeelden is gebleken, zullen onze criteria daarin een meer of minder grote rol spelen.

Voor een beoordeling van de mogelijke energiesituatie in het Nederland van 2050 zoals die uit de verschillende wereldbeelden blijkt, gebruiken we de criteria van vandaag zonder weging toe te passen: impliciet zeggen we daarmee dat alle criteria vanuit ons huidige perspectief even belangrijk zijn. De mate waarin de energievoorziening in de vier wereldbeelden volgens onze huidige inzichten voldoet aan deze criteria is als volgt.

**TABEL 2** De mate waarin de energievoorziening in elk wereldbeeld voldoet aan de criteria van vandaag

Beeld/criterium	 Vrijhandel	 Ecologie	 Isolatie	 Solidariteit
<b>Voorzieningszekerheid</b>				
A. NATIONAAL PERSPECTIEF	+	+	-	0
B. GEBRUIKERSPERSPECTIEF	+	0	+	0
<b>Economische efficiency</b>				
C. KOSTENTOEREKENING	-	0	-	+
D. RECHTVAARDIGE VERDELING	-	-	-	+
<b>Duurzaamheid</b>				
E. EFFICIENCY	+	0	0	+
F. EMISSIES	-	+	-	+

+ = wordt aan voldaan 0 = wordt in geringe mate aan voldaan - = wordt niet aan voldaan

## Voorzieningszekerheid

### A. NATIONAAL PERSPECTIEF

De geopolitieke voorzieningszekerheid is in twee van de vier wereldbeelden afdoende gewaarborgd: in 'Vrijhandel' en in 'Ecologie'. In 'Vrijhandel' wordt het succes verondersteld van wereldwijde exploratie naar en exploitatie van (naar huidige inzichten) minder rendabele en minder toegankelijke energievoorraden. Daarnaast is er een forse aanvoer van biomassa en zijn sommige duurzame bronnen door kostenvoordelen (offshore wind!) aan het energiearsenaal toegevoegd. In 'Ecologie' is de voorzieningszekerheid gewaarborgd door het grote aantal decentrale energiesystemen op basis van duurzame energie, met de 'eigen' aardgasvoorraad als noodvoorziening.

In 'Solidariteit' lijkt de voorzieningsstructuur op die in 'Vrijhandel', zij het dat bij de inzet van kolen de prijs van CO<sub>2</sub>-verwerking en opslag moet worden meegerekend. De voorziening is iets onzekerder omdat die afhangt van de naleving van onderlinge afspraken. Komen die (bijvoorbeeld door een internationale crisis) onder druk te staan, dan is het denkbaar dat regio's toch voor zichzelf kiezen; de Europese federatie zit dan zonder voldoende energiereserves. Die situatie is in 'Isolatie' al werkelijkheid: Europa kan niet beschikken over de Russische en Arabische aardgasvoorraden. De voorzieningszekerheid wordt op peil gehouden met eigen kolen, kernenergie en "duurzame energie", maar is niet optimaal.

### B. GEBRUIKERSPERSPECTIEF

Ook op het niveau van de afnemer scoren drie voorzieningsstructuren redelijk goed: 'Vrijhandel', 'Ecologie' en 'Isolatie'. In 'Vrijhandel' is storingsvrije levering aan de afnemers gegarandeerd door de onderlinge verwevenheid van de energienetten, waarbij in het Europese energienet ('Zwitserland elektriciteitsbankier') voldoende back-up-contracten zijn gesloten. De situatie in 'Solidariteit' is hiermee vergelijkbaar, zij het dat de back-up op afspraken is gebaseerd die iets minder hard zijn dan de contracten in 'Vrijhandel'. Daarnaast is opslag en back-up gebaseerd op enkele centrale systemen die inherent kwetsbaarder zijn dan vele decentrale systemen. In 'Isolatie' en 'Ecologie' is de storingsvrije levering redelijk gegarandeerd door de opslag en back-up zoveel mogelijk bij de gebruikers zelf te leggen.

## Economische efficiency

### C. KOSTENTOEREKENING

De beelden waarin het economisch gewin op korte termijn voorop staat, 'Vrijhandel' en 'Isolatie', hebben een zodanige waardenoriëntatie dat er van een integrale kostentoerekening (inclusief 'externaliteiten') geen sprake is. Los daarvan zijn in 'Vrijhandel' de eindgebruikersprijzen van energie het laagst (open markten, geen kartels, voldoende beschikbaarheid). In 'Isolatie' liggen deze een stuk hoger. In de andere twee gevallen is men bereid de externe kosten van de energievoorziening te betalen: in 'Ecologie' betaalt men de hogere prijs voor de milieuvoordelen en autonomie van kleinschalige energiesystemen, in 'Solidariteit' betaalt men de prijs voor het tegengaan van (mondiale) milieuaantasting. Waar deze prijsvorming op emissiehandel is gebaseerd is daarbij wel een hoogst mogelijke economische efficiency gegarandeerd.

### D. RECHTVAARDIGE VERDELING

Alleen in 'Solidariteit' is er een garantie voor een rechtvaardige verdeling van de lusten en lasten van de wereldenergievoorziening. In de andere gevallen blijft de verdeling tussen energie-'haves' en 'have-nots' in stand: in 'Isolatie' blijven er mensen, landen en wellicht continenten (Afrika?) buiten de handelsblokken; in 'Vrijhandel' is er enige convergentie tussen landen maar blijft de tweedeling tussen arm en rijk (met inbegrip van de toegang tot energie) binnen landen bestaan; in 'Ecologie' is de technologische ontwikkeling zo gefragmenteerd dat eenmaal opgelopen technische achterstanden moeilijk zijn in te lopen.



**Duurzaamheid****E. MATERIAAL- EN ENERGIE-EFFICIENCY**

Materiaalefficiency is in drie van de vier wereldbeelden geoptimaliseerd, zij het om zeer verschillende redenen. In 'Solidariteit' en 'Ecologie' is een grote mate van recycling, hergebruik en herstel omdat deze een positief effect hebben op het gebruik van grondstoffen en de daarmee gepaard gaande uitputting en verontreiniging. In 'Isolatie' is de achtergrond eerder het bereiken van een maximale onafhankelijkheid van grondstoffen. In 'Vrijhandel' is recycling slechts een punt voorzover secundaire materialen goedkoper zijn dan primaire; gezien de veronderstelde ruime beschikbaarheid van grondstoffen is dit waarschijnlijk niet het geval.

De energie-efficiency vertoont een iets ander patroon. Deze is het grootst in 'Solidariteit' en in 'Vrijhandel', gedeeltelijk afgeleid van de toegankelijkheid van energiebronnen, gedeeltelijk van de veronderstelde technologische ontwikkeling en de snelheid waarmee nieuwe technologieën zich verspreiden. In 'Solidariteit' is bovendien de Nederlandse industrie, door voortdurend "benchmarken" en verbeteren, de meest efficiënte ter wereld. In 'Ecologie' en 'Isolatie' is het onzeker of een optimale energie-efficiency wordt bereikt, al wordt er in beide beelden wel naar gestreefd. De onzekerheid ligt in het geval van 'Ecologie' in de vraag of het afzien van grootschalige systemen niet toch leidt tot suboptimalisatie door het verlies van schaalvoordelen; in het geval van 'Isolatie' in de verondersteld minder florissante ontwikkeling van kennis en technologie.

**F. EMISSIES**

De noodzaak tot het terugdringen van broeikasgasemissies, waaronder vooral CO<sub>2</sub>, is momenteel de belangrijkste drijfveer achter het streven naar meer energie-efficiency en meer duurzame energie. Of dit ook op langere termijn zo zal blijven hangt sterk af van het wereldbeeld: in 'Vrijhandel' en 'Isolatie' is CO<sub>2</sub> geen belangrijk punt. De situatie verslechtert zelfs nog in beide gevallen door de inzet van kolen, in het geval van 'Vrijhandel' ook nog eens door mogelijke voortgang van ontbossing voor de teelt van energiegewassen. De beide andere beelden verschillen in de manier waarop emissiereducties tot stand komen: in 'Solidariteit' via mondiale afspraken en emissiehandel, in 'Ecologie' als bijeffect van andere milieukwaliteitseisen (zoals het tegengaan

van smog door wegverkeer). Alleen in het wereldbeeld 'Solidariteit' wordt een afdoende oplossing van het wereldklimaatprobleem gerealiseerd.

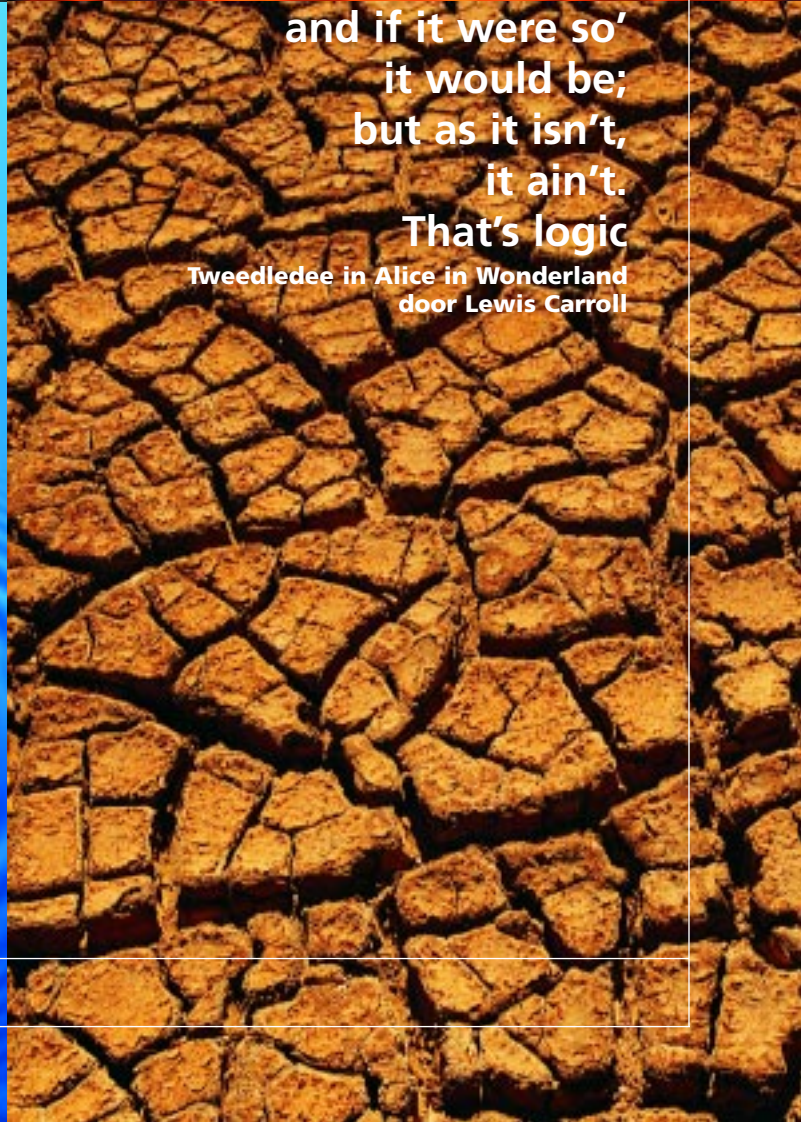
SO<sub>x</sub> is vooral afkomstig van kolen- en olieverbranding zonder adequate milieumaatregelen. We verwachten dat die in 2050 standaard zijn in alle wereldbeelden zodat deze veroorzaker van zure regen verdwenen is. Anders is het gesteld met NO<sub>x</sub>. Waar die afkomstig is van stationaire bronnen is rookgasreiniging weliswaar nu al mogelijk, maar de toepassing ervan hangt af van het wereldbeeld - in 'Vrijhandel' en in 'Isolatie' zijn de hiervoor nodige investeringen te hoog. Een steeds groter deel van de NO<sub>x</sub>-emissie is echter afkomstig van het verkeer. Die verkeersemissies, samen met die van vluchtige organische stoffen en fijn stof, worden niet in alle wereldbeelden adequaat tegengegaan. In 'Vrijhandel' wordt de technische vooruitgang meer dan volledig tenietgedaan door de groei van het wegverkeer en blijft smog een probleem. In 'Ecologie' is de oplossing nabij, omdat de verkeersgroei zelf minder is en bovendien de techniek op milieukwaliteit is gericht. In 'Isolatie' zijn de emissies kleiner omdat er door de olieschaarste minder autoverkeer is, dat bovendien op brandstofcellen en elektrische tractie is gebaseerd. In 'Solidariteit' is de mobiliteit weliswaar hoog, maar is deze gebaseerd op 'CO<sub>2</sub>-neutrale' technieken (elektriciteit, of brandstofcellen op waterstof) die tevens tot vermindering van de overige emissies leiden.

Afval is een bekend probleem bij de toepassing van kolen en kernenergie: mijnafval (toenemend naarmate minder rijke voorkomens worden geëxploiteerd), afval in de gebruiksfase (vliegias en ontzwevelingsafval bij kolen, radioactief afval van kerncentrales) en tenslotte eindafval (koolas, splijtingsproducten, ontmantelingsafval van reactoren). We nemen aan dat er technieken ontwikkeld zullen zijn om de risico's van dit afval te minimaliseren, maar of men de kosten en de moeite wil nemen om deze ook toe te passen hangt af van het wereldbeeld. Minder bekend zijn de afvalrisico's van nieuwe ontwikkelingen: zo kan CO<sub>2</sub>-opslag worden gezien als afvalberging, is het onbekend in hoeverre schroot van offshore-windplatforms adequaat geborgen kan worden en is het niet zeker of de materialen van PV-centrales volledig hergebruikt kunnen worden.





Contrariwise,  
if it was so,  
it might be;  
and if it were so'  
it would be;  
but as it isn't,  
it ain't.  
That's logic  
Tweedledee in Alice in Wonderland  
door Lewis Carroll





# 4 Discussie

**Dit rapport over het project 'Lange Termijn Visie Energievoorziening'(LTVE) is tot stand gekomen na een open dialoog met geïnteresseerde personen en instellingen. De eerste versie, bedoeld als discussiestuk, werd op de website van het Ministerie van Economische Zaken uitgebracht. Die versie werd tevens door het Centraal Plan Bureau en het Fraunhofer Instituut becommentarieerd. Tenslotte werd dit stuk besproken op het congres 'Energie en Samenleving in 2050: Nederland in wereldbeelden', dat op 27 september 2000 plaatsvond in Amsterdam. Alle opmerkingen, kanttekeningen en aanvulling, gemaakt naar aanleiding van de eerste versie zijn in dit vervolgstuk zoveel mogelijk verwerkt.**

Wat betreft de bij dit project gevolgde werkwijze, spitste het commentaar zich toe op vier aspecten: het doel van het project, de status van de wereldbeelden, de onderbouwing van de beweringen en de vergelijkbaarheid met andere toekomststudies.

#### HET DOEL VAN HET PROJECT

Het project LTVE beoogt het Ministerie van EZ en diens relaties een overzicht te verschaffen van de belangrijkste trends en ontwikkelingen die op lange termijn de aard en inrichting van de energievoorziening (van West-Europa en Nederland) kunnen bepalen. Op grond van deze informatie zal EZ nieuwe beleidsinitiatieven nemen en bestaand beleid herijken. Doelstelling van het project was ook om eventuele beleidsaanbevelingen toe te spitsen op onderdelen die nu bijgestuurd kunnen worden, maar met mogelijke gevolgen pas op de lange termijn (tientallen jaren): energieonderzoek en energie-infrastructuur.

#### DE STATUS VAN DE WERELDBEELDEN

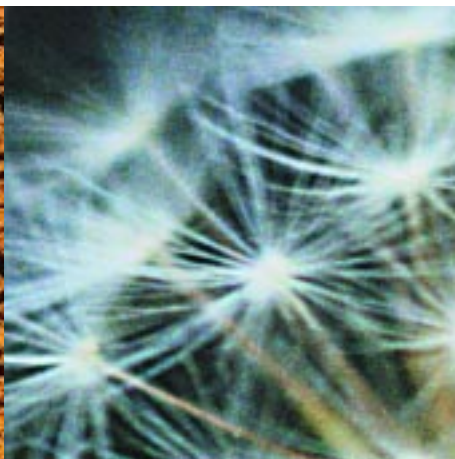
Uit diverse reacties bleek onduidelijkheid over de vraag of de geconstrueerde wereldbeelden als 'wenselijke toekomstperspectieven' moesten worden beschouwd. Weer anderen vroegen zich af waarom niet voor één ideaal toekomstbeeld is gekozen. Wij vonden het echter zinvoller om wereldbeelden te construeren, opgebouwd uit onzekerheden die van grote invloed zijn op het energieverbruik, de energievoorziening en de structuur van de maatschappij in dit deel van de wereld. In die wereldbeelden zijn bepaalde energievormen en -systemen waarschijnlijker dan andere. De onderbouwing preciseert waar mogelijk de relatie tussen wereldbeeld en systeemkenmerken van energieopties. Pas in laatste instantie hebben we, vanuit onze huidige inzichten en aan de hand van kwaliteitscriteria, een kwalitatief oordeel geveld over het type energievoorziening dat we aantreffen in de verschillende wereldbeelden. Daaruit blijkt dat de energievoorziening in het wereldbeeld 'Solidariteit' nog het meest strookt met de kwaliteits- en duurzaamheidscriteria van vandaag.

#### ONDERBOUWING

Hoe de energievoorziening in een bepaald wereldbeeld er concreet uitziet, hangt af van de vraag of de systeemkenmerken van de diverse energieopties wel of niet passen bij de dominante cultuur van dat specifieke wereldbeeld. Hetzelfde geldt voor bepaalde economische activiteiten. Of die wel dan niet in Nederland plaatsvinden wordt eveneens in hoge mate bepaald door het heersende maatschappelijke klimaat. Hoofdzakelijk op deze structuurkenmerken berust het verschil in de vraag naar primaire energie van Nederland in elk van de wereldbeelden. We hebben er dus bewust niet voor gekozen om tussen nu en 2050 groei- en krimppaden te construeren. We wilden geen wiskundig, maar een denkmodel benutten. Uiteraard hebben we ons er achteraf wel van vergewist of de door ons geponeerde structuur- en energiekenmerken van Nederland anno 2050 in zichzelf consistent zijn.

#### RELATIE MET ANDERE TOEKOMSTSTUDIES

Men heeft ons gevraagd of deze wereldbeelden identiek zijn aan die uit andere toekomststudies. Met name werd gevraagd naar de vergelijkbaarheid van dit onderzoek met de recente scenariostudie voor het IPCC. We hebben ruimschoots gebruik gemaakt van de vele beschikbare toekomstverkenningen en trendstudies, maar hebben daarvan zelf combinaties gemaakt en er onze eigen interpretaties aan gegeven. Waar wij dus andere studies aanhalen, ook die van het IPCC, is dat louter bedoeld als illustratie en niet als citaat. Globaal gesproken, bevatten de ons bekende toekomststudies wel een toekomstbeeld met een voortgaande liberalisering en globalisering enerzijds, en een 'kleinschaligheidsbeeld' anderzijds. De meningen blijken verdeeld over de vraag of een toekomstbeeld waarin de nu heersende globaliseringstrend ten einde zou komen, waarschijnlijk is. Wij wilden echter met bepaalde (vanuit het huidige perspectief wellicht minder gewenste) ontwikkelingen rekening houden, om een compleet risicoprofiel voor de West-Europese en Nederlandse energievoorziening te kunnen schetsen.





# Energie en samenleving in **2050**

**NEDERLAND IN WERELDBEELDEN**

*Bijlagen*



# Inhoudsopgave bijlagen

**bijlage 1:****Vraag en aanbod van energie:  
mondiaal**

1. De vraag naar energie
  - Ontwikkeling van de bevolking*
  - Ontwikkeling van de economie*
  - Ontwikkeling van de energie-intensiteit*
2. Het aanbod van energie
  - Samenstelling van het energieaanbod*
  - Voorraden fossiele energie*
  - Kernenergie*
  - Duurzame energie*
  - Eindgebruik van energie*
3. Afstemming van vraag en aanbod
  - Betrouwbare energievoorziening*
  - Betaalbare energievoorziening*
  - 'Schone' energievoorziening*

**bijlage 2:****Vraag en aanbod van energie:  
West-Europa en Nederland**

1. De vraag naar energie
  - Samenstelling van de energievraag*
  - Gebruikersgroepen van energie*
  - Consumenten*
  - Woningen en gebouwen*
  - Industrie*
  - Landbouw en veeteelt*
  - Verkeer en vervoer*
2. Het aanbod van energie
  - Samenstelling van het energieaanbod*
  - Fossiele brandstoffen*
  - Olie*
  - Aardgas en ander gas*
  - Kolen*
  - Niet-fossiele energie: duurzame energie en kernenergie*
3. De weg naar de gebruiker
  - Infrastructuur voor gas*
  - Infrastructuur voor elektriciteit*
  - Infrastructuur voor warmte*
  - Decentrale energievoorziening*
  - 'Meer van hetzelfde'*



**Drill for oil?  
You mean drill into the  
ground and try to find oil?  
You're crazy!**

**Boorders die in 1859 door Edwin L. Drake  
werden gevraagd voor zijn olieboorproject**

## Vraag en aanbod van energie: Mondiaal

### 1. De vraag naar energie

De vraag naar energie wordt bepaald door:

- de omvang van de bevolking
- het welvaartspeil
- de energie-intensiteit

#### ONTWIKKELING VAN DE BEVOLKING

Op dit moment telt de wereldbevolking 6 miljard mensen. In deze eeuw wordt nog een flinke toename voorzien, al neemt de groei wel af. De prognoses liggen ver uit elkaar (zie tabel 1).

Volgens deze prognoses zal de wereldbevolking in de komende 50 jaar met ten minste 25% groeien, terwijl een groei met 80% eveneens mogelijk is. Op de langere termijn (2100) wordt een stabilisatie (VN-M) tot lichte daling (IIASA-L) verwacht, zij het dat ook een verdere doorgroei (IIASA-H: 17 miljard mensen) niet is uitgesloten.

De vruchtbaarheid is afhankelijk van het welvaartspeil. Toenemende welvaart leidt tot een kleiner kinderaantal en dus tot een minder hoge bevolkingsgroei. Ook is er een relatie tussen bevolkingsomvang en economische groei, zij het dat deze niet eenduidig is per land. Er zijn landen waar bevolkingsgroei de economie afremt ('more mouths to feed') tegenover andere landen waar deze de economie juist stimuleert ('more hands to work') (WEC, 1998)

Behalve de totale hoeveelheid mensen is de verdeling ervan over continenten en regio's van belang. 90% van de voorziene groei vindt plaats in ontwikkelingslanden. In 2050 zou de bevolking van India en China samen nog bijna verdubbelen tot 3 miljard mensen (US98). Het aandeel van Europa in de wereldbevolking zakt onder de 10%.

Ook het woonpatroon zal sterk veranderen. 'Urbanization is growing even faster than population' (EPRI, 1999) omdat mensen hun kansen op welvaart in de steden blijven zoeken. In het midden van de eeuw zal 60 à 70% van de wereldbevolking in stedelijke gebieden wonen en zal het aantal 'megasteden' (met meer dan 10 miljoen inwoners) toenemen van ca. 15 nu naar ca. 60.

#### Voorbeeld: India

*In India leven nu ongeveer een miljard mensen; volgens de prognoses (US98) zijn dat er in 2050 bijna 1,5 miljard. Nu nog leeft 70% van de bevolking op het platteland. Uitputting van het land en economische ontwikkeling (een vertienvoudiging van de industriële productie ligt in het verschiet) zullen de mensen naar de steden drijven. Industrialisatie en technologische ontwikkeling kunnen leiden tot een enorme welvaartsstijging (van 1.200\$ per hoofd naar het tienvoudige over 50 jaar; Wereldbank 1997). Anderzijds is er een pessimistisch scenario waarin het inkomen niet verder komt dan 2000\$ per hoofd door interne spanningen, het wegblijven van buitenlandse investeerders en het uitputten van natuurlijke hulpbronnen (Hammond, 1998).*

TABEL 1 wereldbevolking in miljarden

Jaar	WB 92	IIASA 96			US 98	VN 98		
		L	M	H		L	M	H
2020	7,9				7,6			
2025		7,5	8,0	8,6	7,9			
2050	10,1	7,7	9,4	11,2	9,3	7,4	8,9	10,8

Afgeleid van de aannames van bovenstaande studies, kan geconcludeerd worden dat de bevolkingsgroei afhankelijk is van de wereldbeelden. In het beeld Isolatie zal die stijging het grootst zijn (1%), in

grote Solidariteit het laagst (1/2%) en in Vrijhandel en Ecologie daartussenin (3/4%). Zeker is dat de stijging voornamelijk in de niet-OECD landen zal plaats vinden.



**ICT en 'de nieuwe economie'**

De recente nieuwe toepassingen van informatie- en communicatietechnologie (ICT), zoals Internet en elektronische handel, kunnen een enorm effect hebben op de economie en daarmee op het energiegebruik.

- ICT doet fysieke grenzen en afstanden verdwijnen, waardoor mensen zich in sociaal-cultureel opzicht meer 'wereldburger' kunnen voelen. In die zin is ICT een stuwende kracht in de richting van 'globalisering' zodat de daarbij horende wereldbeelden waarschijnlijker worden.
- De economie kan onder invloed van ICT een nieuwe fase van structuurverandering ingaan: de post-industriële maatschappij ontwikkelt zich verder tot een 'digitale maatschappij'. Overigens is het onduidelijk of deze tendentie zal leiden tot een energie-intensivering of juist extensivering. Transport gaat minder energie kosten, maar informatieverwerking juist meer.
- De invloed van ICT leidt in de ogen van sommigen tot een permanente verhoging van de productiviteit, en wel zo dat de gebruikelijke economische cycli hierdoor tot het verleden zullen behoren ('nieuwe economie').
- Deze productiviteitsstijging leidt via de bijbehorende welvaartsgroei tot een hoger energiegebruik (zie verderop).

**Innovatie: verkeer**

1. *Systeemoptimalisatie: het beter beheersen van verkeersstromen door geavanceerde regeltechniek; aanpassen brandstofgebruik aan snelheid en toerental (economizer).*
2. *Herontwerp: twee concepten zijn in ontwikkeling, de hybride auto (een auto met een verbrandingsmotor en een elektrische aandrijving, die in de stad elektrisch en buiten de stad op benzine of diesel rijdt) en de brandstofcelauto (waarbij de brandstofcel, gevoed met waterstof, de elektriciteit levert voor de aandrijving).*
3. *Systeeminnovatie: te denken valt aan geheel elektrisch wegverkeer, in de vorm van auto's met geavanceerde batterijen of van elektrische geleiding ('CombiRoad').*

**ONTWIKKELING VAN DE ECONOMIE**

De belangrijkste drijvende krachten achter economische groei zijn:

- Meer mensen ondernemen meer economische activiteiten ('more hands to work'). Deze factor is met name van belang voor niet-OECD landen.
- Groeiende arbeidsproductiviteit door technische ontwikkeling. In wereldbeeld 'Isolatie' is de productiviteitsgroei relatief laag, in 'Ecologie' wordt technische kennis meer gericht op milieudoelinden dan op productiviteitsverhoging. In beide is de economische groei dan ook lager dan in de andere wereldbeelden. In de 'Nieuwe Economie' spreekt men van een blijvend hoge productiviteitsstijging (zie box).
- Wereldhandel. Mondiale vrijhandel maakt specialisatie mogelijk hetgeen leidt tot een economisch efficiënte allocatie van productiemiddelen.

Een hogere economische groei is het gevolg. In 'Ecologie' is de handel slechts gedeeltelijk vrij, in 'Isolatie' grotendeels onvrij. In beide gevallen leidt ook dit tot een lagere economische groei.

Een en ander leidt tot de volgende groeicijfers van het wereldproduct (zie tabel 2).

Deze cijfers volgen uit verschillende andere studies, waarvan de aannames in de scenario's overeenkomen met die van de wereldbeelden. Het gaat hier om gemiddelde cijfers over een hele lange periode.

We tekenen hierbij aan dat de groei in de periode tot 2020 uitbundiger is dan in de periode erna. Dit komt door een lagere bevolkingsgroei na 2020 en een technologische inhaalslag van niet-OECD landen in

de eerste decennia van deze eeuw.

Onlangs een duidelijk hogere groei buiten de OECD, blijft armoede in 3 van de 4 wereldbeelden een hardnekkig probleem door hoge bevolkingsgroei en ongelijke verdeling van welvaart.





**ONTWIKKELING VAN DE ENERGIE-INTENSITEIT**

De groei van het energiegebruik gaat niet gelijk op met die van de economie. De energie-intensiteit van de economie, de hoeveelheid energie die nodig is voor het geheel van activiteiten, verandert omdat de benodigde energie voor elke activiteit verandert (efficiencyeffect), net als de verhouding van de verschillende activiteiten binnen een economie (structureffect), beide onder invloed van technische vooruitgang. De energie-intensiteit is de laatste decennia wereldwijd met 1% per jaar gedaald (IIASAWEC, 1998).

**ENERGIE-EFFICIENCY**

Door de jaren heen wordt steeds meer nut gehaald uit eenzelfde hoeveelheid energie. Deze efficiencyverbetering van gemiddeld 1 à 1,5% per jaar is het gevolg van de marktpenetratie van verbeterde apparatuur onder invloed van beleid of prijsimpulsen. De ervaring leert dat een hoge economische groei, door de grotere omloopsnelheid van kapitaal- en consumptiegoederen, leidt tot een hoger verbeteringstempo van de energie-efficiency dan anders. Uit benchmarkstudies blijkt dat de landen in Oost-Europa en Noord-Amerika nog ruimte hebben voor een forse efficiencyverbetering vergeleken met West-Europa en Japan; de eerste vooral in de industrie, de tweede vooral in de mobiliteit.

**TABEL 2** groeicijfers van het wereldproduct

ECONOMISCHE GROEI IN % PER JAAR	 Vrijhandel	 Ecologie	 Isolatie	 Solidariteit
Groei wereldeconomie	3%	2%	2%	3%
Groei inkomen per capita	2%	1%	1%	2%

Naast deze inhaalslag zijn echter nog verdere verbeteringen mogelijk. Een bruikbaar onderscheid in innovatiestappen is het volgende (TNO 1998):

- systeemoptimalisatie: verbeterde manier om in de vraag naar energiefuncties te voorzien;
- herontwerp van systemen: het optimaliseren van de bestaande keten van aanbod van energiedragers naar de vraag naar energiefuncties;
- systeeminnovatie: het opnieuw doordenken van de gevraagde eindfuncties zelf. Ontwikkelingen in het verkeerssysteem bieden hiervoor een goede illustratie (zie box bladzijde 34).

#### VERANDERING VAN PRODUCTIESTRUCUUR

In de pre-industriële maatschappij is het energiegebruik betrekkelijk laag, worden de energiedragers (hout, mest, oogstafval) voor eigen gebruik verzameld en zijn de middelen van energiegebruik eenvoudig (houtvuur, lastdieren). De overgang naar een industriële maatschappij gaat gepaard met de introductie van nieuwe, commerciële energiedragers (kolen, olie, aardgas, elektriciteit) en een sterke verhoging van de energie-intensiteit. Na verloop van tijd wordt de dienstensector dominant in de economie ('verdienstelijking'), waardoor de energie-intensiteit weer afneemt.

Een volgende stap zou de 'informatisering' of 'digitalisering' zijn onder invloed van een nieuwe technologische golf (zie box bladzijde 34).

Het vermoeden is (CPB) dat de verdienstelijking in de OECD-landen langzamerhand een verzadigingspeil heeft bereikt, waardoor de waargenomen energie-extensivering van de economie ook vermindert. Waar veel ontwikkelingsgebieden nu nog aan de vooravond van industrialisatie staan, valt daar voorlopig een toename van de energie-intensiteit te verwachten (al kunnen industriële efficiency en ICT 'trendbrekers' zijn).

Al met al is de conclusie gerechtvaardigd dat de economische structuur wereldwijd vooralsnog tendeert naar een intensivering van het energiegebruik.

#### VERANDERING VAN CONSUMPTIESTRUCUUR

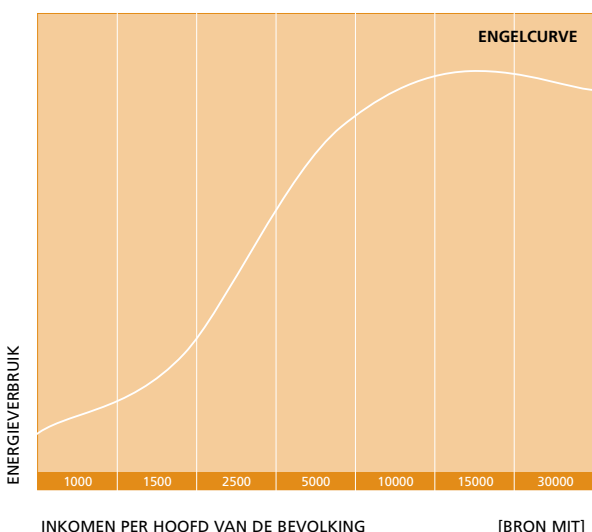
Technologische ontwikkeling kan de vraag naar energie zowel doen stijgen als doen dalen. Voorbeeld van het eerste is de vervanging van lastdieren en fietsen door auto's, voorbeeld van het tweede is de vervanging van primitieve houtkachels door olie- of gasgestookte fornuizen. De eerste soort vervanging beschouwen we doorgaans als een structuurverandering, de tweede als een efficiency-

verbetering. Toenemende welvaart leidt tot structurele verandering van het consumptiepatroon. De samenhang tussen veranderend energiegebruik en welvaartsontwikkeling (de (inkomens-)elasticiteit van energie) wordt beschreven door de Engelcurve (zie grafieken 1 en 2).

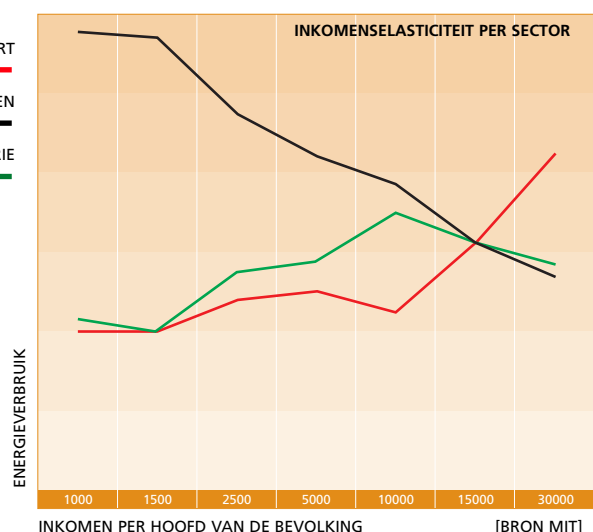
MIT heeft uitgebreid onderzoek naar de vorm van deze curve gedaan. Van verschillende sectoren uit 123 landen toont dit instituut aan dat het inkomen per hoofd 80% van het energiegebruik per hoofd verklaart. De inkomenselasticiteit van het energiegebruik (zie grafiek 1) neemt af met het inkomen. Dit effect is sterker bij hogere inkomens en in de sector huishouden. Wanneer het inkomen stijgt, verschuift het energieverbruik van huishoudens naar transport, terwijl het aandeel van de industrie in de economie afneemt (zie grafiek 2)

Momenteel bedraagt het inkomen per hoofd van de bevolking in ontwikkelingslanden gemiddeld 2.500\$ en die in de OECD 25.000\$. Op basis van de veronderstellingen achter de Engelcurve is het aannemelijk dat het energiegebruik in de ontwikkelingsgebieden sterk gaat groeien, nog sterker dan de economie zelf.

GRAFIEK 1



GRAFIEK 2



**Methaanhydraten**

Op de bodem van de diepzee (> 1 km) bevindt zich methaanijs of methaanhydraat.

Naar schatting gaat het om minstens 10.000 Gton koolstof, twee keer de ruimste schatting van andere fossiele energievoorraden. Over de winbaarheid, de kansen en de risico's zijn de meningen verdeeld. Een voordeel zou zijn dat landen als de USA, Japan en India door de winning van methaanhydraten onafhankelijkheid op energiegebied kunnen verwerven. Omdat de hydraatvoorkomens zijn geconcentreerd op continentale breuklijnen zouden exploratie en exploitatie de kans op aardbevingen vergroten. Daarnaast vergroot exploitatie de kans op emissies van methaan, een krachtig broeikasgas (World Oil, 1999). IIASA en WEC concluderen dat de ruim 55.000 EJ commercieel/technisch winbare voorraden ruim voldoende zijn voor nog een eeuw wereldenergiegebruik; BP houdt het met de huidige (d.w.z. alleen de conventionele) voorraden op 40 jaar olie en 60 jaar gas.

**DEMATERIALIZATIE**

Dematerialisatie, het verschijnsel dat een ontwikkelende economie steeds minder materialen gebruikt per eenheid toegevoegde waarde, is deels het gevolg van de al genoemde 'verdienstelijking', maar deels ook van technologische vernieuwing: lichtere producten door verbeterde materiaaleigenschappen (voorbeeld: verpakkingen), kleinere apparaten, het vervangen van fysieke door beeldscherm-informatie. Materiaalgebruik kan ook worden vermindert door ketenoptimalisatie, door gebruik van secundaire in plaats van primaire grondstoffen (recycling) en door toepassing van nanotechnologie. Dematerialisatie treedt op als de waarde toeneemt per eenheid materiaal, bijvoorbeeld door aanpassing van het product aan gebruikerswensen ('just in time'/service). Het fenomeen incorporeert dus zowel een efficiency-effect als een structureffect.

**CONCLUSIE: DE VRAAG NAAR ENERGIE**

In alle wereldbeelden neemt de wereldvraag naar energie toe door een groei van bevolking en welvaart die niet voldoende wordt gecompenseerd door afname van de energie-intensiteit (wereldwijd, gemiddelde procenten per jaar 2000-2050): zie tabel 3. Wij concluderen dat het verstandig is, rekening te houden met een ruime verdubbeling van de wereld-energievraag rond 2050.

**2. Het aanbod van energie**





Het aanbod van energie wordt bepaald door de wereldvoorraden energie en de inzet van duurzame energie, beide in samenhang met de bijbehorende technologie.

**SAMENSTELLING VAN HET ENERGIEAANBOD**

Het huidige wereldenergiegebruik bedraagt zo'n 400 EJ. Daarvan is ca. 355 EJ 'commerciële energie' (verhandelde energiedragers) en de rest energie voor eigen gebruik (hout, oogstafval, mest). De genoemde 355 EJ bestaat voor 90% uit fossiele energiedragers (40% olie, 26% kolen, 24% aardgas); de rest is elektriciteit uit waterkracht en kernenergie (BP/Amoco). De in deze bijlage beschreven structuurverandering van de economie (van agrarische, via industriële naar post-industriële dienstenmaatschappij) heeft ook een pendant in de energievoorziening. In de geschiedenis is een ontwikkeling zichtbaar van een door biomassa (hout) gedomineerde periode, via een kolen-, olie- en aardgastijdperk naar een toekomst met koolstofarme energiedragers: vernieuwbare bronnen en/of kernenergie (zie grafiek 3. Marchetti-curve, IIASA 1978).

**TABEL 3:**

vraag naar energie

	 Vrijhandel	 Ecologie	 Isolatie	 Solidariteit
Economische groei	+3	+2	+2	+3
Energie-intensiteit	-1	-1	-1	-1,5
Energievraag	+2	+1	+1	+1,5

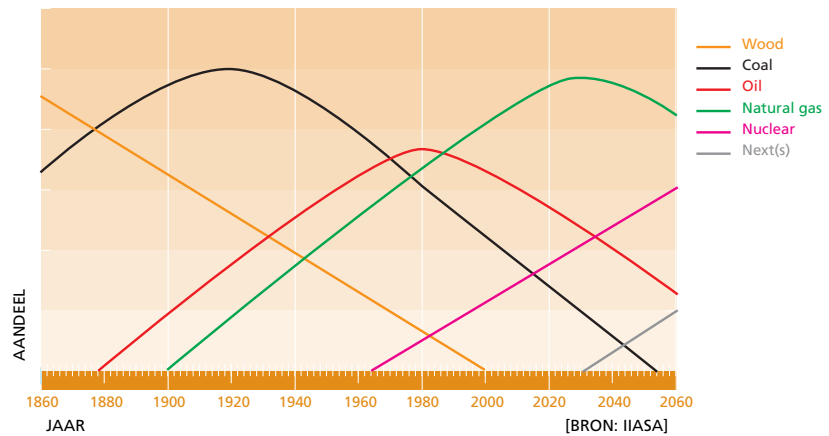
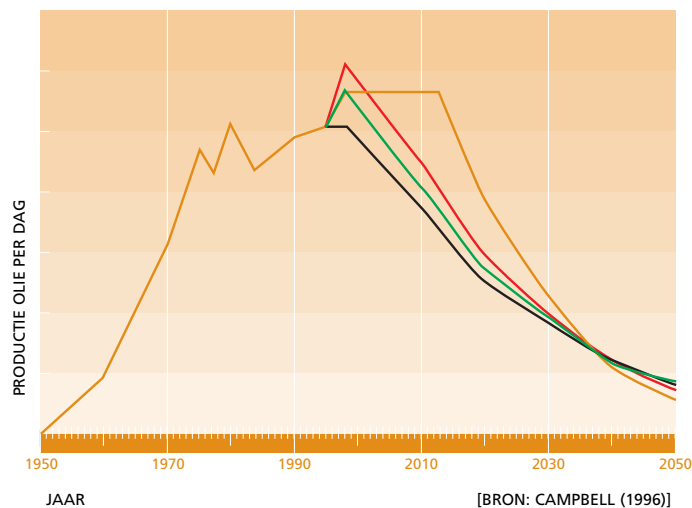
**VOORRADEN FOSSIELE ENERGIE**

Het overgrote deel van het mondiale energiegebruik is dus gebaseerd op fossiele energie. Voor de toekomstige energiesituatie is het dan ook cruciaal een idee te hebben, over welke voorraden de wereld nog kan beschikken. Men onderscheidt daarbij twee dimensies: enerzijds de geologische waarschijnlijkheid dat energiedragers werkelijk gevonden zullen worden en anderzijds de technische/economische winbaarheid. De volgende schatting is gemaakt: (IIASA/WEC, 1998; in EJ) zie tabel 4.

'Niet-conventioneel' wil zeggen: lage concentraties, noodzaak van nieuwe winningstechnieken en extra conversiestappen voor gebruik, en in de meeste gevallen grote milieugevolgen van het winningsproces. BP rekent in zijn interne toekomstverkenningen de zware olie en teerzanden niet mee omdat deze zo zwaar zijn dat de bewerkings- en transporttechnologie vergelijkbaar is met die van kolen. In de voorraadschatting zijn 'bijkomende voorkomens' als methaanhydraten (zie box bladzijde 36) overigens niet meegenomen.

Tegenover deze optimistische schattingen staan beschouwingen over de kwetsbaarheid van de wereldeconomie voor verstoringen in de olieaanvoer, onder andere door het 'pieken' van de olieproductie (zie grafiek 4: de Hubbert-piek). Zo stelt de analist C.J. Campbell vast dat het aanboren van nieuwe olievoorraden, ondanks verbeterde exploratietechnieken, in een veel lager tempo gebeurt dan vroeger ('we vinden 1 barrel voor elke 4 die we gebruiken'); dat de vraag naar olie nog fors groeit, met 1,8% per jaar van thans 71 naar 112 miljoen vaten per dag in 2020 (IEA); en dat de wereldolieproductie de komende jaren naar zijn top gaat waarna (na 2008, wanneer ook de OPEC over zijn productietop heen is) de gestage daling van de olieproductie begint.

	Kolen	Olie	Gas	Totaal
Conventioneel, commercieel en technisch winbaar	26.000	6.300	5.900	<b>38.000</b>
Non-conventioneel, commercieel/technisch winbaar		8.100	8.000	<b>16.000</b>
(Nog) niet commercieel of technisch winbaar	117.000	20.000	22.000	<b>160.000</b>

**GRAFIEK 3 MARCHETTI CURVE: MONDIALE SUBSTITUTIE VAN PRIMAIRE ENERGIE****GRAFIEK 4 HUBBERTPIEK: PRODUCTIEPIEK VOLGENS HUBBERT**

*Deze grafiek (dikwijls de Hubbert-curve genoemd) toont verschillende productiescenario's. De vastgestelde mondiale voorraad maakt dat de productie in alle scenario's al vroeg in deze eeuw piekt en in 2050 minimaal zal zijn.*

Zijn conclusie is dat de productie van aardgas en niet-conventionele olie snel zal moeten toenemen om na 2015 het groeiende gat tussen olieaanbod en -vraag te kunnen vullen.

In de cijfers van commercieel en technisch winbare reserves liggen verwachtingen over de ontwikkeling van winnings- en conversietechnieken. Die ontwikkeling is uiteraard werelbeeldafhankelijk.

Met name de richting van de technologische vooruitgang verschilt per wereldbeeld en zal bepalend zijn voor het aanbod van de komende 50 jaar. Het is echter niet waarschijnlijk dat er energiedragers en -technieken zullen zijn die nu volkomen onbekend zijn.

#### KOLEN

Gezien de grote beschikbaarheid is het begrijpelijk dat het aandeel van kolen (steen- en bruinkool) in de wereldenergievoorziening relatief hoog is. In landen als China (73%) en India (56%) is het de dominante energiebron, maar na China is de VS de grootste gebruiker (22 EJ, 25% van het energiegebruik). De kolenvoorkomens in de aardkorst zijn meer gespreid dan die van olie, zodat landen hun energieafhankelijkheid (van met name het Midden-Oosten) kunnen verminderen door op eigen kolen over te stappen.

Ontwikkeling van eigen kolenvoorraden geeft bovendien voordelen voor de betalingsbalans. Hierdoor zullen kolen een belangrijke rol blijven spelen in de energietoekomst van de wereld, vooral in het beeld Isolatie en Vrijhandel. Kolengebruik kan echter nogal wat kwalijke milieuconsequenties hebben, zowel lokaal (stof, afval), regionaal (verzuring) als mondiaal (broeikaseneffect).

#### CLEAN COAL

In het licht van de potentiële nadelen van kolengebruik is het begrip 'clean coal' ontstaan, een breed scala van technieken met

als doel de milieubelasting door kolengebruik binnen de gehele keten te verminderen: (zie tabel 5)

In de beelden Ecologie (No<sub>x</sub>- en So<sub>x</sub>-vrij) en Solidariteit (ook CO<sub>2</sub>-vrij) zullen deze verbrandingstechnologieën ten volle worden ontwikkeld. In de andere beelden zal alleen aandacht zijn voor de gemakkelijk te vermijden schade aan de directe omgeving.

#### KERNENERGIE

In veel energiescenario's is een rol voor kernenergie ingeruimd. Een schatting van de wereldvoorraad splijtbaar materiaal is daarom van belang. In de aardkorst is uranium ruim voorradig; het enig splijtbaar isotoop, Uranium-235, komt echter maar voor 0,7% in natuurlijk uranium voor. De bewezen economisch winbare reserve bedraagt 4,3 miljoen ton uranium (IAEA, OESO/NEA). Met een lichtwaterreactor (LWR), kan uit elke ton natuurlijk uranium ongeveer 37 GWh (130 TJe) worden opgewekt, zodat de genoemde hoeveelheid goed is voor een elektriciteitsproductie van 18,3 TWjaar (580 Eje).

Naast deze 'bewezen reserve' is er nog ca. 7 miljoen ton beschikbaar als bijproduct

van de fosfaatproductie en is er naar schatting een 'speculatieve economische reserve' van 13 miljoen ton. Met die 20 miljoen ton extra zou een elektriciteitsproductie van in totaal 120 TWjaar (3700 EJ) mogelijk zijn, terwijl de zeer arme ertsen nog niet eens zijn meegenomen. IASAWEC schat de beschikbaarheid van uranium voor kernsplijting op ca. 2400 EJ; met het huidige gebruik van 24 EJ per jaar zou deze voorraad dus voldoende zijn voor 100 jaar.

De huidige lichtwaterreactor (LWR-) technologie is overigens weinig efficiënt voor wat het gebruik van uranium betreft, en wordt steeds minder vaak toegepast. Hoewel de NEA nog wel perspectief blijft zien voor (verbeterde) LWR's, denkt het IEA al aan een volgende generatie reactoren met een betere splijstofeconomie en inherente veiligheid.

Als mogelijke energiebron voor de lange termijn wordt ook wel kernfusie genoemd. Het kernfusieonderzoek van de afgelopen decennia heeft nog niet geleid tot een werkende, laat staan commercieel opererende fusiereactor. De EU verwacht deze niet vóór 2060.

**TABEL 5:** *verschillende technieken van "Clean Coal"*

Plaats in de keten	Techniek	Beoogd milieu-effect
Winning	Betere veldbenutting	Minder verspilling, grotere voorraden
Winning	Minder stof, afval	Betere lokale leefomgeving
Voorbehandeling	Kwaliteitsbeheer	Constante (verbrandings)kwaliteit
Verbranding	Laag NO <sub>x</sub> branders	Lagere NO <sub>x</sub> -emissie, minder verzuring
Verbranding	Rookgasontzweveling	Lagere SO <sub>x</sub> -emissie, minder verzuring
Verbranding	Optimale verbranding	Lagere CO <sub>2</sub> -emissie
Verbranding	Kolenvergassing	Lagere CO <sub>2</sub> -emissie
Verbranding	CO <sub>2</sub> -afvang en -opslag	Lagere CO <sub>2</sub> -emissie

**TABEL 6:** *radioactief afval*

Radioactief afval uit de splijtstofcyclus bij productie van 1 GWjaar met een lichtwaterreactor:	
Mijnafval	= 50.000 m <sup>3</sup> gruis van 1,85 TBq
Restant na verrijking	= 200 ton (met ca. 0,3 % U-235, eventueel later nog te verrijken).
Bedrijfsafval	= 500 m <sup>3</sup> . Na een jaar is de activiteit nog 3700 TBq.
Kernsplijtingsafval	= 5 m <sup>3</sup> .



**RADIOACTIEF AFVAL**

In alle wereldbeelden is een rol ingeruimd voor kernenergie om verschillende redenen. Naast de (rest-)risico's bij de bedrijfsvoering van kerncentrales vormt het afval van de splijtstofcyclus een belemmering voor de maatschappelijke acceptatie van deze energiestrategie (zie tabel 6).

Het grootste probleem ligt bij het kernsplijtingsafval (KSA). De radioactiviteit is zo hoog dat het afval moet worden gekoeld. Circa 10 jaar na ontladen bedraagt de radioactiviteit 370.000 TBq, na 300 jaar 370 TBq, maar het blijft daarna nog miljoenen jaren radioactief. De langstlevende fractie in het KSA bestaat uit plutonium en andere actiniden. Door alle kerncentrales op aarde is inmiddels ongeveer 1 miljoen kg plutonium gevormd, nog afgezien van plutonium voor militaire doeleinden. Om dit afvalprobleem op te lossen zijn nieuwe technieken nodig. De effectieve levensduur van KSA kan worden bekort tot circa 250 jaar (bron: NRG) door het in een nieuw type kernreactor te 'versplinteren'. Deze techniek is echter nog niet uitontwikkeld.

**DUURZAME ENERGIE**

Naast de eindige voorraden fossiele brandstoffen en uraan, staan de in principe oneindige stromen 'duurzame energie' als zonnestraling, wind, zee- en getijdenstroming, al dan niet opgeslagen in plantenmateriaal (biomassa). De jaarlijkse zoninstraling op aarde bedraagt 5.500.000 EJ. De energiedichtheid van deze stromen is echter klein. In de praktijk wordt het aanbod van duurzame energie dan ook beperkt door het benodigde en het beschikbare landoppervlak. De toekomstige beschikbaarheid van duurzame energie wordt daarnaast in hoge mate bepaald door de verwachte vooruitgang van de conversietechnologie. De stand is als volgt.

- *Zonne-elektriciteit (PV)*: Nog in ontwikkeling. De meest succesrijke techniek zijn de siliciumcellen; de ontwikkeling gaat van mono-, via polykristallijne cellen naar amorf silicium-cellen met een navenante prijsdaling. Veel onderzoek wordt gedaan naar de zogenaamde organische cellen. Aan zon-PV wordt in veel scenario's een belangrijke rol toegerekend, met name waar de nadruk ligt op autonome of decentrale opwekking.
- *Windenergie*: Redelijk uitontwikkelde techniek; windturbines worden al op grote schaal toegepast in bijvoorbeeld Californië, Denemarken en Duitsland. De ontwikkeling staat in het teken van verdere kostenverlaging en gaat naar steeds grotere eenheden (van honderden kW nu naar enkele MW per turbine straks) en plaatsing offshore.
- *Waterkracht*. Uitontwikkelde techniek met, bij grootschalige toepassing, een kostprijs ver onder die van fossiele energie. Volgens de beschikbare bronnen is uitbreiding van het potentieel nog slechts beperkt mogelijk (onder andere door de milieugevolgen).
- *Golf- en getijdenenergie*. Tot op heden is alleen technologie beschikbaar voor de winning van getijdenenergie in gebieden waar het tijverschil erg groot is (Normandië). De winning van golfenergie bevindt zich in het stadium van praktijkexperimenten (Portugal).
- *Zonnewarmte*. De collectortechniek is inmiddels uitontwikkeld. Efficiencyverbetering kan nog bereikt worden door integratie met andere technieken, zoals de warmtepomp. Verwacht wordt dat deze techniek een deel van de warmtapwatervoorziening van gebouwen in de gematigde klimaatzones kan gaan overnemen, zoals nu al in Zuid-Europa.
- *Biomassa*. Biomassa wordt nu al in grote mate gebruikt voor verwarming en voedselbereiding (ovens, kachels), overigens met een laag rendement.

Meer geavanceerde toepassingen zijn elektriciteitsproductie (al dan niet met gelijktijdige warmteproductie, WKK) en vergassing. Het laatste is vooral geschikt in gebieden waar een gasinfrastructuur aanwezig dan wel in opbouw is. De meeste aardgastecnologie is ook geschikt voor biogas, terwijl biogas ook is om te zetten in vloeibare energiedragers.

- *Aardwarmte*: Technieken zijn al beschikbaar en worden al toegepast (Frankrijk, Italië); de toepasbaarheid is afhankelijk van een geschikte bron en van geschikte boortechnieken.
- *Omgevingswarmte*. Omgevingswarmte kan worden benut door het inzetten van warmtepompen. De techniek is al lang beschikbaar; elektrische warmtepompen worden op grote schaal toegepast in landen waar elektriciteit goedkoop en fossiele energie naar verhouding duur is.

Ten aanzien van de beschikbaarheid en het gebruik van duurzame energie bestaan optimistische en pessimistische kampen. In de pessimistische wereldbeelden is er alleen plaats voor biomassa, traditioneel zowel als vernieuwd, en worden wind- en zonne-energie niet concurrerend. Aan de optimistische kant staat bijvoorbeeld het Renewables Intensive Global Energy Scenario (RIGES), ontwikkeld ter voorbereiding van de VN-conferentie over Milieu en Ontwikkeling (UNCED, Rio 1992) om na te gaan of een scherpe reductie van CO<sub>2</sub>-emissies omstreeks 2050 mogelijk zou zijn (zie tabel volgende bladzijde).

Ook sommige lange-termijnsenario's (Shell en BP/Amoco) baseren in 2050 de helft van de wereldenergievoorziening op duurzame bronnen. In andere scenario's zijn deze maatschappijen echter minder overtuigd van de doorbraak van duurzame energie. Zo verschilt de rol van duurzame energie ook per wereldbeeld, al naar gelang de technologische ontwikkeling

**Biomassa en innovatie**

Het project *Duurzame Technologische Ontwikkeling (DTO'97)* zag niet alleen veel in de verdere ontwikkeling van biomassa als energiebron, maar ook als grondstof voor de chemische industrie. In 2050 is 2 miljard hectare landbouw-areaal nodig voor voedselproductie, waarna er nog 0,8 miljard hectare over is voor productie van non-food biomassa. Met een opbrengst van 50 ton per ha per jaar levert dat 40 Gton biomassa per jaar (plus nog eens ca. 10 Gton uit bossen en afval). DTO reserveert 5 miljard ton per jaar als grondstof voor een 'duurzame chemie'; er rest dus 44 miljard ton voor energiedoelinden. Dat is 200 EJ, ofwel 20 à 25% van de wereldenergiebehoefte in 2040.

(hoog in Vrijhandel en Solidariteit) en naar de bereidheid om een meerprijs te betalen voor energieonafhankelijkheid (Isolatie) dan wel voor milieubescherming (Ecologie).

**EINDGEBRUIK VAN ENERGIE**

Energie wordt niet in primaire vorm aan de gebruikers aangeboden. Het gaat de energiegebruiker uiteindelijk om een energiefunctie die vervuld moet worden zoals voedselbereiding, verwarming, verlichting, kracht, beweging. Ook stelt de omgeving eisen aan de vorm waarin energie beschikbaar kan zijn. Om de energiefuncties te kunnen vervullen op een door de gebruiker gewenste manier moet energie in een handzame vorm, als secundaire energiedrager, bij de gebruiker worden geleverd. Naarmate de welvaart toeneemt gaat de klant vragen om flexibeler, schonere energiedragers die gemakkelijk zijn in het gebruik. In die ontwikkeling zijn enkele tendenties waar te nemen.

**ELEKTRICITEIT**

De omzetting van primaire energie in elektriciteit kent nu een rendement ('best practice') van ca. 55%. Een omzettingsrendement van 70% is in brandstofcellen haalbaar. Bij het transport van elektriciteit zijn eveneens doorbraken te verwachten: door combinatie van geavanceerde boortechneek en de toepassing van hoogspanningsgelijkstroom (HVDC) kunnen hoogspanningslijnen ondergronds worden aangelegd, wat de betrouwbaarheid van het systeem enorm zou bevorderen.

Op langere termijn zouden supergeleiden- de kabels een einde kunnen maken aan de transportverliezen, wat een opstap zou kunnen zijn naar een wereldomspannend elektriciteitsnet, met alle voor elektriciteits- productie optimale productielocaties vandien (waterkracht uit IJsland, zonne- elektriciteit uit de Sahara).

**WATERSTOF**

Naast elektriciteit heeft een energie-gebruiker in een ontwikkelde energie-eco- nomie de beschikking over olieproducten en vaak ook (aard)gas. Beide hebben een relatief hoge energiedichtheid en de bijbehorende gebruikstechnologie is ruimschoots voorhanden. Olieproducten hebben daarnaast nog het voordeel dat ze goed zijn op te slaan en dat het distributienetwerk goed ontwikkeld en relatief low-tech is. Van aardgas is het nadeel dat er een distributienetwerk nodig is. Beide hebben als nadeel dat de verbrandingsemissies vlakbij de gebruiker vrijkomen. Verzurende emissies, stof en geluid kunnen met end-of-pipe-maat- regelen worden weggevangen, maar de diffuse verspreiding van CO<sub>2</sub> alleen tegen hoge kosten en met veel energieverlies. Het zoeken is dan ook naar technieken en energiedragers om de voordelen van gas en olie te combineren met de mogelijkheid CO<sub>2</sub> af te vangen.

Het omzetten van koolwaterstoffen in een mengsel van waterstof en CO<sub>2</sub> is zo'n mogelijkheid: deCO<sub>2</sub> wordt afgevangen en de gebruiker staat zuivere waterstof ter

**TABEL 7:** renewables Intensive Global Energy Scenario (1993)

	1985	2025	2050	
Elektriciteit	9.200	22.300	33.850	TWh p/j
• waarvan duurzaam	1.500	12.300	20.400 (=60%)	
Direct energiegebruik	220	290	300	EJ
• waarvan duurzaam		88	130 (=40%)	
CO <sub>2</sub> -emissie	6,0	5,0	3,2	GtC

beschikking. Waterstof is ook te maken door elektrolyse van water, bijvoorbeeld waar veel en goedkope elektriciteit uit waterkracht of kernenergie beschikbaar is.

De inzet van waterstof in auto's lijkt het eerst aan bod te komen, gezien de enorme onderzoeksbudgetten die er inmiddels al aan zijn besteed. Waterstof zou dan in een brandstofcel worden omgezet in elektriciteit. Vooral in een beeld als Solidariteit en Ecologie past deze optie. Voor stationaire toepassingen gaat het om een strategische keuze, welke energiedrager en daarmee welk soort transport- en distributienetwerk het meest voldoet aan de wensen van de klant: elektriciteit centraal opwekken en dat naar de klant brengen (Solidariteit), of waterstof naar de klant brengen en hem/haar zelf elektriciteit laten maken (Ecologie).

#### ENERGIEOPSLAG

Afstemming van het aanbod van energie, zoals het grillige aanbod van zonne- en windenergie, aan het minstens even grillige patroon van de vraag vergt meestal een vorm van opslag. Maar opslag kan ook nodig zijn om de betrouwbaarheid van elektriciteitslevering te garanderen. EPRI denkt daarbij aan centrale opslagsystemen (zoals nu al gebeurt met stuwmeren) als aan opslagsystemen bij de gebruiker zelf. Bij energieopslag is wel het cycluserendement van belang: bij elke opslag- en ontladingsstap gaat energie verloren.

#### CONCLUSIE: HET AANBOD VAN ENERGIE

Zelfs voor een stijgende energievraag is er deze eeuw nog voldoende energie in voorraad. Ook het aanbod van duurzame energie kan in een flink deel van de energievraag voorzien. De vraag is alleen welke eisen de gemeenschap aan de energievoorziening zal stellen, welke energiedragers de gemeenschap acceptabel zal vinden, en tegen welke prijs. Dit hangt van het wereldbeeld af. Voor alle

beelden is het redelijk te veronderstellen dat er in de komende 50 jaar een einde zal komen aan het tijdperk van goedkope olie. Voorts zal rekening moeten worden gehouden met een voortgaande elektrificatie van de wereldenergievoorziening.

### 3. Afstemming van vraag en aanbod: mondiaal

Toekomstige energiegebruikers zullen een betrouwbare, betaalbare en schone energievoorziening verlangen. Sociaal-culturele factoren, zoals vertaald in wereldbeelden, zullen bepalen in welke verhouding deze factoren tot elkaar komen te staan. Zeker is wel dat CO<sub>2</sub>-emissies bij het gebruik van fossiele brandstoffen de komende tijd een heet hangijzer zullen blijven. Bovengenoemde randvoorwaarden zullen per wereldbeeld nader worden bekeken.

#### BETROUWBARE ENERGIEVOORZIENING

Het al dan niet tot stand komen van wereldomvattende instituties bepaalt hoe en in welke mate randvoorwaarden worden gesteld aan bepaalde aspecten van de energievoorziening. In de jaren '70 en '80 van de vorige eeuw werd het IEA opgericht en uitgebouwd om de levering van olie aan de westerse industrielanden te garanderen door gezamenlijk beleid. De WTO is doende, nog bestaande barrières in de wereldhandel weg te nemen en zal daarna als beroepsinstantie fungeren. De IPCC is als VN-organisatie doende een wereldwijd gezamenlijk beleid te ontwikkelen om het broeikasrisico te keren. Niet in alle wereldbeelden is dit echter een logische ontwikkeling.

#### BETAALBARE ENERGIEVOORZIENING

In alle wereldbeelden (behalve 'Ecologie'), kiest men energiedragers op grond van economische overwegingen: de 'kale prijs', eventueel vermeerderd met de kosten om de CO<sub>2</sub>-emissie te beperken. In prijsstudies (die overigens niet verder reiken dan 2020)

*Shell beschrijft in zijn recente wereldscenario's (1998) de reactie op de, volgens Shell onontkoombare ('There Is No Alternative'), trends van globalisering, liberalisering en informatisering. Deze trends manifesteren zich volgens Shell op twee niveaus:*

- *institutioneel ('TINA above'): globalisering van wereldcultuur en -economie, liberalisering van wereldhandel, informatisering van de relatie klant-leverancier;*
- *menselijke relaties ('TINA below'): globalisering van smaak, liberalisering van ideeën, kennisvermeerdering.*

*Bij een sterke 'TINA above' vervullen internationale instituties ('The New Game') een krachtige rol; in het andere geval ('TINA below') is de toekomst aan flexibele, minder gestructureerde netwerkrelaties ('People Power').*

- *The New Game - bedrijven en instituties zijn 'lerende systemen'; er is veel te winnen bij het overnemen van de 'best practice'. Welbegrepen eigenbelang leidt tot versterking van internationale economische, monetaire en sociale instituties, alsmede een mondiaal stelsel van milieuregels ('Kyoto works').*
- *People Power - een non-conformistische, welvarende wereld met de lokale gemeenschap als brandpunt. Innovatie en kwaliteitsverbetering, ook op het gebied van milieu, komen tot stand door acties van kritische consumenten in plaats van regulering.*

**Voorbeeld: rechtvaardige verdeling**

*In 1995 was elke Nederlander, van klein tot groot, goed voor een CO<sub>2</sub>-uitstoot van 11,6 ton. Een uitstootlimiet van 3,5 Gton koolstof (13 Gton CO<sub>2</sub>) in 2050 voor 9 miljard wereldburgers betekent voor elk niet meer dan 1,4 ton CO<sub>2</sub>-emissie per jaar. De gemiddelde Nederlander zou dan dus 90% terug moeten.*

wordt de wereldenergieprijs gedomineerd door de olieprijs. De markt is 'cost driven': de winningskosten van olie zijn de bepalende factor (naast specifieke markt-omstandigheden als de macht van het OPEC-kartel). Uit deze middellange-termijn studies (o.a. IEA, 2000) kan een prijspad afgeleid worden dat tussen de \$10 en \$25 per vat olie ligt. De redenering is: bij een structureel lagere prijs dan \$10 zou de vraag naar olie dusdanig toenemen dat de prijs weer snel zou stijgen; bij een olieprijs die structureel boven de \$25 zou liggen, worden de duurere onconventionele oliebronnen aangeboord, hetgeen de marktprijs weer zou drukken.

Op langere termijn dan 2020 zijn de olievoorraden die nu als 'goedkoop winbaar' gelden, uitgeput. Waarschijnlijk is dat er zich dan al veel substitutie heeft voorgedaan of nog gaande is, zoals van olie naar gas en kernenergie in de elektriciteitsproductie en van olie naar waterstof in het transport. Zodra gas de belangrijkste energiedrager is, wordt de wereldenergieprijs bepaald door de winning- en transportkosten van aardgas. Hier komen dan in sommige gevallen nog de kosten van CO<sub>2</sub>-beperking ('milieu in de prijzen') bij, als dat in het wereldbeeld past.

Tenslotte zou ook een door duurzame energie gedomineerde energiemarkt 'cost driven' zijn, gezien de kapitaalintensiteit van de vereiste technologie. Ook in die markt zijn er nog voldoende alternatieven voorhanden (zoals zon-PV) die op de markt

komen zodra de wereldmarktprijs van energie boven hun kostprijs uitstijgt. Dit prijsmechanisme veronderstelt een open wereldmarkt, als in Vrijhandel en Solidariteit. In de andere beelden zullen er meer gefragmenteerde markten bestaan.

**SCHONE ENERGIEVOORZIENING****DE CO<sub>2</sub>-DISCUSSIE**

De aanwijzingen dat het klimaat verandert worden steeds sterker. Deze verandering wordt onder andere veroorzaakt door een verhoogde concentratie van 'broeikasgassen' in de atmosfeer, waarvan CO<sub>2</sub> de belangrijkste is. De IPCC gaf in 1996 opdracht tot het maken van een nieuwe serie 'verhaallijnen' met elk één kenmerkend emissiescenario. De CO<sub>2</sub>-emissie in Gton koolstof per jaar is als volgt (1995 = 7,4 Gton): (zie tabel 8)

Het 'kenmerkende scenario' B1 is normatief: de IPCC heeft gezocht naar een mogelijkheid de mondiale CO<sub>2</sub>-emissie te beperken tot 3,5 Gton koolstof.

Deze reductiedoelstelling is een vertaling van de afspraken op de UNCED-conferentie in Rio (1992). Om irreversibele klimaat-effecten te voorkomen moet, zo is de redenering, de temperatuurstijging op aarde beperkt blijven tot 2 graden ten opzichte van het niveau van voor de industriële revolutie. Dit betekent dat de concentratie van CO<sub>2</sub> in de atmosfeer, die 280 ppm was, niet hoger mag worden dan 450 ppm. De concentratie is nu al 360 ppm. Om dat te bereiken moet de

**TABEL 8:** CO<sub>2</sub>-emissie volgens IPCC (Gton)

	2050	2100	tendentie na 2100
A1B	16	13	dalend
B2	11	13	licht stijgend
A2	17	29	sterk stijgend
B1	11	3,5	stabiliserend

emissie van broeikasgassen, met name CO<sub>2</sub>, omlaag. Een emissieniveau van 3,5 Gton koolstof per jaar is in die redenering het maximum. Dat betekent dat de wereldemissie met de helft omlaag moet, ongeacht de ontwikkeling van bevolking en welvaart. In Rio is bovendien afgesproken dat de industrielanden het voortouw zullen nemen om ruimte te laten voor de ontwikkeling van 'het zuiden'. Hierna volgt de onenigheid, want het gaat dan om een verdelingsvraagstuk en om de vraag naar (historische) rechtvaardigheid. Alleen in Solidariteit zal Rio daadkrachtig vervolg krijgen.

#### EMISSIEHANDEL

Emissiehandel kan een belangrijke rol spelen bij het optimaal toewijzen van de kosten voor het verminderen van CO<sub>2</sub>-emissies. Het idee is dat een land dat meer emissiereductie realiseert dan waartoe het verplicht was, dit 'overschot' kan verkopen aan landen die niet aan hun verplichting voldoen. Er is dus wel een verplichtingstelsel nodig om hieraan te kunnen beginnen. In het huidige Kyoto-protocol is emissiehandel toegestaan tussen industrielanden onderling ('trading'), met Oost-Europa ('Joint Implementation') en met ontwikkelingslanden ('Clean Development Mechanism').

Deze emissiehandel kent twee basisvarianten:

- *Verhandelbare emissierechten:* hierbij is sprake van aandelen in een absoluut emissieplafond. Voordeel is dat een absoluut milieudoel ook wordt gehaald (onder voorwaarde van effectieve controle en handhaving).
- *Verhandelbare emissiereducties:* hierbij is sprake van vooraf afgesproken emissiereducties zonder het opleggen van een uiteindelijke te bereiken emissieniveau.

De emissiehandel kan tussen landen plaatsvinden, maar ook binnen landen. In de VS is al ervaring opgedaan met handel in verzuringsrechten, in het Verenigd Koninkrijk zal een emissiehandelssysteem starten in 2001 en in Denemarken is men in 2000 al gestart. In Noord-Amerika zijn al twee transacties van in totaal 5 Mton CO<sub>2</sub>-emissierechten gesloten. Een interessante ontwikkeling is dat ook multinationale ondernemingen experimenteren met emissiehandel tussen productielokaties in verschillende landen (Shell, BP/Amoco).

Een systeem van verhandelbare emissies veronderstelt de aanwezigheid van een regulerende instantie, die de bestendigheid van plafonds en controlemechanismen garandeert. Tussentijdse aanpassing van de milieudoelstelling verstoort immers de werking van de markt door beïnvloeding van prijsverwachtingen e.d.

Anderzijds kan de regulerende instantie wel, door binnen het handelssysteem als koper op te treden, de omvang van de markt beïnvloeden en aldus de totale hoeveelheid toegestane emissie. In geen van de beelden, behalve Solidariteit, komt er een dergelijke machtige instantie.

#### TECHNOLOGIE

Behalve door efficiencyverbetering en de toepassing van koolstofloze energiedragers (duurzame energie en kernenergie) kan de mondiale CO<sub>2</sub>-emissie ook worden beperkt door de uitlaatgassen van energieprocessen te zuiveren. Het kan dus wel zijn dat ook in de beelden zonder mondiale samenwerking, CO<sub>2</sub> gereduceerd wordt, doordat bijvoorbeeld grote efficiencyverbeteringen dit milieuprobleem gedeeltelijk oplossen.

Gedacht wordt aan het afvangen en concentreren van CO<sub>2</sub> om dit vervolgens te injecteren in lege aardgasvelden, in watervoerende lagen of te lozen in de diepzee, waar het door de heersende temperatuur en druk (net als methaanhydraten) opge-

sloten zou blijven. Voorts zijn er nog enkele interessante katalytische omzettingprocessen in ontwikkeling waarmee CO<sub>2</sub> kan worden gebonden. Voorlopig verkeren deze echter nog in de laboratoriumfase.

#### OVERIGE MILIEUTHEMA'S

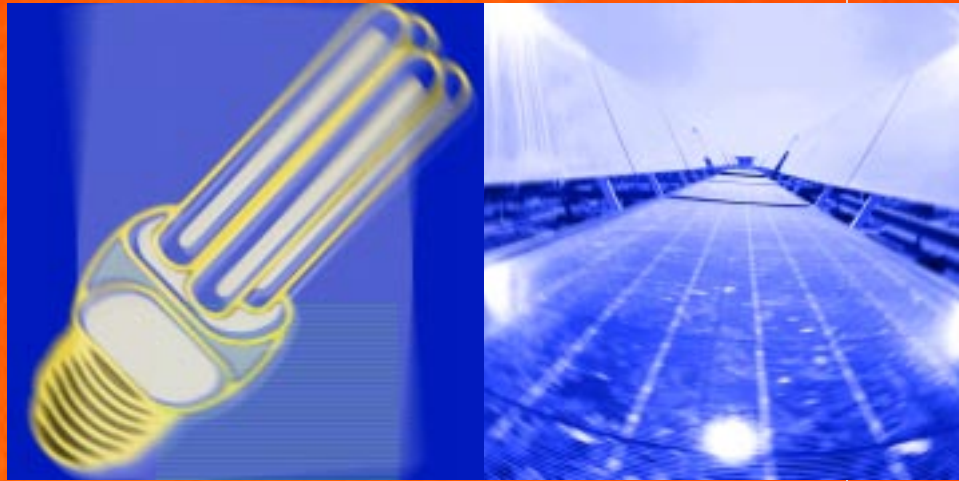
##### LOKAAL MILIEU

Het gebruik van energie in allerlei vormen heeft niet alleen milieueffecten op mondiaal niveau. In de komende decennia is het minstens zo belangrijk of, en zo ja hoe, lokale en regionale milieugevolgen van energiegebruik het hoofd worden geboden. In het wereldbeeld 'Ecologie' is duurzaamheid op het niveau van leefgemeenschappen zelfs de drijvende kracht, terwijl deze helpt bij het in de hand houden van mondiale milieuproblemen als het broeikaseffect.

De komende decennia zullen een sterke urbanisatie te zien geven. De combinatie van een slechte ruimtelijke planning, achterblijven van investeringen in massatransportsystemen en toenemende particuliere welvaart zal leiden tot een enorme toename van het autoverkeer, met alle milieugevolgen (stof, verzuring, geluid) van dien.

Waar de auto een recent verschijnsel is of ongemechaniseerd transport vervangt, ligt hier ook een belangrijk deel van de verwachte toename van het wereldenergiegebruik. Wanneer autofabrikanten erin slagen een oplossing te bieden voor deze lokale milieuproblemen, zal de energieefficiency van het verkeer en daarmee de CO<sub>2</sub>-uitstoot, 'meeliften'.





**We kunnen problemen  
niet oplossen door op  
dezelfde manier te  
denken als we deden  
toen we ze creëerden**

**Albert Einstein**

Bijlage

## II

## Vraag en aanbod van energie: West-Europa en Nederland

### 1. De vraag naar energie

#### Samenstelling van de energievraag

##### WEST-EUROPA

Verwacht wordt dat het gebruik van energie nog wel zal stijgen, maar in een lager tempo dan de groei van het nationaal inkomen ('ontkoppeling'). In de Engelcurve (deel 1) zien we vanaf een inkomen per hoofd van ca. \$22.000, het huidige niveau in de Eurozone, een blijvend stijgend aandeel voor transport in het energiegebruik. Het energiegebruik voor transport en de daarmee gepaard gaande milieuproblemen is dan ook cruciaal in de komende decennia. Voor schattingen omtrent de ontwikkeling van de vraag naar energie: zie tabel 9.

Deze cijfers ondersteunen de bewering van WEA (2000): een verdergaande kosten-effectieve energie-efficiencyverbetering met 25-35% kan in de westerse landen al in 25 jaar bereikt worden.

In alle CPB-scenario's is er nog een flink aandeel 'industrie' in het BBP: kennelijk is aan de verdienstelijking van de economie een einde gekomen. De industrie verdwijnt dus met andere woorden niet uit dit deel van de wereld, maar specialiseert zich. De mate waarin en de manier waarop verschilt per wereldbeeld.

##### NEDERLAND

Nederland heeft momenteel, vergeleken met andere industrielanden, een hoge energie-intensiteit. Deze is het saldo van enkele afwijkingen naar boven en naar beneden ten opzichte van het OECD-gemiddelde: verhogend werken het aanzienlijke aandeel basisindustrie, de glastuinbouw, de autodichtheid en het comfortniveau van de Nederlandse woningen; verlagend werken het relatief geringe industrieaandeel in het BBP, de kleine transportafstanden, het hoge fietsgebruik en de betrekkelijk lage graad van elektrificatie.

Op korte termijn wordt geen verlaging van de energie-intensiteit verwacht en is zelfs een verhoging ervan mogelijk. Nederland blijft een gunstige vestigingsplaats voor zware industrie door de aanwezigheid van aanvoerhavens voor grond- en hulpstoffen,

goede verbindingen met een economisch bloeiend achterland, een redelijk hoog kennisniveau en goedkope energie. Deze voordelen kunnen de komende jaren uitgebouwd worden in de wereldbeelden waarin de waardering voor industriële bedrijvigheid gehandhaafd blijft. Benchmarking, optimale energie-efficiency en maatschappelijk verantwoord ondernemen werken aan het behoud van dit draagvlak mee.

Een andere energie-intensieve bedrijfstak, de glastuinbouw, bevindt zich momenteel in een periode van heroriëntatie. De ontwikkeling ervan is sterk afhankelijk van die van de exportmarkten. Vallen die weg, zoals in het wereldbeeld Isolatie, dan is een ingrijpende inkrimping niet uitgesloten. Van de factoren die momenteel nog tot een verlaging van de energie-intensiteit leiden loopt Nederland

TABEL 9: groei economie en energie in West-Europa

bron	regio	periode	jaarlijkse groei BBP	jaarlijkse groei energievraag
S&P-forecast	West-Europa	2020	2,3%	0,9%
EU-DGXVII	EU-15	2020	1,6% - 2,3%	0,8% - 1,3%
CPB	West-Europa	2050	0,2% - 1,6%	-0,1% - 1,2%
AIM96	West-Europa	2050	1,8%	0,5% - 1,2%
IIASAWEC	West-Europa	2050	1,3% - 1,8%	-0,8% - 0,8%

**Project perspectief: Minder energiegebruik door andere leefstijl?**

*In de jaren 1995-98 heeft het Ministerie van VROM een groot onderzoek gedaan naar de relatie tussen leefstijl en energiegebruik.*

*Twaalf gezinnen werden uitgedaagd om hun directe en indirecte energiegebruik te verminderen bij een gelijktijdige stijging van het inkomen. Het resultaat was dat men eenderde minder energie gebruikte dan vóór het project, waarvan het merendeel op het 'indirecte energiegebruik'. De leefstijl van de deelnemers bleek ingrijpend veranderd ('selectief consumeren', 'kiezen voor kwaliteit') maar later is gebleken dat het gedrag uit de proefperiode nauwelijks beklift.*

zijn 'achterstand' in autodichtheid en elektriciteitsgebruik op het OECD-gemiddelde in snel tempo in.

**Gebruikersgroepen van energie****CONSUMENTEN**

De Nederlandse bevolking telt anno 2000 16 miljoen mensen; in 2050 zijn dat er volgens de meest recente prognoses (CBS, 1998) 15,7 tot 18,9 miljoen.

In het eerste geval dus een afname ten opzichte van 2000; in het tweede geval is er omstreeks 2050 sprake van stabilisatie op een hoger niveau.

Het energiegebruik van de Nederlandse consument is de afgelopen 15 jaar met een kwart toegenomen, vooral door toename van het elektriciteits- en auto-gebruik. Efficiencywinst op die terreinen is door de gebruikstoename per saldo teniet gedaan. Er is onder Nederlandse consumenten niet één integraal milieuvriendelijke leefstijl te onderscheiden (SCP, 1999): de Nederlandse consument is consequent milieu- (on-)vriendelijk binnen één bepaald domein van gedragingen, maar kan in een ander domein volkomen ander gedrag vertonen - met de auto naar de biobak bijvoorbeeld. Als milieubesparend gedrag moeite of tijd kost, als men er bewegingsvrijheid of comfort voor moet inleveren, laat men het. Hoewel er nuances mogelijk zijn per wereldbeeld, is de veronderstelling gerechtvaardigd dat de Nederlandse consument bij toenemende welvaart zal kiezen voor een groter comfort ('gemak dient de mens'). Het bijbehorende wereldbeeld is Vrijhandel. Dit uit zich in de wens naar een optimaal gebruiksgemak van energiegebruikende apparatuur, verdere elektrificatie en het uitbesteden van energie- of 'comfortdiensten'. Daarnaast zijn er wel kansen voor het verkopen van een 'groen' imago.

**WONINGEN EN GEBOUWEN**

Het aantal woningen en gebouwen is afhankelijk van de omvang van de bevolking, de gemiddelde gezinsgrootte en de economische ontwikkeling (utiliteit, industrie). Rekening wordt gehouden met een woningvoorraad van 7,5 tot 8,5 miljoen in 2030 (RPD, 1997); over de ontwikkeling van kantoren en bedrijfsruimte is minder bekend. Behalve van hun aantal en hun volume hangt het toekomstig energiegebruik van deze gebouwen af van het saldo van de trends naar energiezuinig bouwen, naar comfortverhoging en gebruikintensivering:

- **Energiezuinig bouwen:** Gebouwen zijn een dankbaar object voor energiebesparende maatregelen: de technieken zijn bekend en eenvoudig toepasbaar, vooral bij nieuwbouw. Nieuwe gebouwen zullen dan ook energiezuiniger zijn dan bestaande; door sloop en nieuwbouw neemt de gemiddelde energie-efficiency van gebouwen dan ook toe tot er een stabilisatie van het gebouwgebonden energiegebruik op een laag niveau optreedt door de sterk verminderde meeropbrengsten. In 2050 is dan niet het gebouw of de installatie, maar het gebruikersgedrag bepalend voor het energiegebruik. In het wereldbeeld Solidariteit hoort een relatief groot aandeel stadsverwarming. In Vrijhandel is dat micro-warmtekracht.
- **Comfort:** Consumenten en werknemers vragen om meer comfort in de woning en op de werkplek, wat kan leiden tot een grotere energievraag voor bijvoorbeeld klimaatregeling (koeling). Meer comfort kan ook betekenen: groter en minder compact bouwen, grotere ramen - wat direct strijdt met de trend naar energiezuinig bouwen. Omdat deze grote comfortabele gebouwen duurder in bouw en gebruik zijn, is het doorzetten van deze trend sterk afhankelijk van de welvaartsontwikkeling.

- *Gebruiksintensivering*: flexibele werkplekken leiden tot een hogere effectieve bezettingsgraad van gebouwen, de 24-uurseconomie leidt tot een hogere benutting van infrastructuur. Woningen worden vaker als tweede werkplek gebruikt, maar anderzijds kan individualisering en grotere arbeidsparticipatie juist tot minder gebruik van de woning leiden. Tenzij uiteraard het telewerken populair wordt. Voor de hoogte en soort energievoorziening van gebouwen wordt de ruimtelijke ordening steeds belangrijker. Compacte bouw is relatief energiezuinig en biedt mogelijkheden voor aanleg en exploitatie van (rest-)warmtenetten. Vooral als het wereldbeeld Solidariteit realiteit zou worden, is deze ontwikkeling te verwachten. Hiermee is op grotere schaalniveaus dan de woning nog verdere energie-efficiency te bewerkstelligen (zie tabel 10).

**INDUSTRIE**

Van de primaire energie in Nederland (ex. feedstocks) wordt momenteel 20% gebruikt door de industrie. Dit aandeel

blijft tot 2020 gelijk (S&P, European Outlook), evenals de verdeling over sectoren (34% chemie, 13% basismetaal, 50% overig). Op die termijn zijn de al genoemde vestigingsplaatsvoordelen voldoende voor een behoud van zware en chemische industrie in Nederland, zoals bijvoorbeeld in het wereldbeeld Solidariteit. Een groot deel van het industriële energiegebruik is bestemd voor het genereren van proceswarmte (40% warmte, 40% stoom). De toekomst is aan nóg efficiëntere technieken, vooral processen zonder thermische, maar met katalytische of fysische omzettingen (US DoE).

Tevens wordt energie bespaard door de energiebehoefte van de verschillende processtappen te integreren via cascade-ring van energiestromen. Vanwege de aard van de industriële warmtevraag (60% van het industriële energiegebruik is warmte van lage temperatuur) zal de warmtepomp veel worden toegepast, al dan niet in combinatie met gebruik voor koeling. De overblijvende restwarmte wordt zoveel mogelijk lokaal afgezet. Ook in de industrie neemt de elektrificatie toe.

**Doorbraaktechnologie in de maakindustrie**

*Toepassing van een 'doorbraaktechnologie' zorgt voor een sprongsgewijze verbetering van de energie-efficiency door een drastische ingreep in het fabricageproces.*

*De terugverdientijd is 5 tot 20 jaar.*

*Zes technologiegroepen worden onderscheiden (ADL, 1997), te weten:*

- Herontwerp van processen
- Geavanceerde katalyse
- Procesintegratie en intersectoraal restwarmtegebruik
- Geavanceerde procescontrole en sensors
- Scheidings- en droogtechnieken (o.a. membranen, impulsdrogen)
- Biotechnologie

*Blok e.a. (VCE 1996) concludeerden dat door toepassing van dit soort systemen een efficiency-verbetering van 60 tot 90% in de industrie mogelijk is.*

**TABEL 10:** ruimtelijke inrichting Nederland 2030 (RPD, 1997)

*Om een idee te krijgen van de ruimte- en investeringsclaims in de komende decennia zette de RPD in 1997 een aantal ontwikkelingsrichtingen voor Nederland naast elkaar.*

NAAM	WAARDENORIËNTATIE	RUIMTELIJKE PATRONEN	VERVOERSKEUZE
<b>Palet</b> (Vgl: <i>Vrijhandel</i> )	Vestigings- en bewegingsvrijheid	Combinaties van wonen, werken en recreëren	Individueel tussen, collectief binnen steden
<b>Parklandschap</b> (Vgl: <i>Solidariteit</i> )	Ontspannen	Stad en land verweven, groene ruimte is woongebied	Individueel, regionaal, elektronische snelweg
<b>Stromenland</b> (Vgl: <i>Ecologie</i> )	Handel en verkeer	Water en verkeersnetwerken ordenen het land	Collectief, gebundeld en ingepast
<b>Stedenland</b> (Vgl: <i>Isolatie</i> )	Scheiding van stad en land	Concentratie van wonen en werken in stedennetwerk	Collectief

**Voedsel en voedselproductie in 2040 (DTO 1997)***Tendenties in de vraag*

- Meer variatie, multiculturaliteit op het bord
- Gemaksvoedsel, meerdere maaltijdjes per dag
- Gezondheid en kwaliteit: voedsel is informatie
- 'Groene' en 'natuur'- producten

*Tendenties in het aanbod*

- Terug naar gemengde, regionale landbouwbedrijven met gesloten bio-kringlopen
- High tech gewasproductie in kassen op zonne-energie
- Combinatie met grondstof- en energieproductie
- Combinatie met natuurbeheer en recreatie
- Gewasmodificatie en plantaardig 'vlees' (novel protein food)

Elektriciteit wordt steeds meer toegepast voor aandrijvingen, procesbesturing, conditionering, scheidings- en recyclagedoeleinden, drogen, bakken, smelten, indampen, alsmede om chemische reacties op gang te brengen of te houden. Deze situatie sluit nauw aan bij het wereldbeeld Vrijhandel. In de meer traditionele elektriciteitstoepassingen (aandrijving) is overigens nog een forse efficiencywinst te boeken, bijvoorbeeld door een betere regeltechniek.

Bijzondere aandacht vergt nog het gebruik van energiedragers als grondstof (feedstock), vooral in de kunstmest- en chemische industrie. In Nederland gaat het daarbij momenteel om 40% van het finale energiegebruik in de industrie; wereldwijd gaat het om 6 tot 8% van het totale gebruik van fossiele energiedragers. In het DTO-programma denkt men dat de toekomstige grondstof van de chemie niet uit fossiele energiedragers, maar uit biomassa zal bestaan. Verwezen zij naar het wereldbeeld Vrijhandel. De route daarheen zou gaan via synthesegas (de toepassing van CO, CO<sub>2</sub> of CH<sub>4</sub>, ook wel genoemd de C1-chemie), in eerste instantie nog op basis van olie en aardgas, later op basis van plantaardig materiaal.

**LANDBOUW EN VEETEELT**

Momenteel gebruikt de landbouw 70% van het Nederlandse landoppervlak, maar in de toekomst wordt deze ruimteclaim ondergeschikt aan die van wonen, werken, recreatie en natuur. De komende 30 jaar gaat er ongeveer een kwart van het bestaande landbouwareaal af: "het totale landbouwareaal is tussen 1980 en 1995 afgenomen met 55.000 ha, een oppervlakte groter dan de Noordoostpolder (...) en dit proces zal naar verwachting doorgaan" (RPD). Sterk afhankelijk van het wereldbeeld is de richting waarin de ontwikkeling van de resterende agrarische bedrijfstak zal gaan: intensivering en zelfs industrialisering is mogelijk, maar evengoed kan extensivering plaatsvinden in de richting van natuur- en recreatie-gerichte ondernemingen. De glastuinbouw heeft bij een hoge economische groei en open markten nog goede kansen, maar bij lagere groei zou de huidige oppervlakte aan glasteelt de komende decennia halveren (RPD).

**VERKEER EN VERVOER**

Het energiegebruik voor verkeer is vanaf een bepaald inkomensniveau per hoofd dominant in de energieontwikkeling. In de meeste wereldbeelden is de behoefte aan fysieke mobiliteit groot, ondanks het

**TABEL 11:** doorlooptijden nieuwe systemen

	ZEEVAART	LUCHTVAART	WEGVERKEER
Schaal	mondiaal	mondiaal/ continentaal	continentaal/ regionaal
technisch concept - prototype	5 -100	5 -100	5 -100**
prototype - demonstratieversie	10	8	5
demonstratieversie - 1e serieproductie	10	10	8
uitfaseren bestaande productie	15	7	15
laatste 'oude' voertuig afgevoerd *	40	25	12
<b>totaal benodigde doorlooptijd</b>	<b>75</b>	<b>50</b>	<b>40</b>
in geval andere brandstof: periode met dubbele energie-infrastructuur	55	32	27
* mogelijkheden tot aanpassing	ja	beperkt	nee

\*\* bijvoorbeeld de Sterlingmotor: ontworpen in de 19e eeuw, nog geen prototype gebouwd.



toenemende gebruik van ICT. De manier waarop aan de groeiende energievraag voor het verkeer kan worden voldaan is sterk verschillend; de technieken zijn er, maar voor de overschakeling op een andere energiesysteem is veel tijd nodig. De overgang vergt een zekere flexibiliteit, zodat het oude en nieuwe systeem naast elkaar kunnen functioneren.

Tabel 11 geeft aan dat zelfs op een termijn van een halve eeuw, een volledige overgang naar nieuwe voortstuwingssystemen onwaarschijnlijk is: in 2050 is deze nog in volle gang. In de sector wegverkeer is een kortere overgangsfase mogelijk; verkorting van de overgangperiode betekent altijd een zekere kapitaalvernietiging. Of de maatschappij dit wil accepteren hangt af van het wereldbeeld. In principe zijn er vier technologiepaden denkbaar voor de toekomstige mobiliteit.

**a. Vrijhandel: Doorontwikkeling van bestaande technologie (explosiemotoren en gasturbines)**

- **Wegverkeer:** door het toepassen van nieuwe motorregeling, betere transmissie en lichtere materialen kunnen personenauto's de helft minder brandstof gebruiken dan nu. Voor vrachtwagens is het potentieel kleiner. Ook de aard van het gevraagde transport is van invloed: een grotere vrachtwagen betekent een lager energieverbruik per ton, maar vraagt wel om transport van grote eenheden en een betere logistieke organisatie.
- **Luchtverkeer:** In de luchtvaart is de gasturbine dominant (turboprop, turbofan en 'gewone' jet); zuinigheid is een eerste vereiste om grotere ladingen te kunnen vervoeren. Betrouwbaarheid en laag gewicht zijn zo belangrijk dat die de introductie van nieuwe technologie vertragen - nieuwe motoren zullen een zeer uitgebreide experimentele fase kennen.

- **Scheepvaart:** schepen kunnen eenvoudiger nieuwe technologie toepassen, maar de introductie ervan zal pas plaatsvinden als de kosten tot het zeer lage huidige niveau dalen. De zeevaart vereist dat de motor eenvoudig aan boord te herstellen is; ook in dit opzicht is de simpele explosiemotor moeilijk vervangbaar.

De bestaande infrastructuur van de automobiellindustrie (productielijnen, toeleveranciers) speelt een belangrijke rol. In de autofabrieken is veel kapitaal geïnvesteerd en met de productie van auto's zijn zeer veel arbeidsplaatsen gemoeid. Daardoor klinkt het belang van de autoindustrie vaak ook door in de politieke standpunten.

**b. Isolatie en/of Ecologie: Overstap naar brandstofcel op fossiele brandstof**

Gedwongen door de overheid (met name in Californië) richt de automobiellindustrie zich op de brandstofcel om zeer lage uitstoot van CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> en VOS te bereiken. Als brandstof gebruiken deze auto's olieproducten of biobrandstoffen. Bijkomend voordeel is dat de aandrijflijn nafta - reformer - brandstofcel - elektromotor een hoger rendement heeft dan de explosiemotor; een reductie van ca. 60% op het energiegebruik is mogelijk. Ook voor zwaar transport op de weg én op het water is deze technologie aantrekkelijk om aan de emissie-eisen te voldoen. Voor de scheepvaart is de prijs van aandrijflijn en brandstof van doorslaggevend belang. Voorwaarde voor een succesvolle marktpenetratie is de massaproductie van betrouwbare brandstofcellen in verschillende vermogensklassen tegen een prijs die vergelijkbaar is met de huidige prijs van explosiemotoren. Dit betekent dat de productieprijs van de brandstofcel nog met een factor 10 ten opzichte van nu moet dalen.

**In gedachten van benzine- naar biomotor**

*Tegenover het anno 2000 dominante, want bewezen automobiellconcept (Otto- of dieselmotor, energieopslag in het voertuig, olieproducten) zet men in gedachten eerst de elektrische auto. Voordeelen: eenvoudiger motorconcept (constant toerental e.d.), hogere efficiency (de elektromotor zet 90% van de elektriciteit om in nuttige beweging, de verbrandingsmotor 15%).*

*Nadeel: elektriciteit is moeilijk op te slaan, een accu opladen kost uren, de energiedichtheid is 80 keer kleiner dan van een benzinetank.*

*In gedachten evolueert de elektrische auto dan naar de elektrische auto met brandstofcel op waterstof. Voordeel: de energiedrager kan gewoon worden meegenomen, nog steeds 2 à 3 keer efficiënter dan de verbrandingsmotor.*

*Nadeel: de lage energiedichtheid van waterstof. Bij normale T(temperatuur) en P(druk) is 36.000 liter waterstof nodig om 500 km te kunnen rijden, dus zijn cryogene tanks en robotvulstations nodig. Ander nadeel: het onder druk koelen van waterstof kost eenderde van zijn energie. Dus komen de gedachten op de brandstofcelauto op methanol, met een reformer om onderweg zelf waterstof te maken.*

*Voordeel: het rendement van reformer, bsc en elektromotor is 38%.*

*Nadeel: stoomreforming van methanol vereist 280 graden Celsius.*

*Tweede nadeel is de CO<sub>2</sub>-emissie. Zodat we tenslotte uitkomen op een brandstofcelauto op methanol uit biomassa.*

### c. Solidariteit: Overstap naar brandstofcel op waterstof

Mogelijk is ook de rechtstreekse voeding van de brandstofcel met waterstof, zonder tussenkomst van een reformer in het voertuig. Vloeibare motorbrandstoffen (olie of biobrandstof) worden dan volledig door waterstof vervangen. Nodig is een aantoonbaar voordeel van centrale waterstofproductie boven de productie in het voertuig (in de reformer). De techniekontwikkeling van waterstofopslag (metaalhydriden, nanotubes e.d.) zal voldoende voortgang moeten maken om de overstap mogelijk te maken, maar valt niet voor 2020 te verwachten (Shell). Gezien de lange productietijden in de autowereld zal deze overstap - zo die er al komt - zeker niet voor 2050 voltrokken zijn. Van belang is ook dat hiervoor een geheel nieuwe brandstofvoorzieningsstructuur moet worden aangelegd. Voor de lucht- en scheepvaart is de ontwikkeling te langzaam om in 2050 van significante betekenis te zijn.

### d. Ecologie: Doorontwikkeling elektrische voertuigen

Belangrijke componenten van de auto met brandstofcel zijn tevens onderdeel van de elektrische voertuigen. Goed bruikbare opslag in accu's zal beschikbaar komen en er is zeker een potentieel voor elektrisch transport in steden en andere kleinere afstanden. De vraag is echter of elektrisch transport op langere afstanden voordelen biedt boven de brandstofcel of explosiemotor als aandrijflijn. Voor bredere toepassing is het nodig dat de opslagtechnologie een paar stappen verdere ontwikkeld wordt. Belangrijk is dat de overgang naar elektrische voertuigen snel kan beginnen en zowel zeer geleidelijk als snel kan gaan: de infrastructuur is reeds aanwezig.

## 2. Het aanbod van energie

### Samenstelling van het energieaanbod

Het primaire energiegebruik van Europa, met 75 EJ ca. 20% van het wereldtotaal, bestaat voor meer dan 80% uit fossiele energie. De situatie is in termen van Gebruik (G), Productie (P), en Reserves (R)(R) als volgt: alles in EJ, R/P en R/G in jaren (Zie tabel 12, BP/Amoco).

Bovenstaande cijfers hebben betrekking op geheel Europa; de eigen energievoorraden van West-Europa zijn nog kleiner. De EU heeft momenteel 2% van de wereldreserves olie, 3,6% van aardgas, 12,4% van steenkool en 3% van uranium. Alleen Japan heeft een nog slechtere voorraadpositie. De olie- en gasafhankelijkheid van de EU zal toenemen van 65% in 1995 tot 80% in 2020 (Appert e.a.); de Europese primaire energievraag bestaat dan voor 46% uit olie en voor 41% uit gas.

TABEL 12: kerncijfers Europa (BP/Amoco, USGS)

Europa	Gebruik	Productie	P/G	Reserves	R/P	R/G	nog onontdekt (USGS)
Olie	31,8	13,6	0,43	113	8	3	125
Aardgas	16	10,3	0,64	196	19	12	330
Kolen	14,7	10,9	0,74	2280	209	155	

TABEL 13: prognoses voor Europa

Europa		IIASA/WEC	
		2000	2050
kolen	consumptie van primaire energie	11 - 16	1,5 - 24,5
	productie	8,5 - 10,5	1,25 - 12,5
gas	finale energiegebruik	9 - 11	8,5 - 22
	consumptie van primaire energie	12,5 - 14	10 - 30,5
	productie	8 - 9	6 - 7,5
kernenergie	consumptie van primaire energie	8	5 - 41
	productie	8	5 - 41
olie	finale energiegebruik	19,5 - 21,5	1,5 - 18
	consumptie van primaire energie	23,5 - 25,5	4 - 29,5
	productie	9 - 11,5	1,5 - 17
finale energiegebruik	industrie	14 - 15	6,5 - 12
	diensten	15,5 - 17,5	14,5 - 28,5
	transport	13 - 15	8 - 23,5

Matsuoka et al. (AIM96) zien de komende decennia in de energievoorziening van geheel Europa (d.i. inclusief Midden- en Oost-Europa) vrij weinig veranderen, behalve in het gebruik en de productie van kolen. Deze variatie is volgens hun zeer afhankelijk van de vraag of er een gemeenschappelijk CO<sub>2</sub>-beleid gevoerd wordt en dus afhankelijk van het wereldbeeld. Als het beleid wordt gericht op stabilisatie van de CO<sub>2</sub>-uitstoot zou gebruik en productie van steenkool zich stabiliseren op 8,5 tot 17 EJ in 2050 (nu: 10,5 EJ). Als er geen reductieafspraken komen kan dat leiden tot een vervijfvoudiging van het Europese kolengebruik tot 50 EJ in 2050. Van olie en gas neemt het gebruik in alle scenario's licht toe en de productie licht af. IIASA/WEC geeft de volgende prognoses: zie tabel 13

Een overeenkomst in alle scenario's is de toenemende vraag naar flexibele, comfortabele en schone brandstof: elektriciteit en gas. Dit geldt ook voor alle wereldbeelden, hoewel de eis van schone energie wel verschilt: in Vrijhandel is deze eis ondergeschikt, in Isolatie en Ecologie geldt de eis alleen voor de directe omgeving. In Ecologie ligt voorts nog de nadruk op duurzame energie en energiebesparing.

Terwijl de niet-OECD-landen, vooral in Azië, meer dan 50% van de wereldwijde energievraag voor hun rekening gaan nemen, moet aardgas in de toekomst vooral uit de voormalige Sovjet Unie (40% van de bewezen voorraden), het Midden-Oosten en Noord-Afrika (samen 30% van de bewezen voorraden) komen.

Wanneer dit gas de grens niet overkomt, blijft Azië op kolen aangewezen en krijgt West-Europa met tekorten te kampen.

### Fossiele brandstoffen

#### OLIE

Nederland is een belangrijke schakel in de West-Europese olievoorziening: van de bijna 150 miljoen ton olie(-producten) die wordt geïmporteerd, wordt jaarlijks 25 miljoen ton in eigen land gebruikt terwijl er nog eens 15 miljoen ton gebunkerd wordt; de rest is al dan niet na bewerking in de vijf raffinaderijen bestemd voor doorvoer. De herkomst van deze oliestroom is nu voor 2/3 het Midden-Oosten en 1/3 daarbuiten. Gezien de uitputting van Europese bronnen, neemt de Europese afhankelijkheid van het Midden-Oosten weer toe. De olieafhankelijkheid van Europa stijgt de komende 20 jaar van 50 naar 75%. In en rondom Europa is de oliesituatie als volgt: zie tabel 14.

Het ten einde lopen van de goed en goedkoop toegankelijke olievoorraden (zie hoofdstuk 2) zal de prijs van ruwe olie doen stijgen. Omdat de prijs van eindproducten, zoals benzine, voor het overgrote deel afhangt van bewerking, accijnzen en heffingen, zal deze slechts beperkt door deze prijsverhoging worden beïnvloed. En gezien de ook nog eens lage prijselasticiteit zal de vraag naar olieproducten

in het verkeer dan ook nauwelijks worden afgeremd. Naast transport blijven petrochemie, raffinage en bunkering in Nederland dominante gebruikers.

Hun onderlinge verwevenheid, de nabijheid van de afzetmarkt, een gunstige infrastructuur en de 'lock-in-effecten' van de noodzakelijke grote investeringen maken dat deze bedrijvigheid voorlopig wel in Nederland blijft. Een grotere afstand tot de oliebronnen en strengere milieu-eisen kunnen deze bedrijvigheid op langere termijn uit Nederland doen verdwijnen.

#### AARDGAS

De Europese gasmarkt is, vanwege de beperkte vervoerscapaciteiten, meer regionaal van opzet dan de oliemarkt. Het West-Europese gas (uit Noorwegen, Duitsland, Nederland en het Verenigd Koninkrijk) raakt met name in de wereldbeelden Vrijhandel en Solidariteit na 2020 op. De productie zal de sterk stijgende vraag niet kunnen bijbenen en er zal meer geïmporteerd moeten worden. De importafhankelijkheid die nu 1/3 is, is over 20 jaar 2/3 en over 50 jaar bijna compleet. Deze import komt nu nog voor 3/4 uit Rusland via pijpleidingen, maar in 2050 komt deze uit alle omliggende gasvelden

TABEL 14: verdeling olieproductie nu en straks

Land/regio	Aardolieproductie 1998 (PJ per dag)	Bewezen aardolie-reserves (EJ)
Noorwegen en Verenigd Koninkrijk	34,5	92
Midden-Oosten	132	3870
Algerije en Libië	17,25	230
Nigeria	11,5	132
Rusland	40	373

TABEL 15: verdeling gasproductie nu en straks

Land/regio	Aardgasproductie 1998 (EJ)	Bewezen aardgasreserves (EJ)
Europa	11,5	190
Midden-Oosten	7,5	1900
Noord-Afrika	3,75	225
Nigeria	0,2	150
Rusland	27	2150

**Iran**

Met meer dan 20 biljoen m<sup>3</sup> gas (750 EJ) in de grond beschikt Iran over de op een na grootste bewezen gasreserve. Daarvan wordt steeds minder afgefakkeld, steeds meer binnenlands geconsumeerd en steeds meer geëxporteerd.

De export moet vooral door buizen gaan omdat Iran niet beschikt over LNG-fabrieken. Iran heeft grootse plannen voor de aanleg van netwerken richting India, Pakistan, Turkije, Oekraïne en Midden- en Oost-Europa. In zijn meerjarenplannen (tot 2020) anticipeert Iran op het einde van zijn olievoorraden en doet het voorstellen om de laatste olieopbrengsten te gaan investeren in gasinfrastructuur (IEA, Middle East Oil and Gas, 1995).

**Windrijk Europa?**

Greenpeace heeft uitgerekend wat het zou betekenen als 10% van de wereldbehoefte aan elektriciteit in 2020 uit windenergie zou komen: een opgesteld vermogen van 1200 GWe (nu: 10 GWe) en een productie van 3000 TWh (nu: 20). In 1998 was het Europese windvermogen 6,5 GWe. Duitsland was Europees kampioen met 3 GWe. Het Greenpeace-scenario voor West-Europa is 220 GWe windvermogen in 2020 (wv. 70 offshore) met een jaarproductie van 540 TWh: een verdertigvoudiging.

Waarom zou Europa die weg op gaan?

Reden 1: deze windenergie spaart jaarlijks 3500 PJ primaire brandstof uit, ofwel 110 miljard m<sup>3</sup> aardgas (bij een STEG-rendement van 55%).

Reden 2: dit alles scheelt 215 Mton CO<sub>2</sub> in 2020, ofwel 5% van de emissie in dat jaar.

(zie tabel) door pijpleidingen of in de vorm van LNG. De gassituatie in de gebieden rond Europa is als volgt (BP 1999 en USGS 2000): tabel 15

Gas is in 2050 de meest verhandelde energiedrager. Rusland exporteert dan 100 tot 500 miljard m<sup>3</sup> gas per jaar (dat is 4-19 EJ; IASAWEC); in bepaalde scenario's maakt de technologische vooruitgang onconventioneel fossiel en duurzaam eerder mogelijk, in andere is er een hoge groei van de energievraag, maar zijn er geen alternatieven beschikbaar.

Of de benodigde pijpleidingen en LNG-overslaginfrastructuur er de komende 50 jaar zullen komen hangt af van het wereldbeeld: in 'Isolatie' raakt West-Europa afgesloten van de gasbronnen van Centraal-Azië en het Midden-Oosten, in 'Ecologie' is er geen waardering voor grootschalige LNG-aanlanding.

De nodige infrastructuur brengt daarnaast hoge kosten met zich mee, waarvan het de (wereldbeeldafhankelijke) vraag is of men die op zal willen blijven brengen. Zo kost de geplande Yamal-pijpleiding (capaciteit 60 - 80 mrd m<sup>3</sup> per jaar over 4000 km) 25 - 30 mrd \$ (Energy Charter 1998). Overige grote geplande pijpleidingen naar Europa zijn (Cedigaz, 1995): tabel 16

Nederland heeft binnen West-Europa nog een bijzondere positie door de uitgebreide gasinfrastructuur en de eigen voorraden. Volgens de laatste gegevens resteert thans nog 800 miljard m<sup>3</sup> uit bekende velden en wordt nog 325 miljard m<sup>3</sup> verwacht ('futures'). Als de productie in hetzelfde tempo doorgaat als nu (75 miljard m<sup>3</sup> per jaar, Gasunie) is het over 28 jaar, inclusief de futures, afgelopen.

TABEL 16: geplande pijpleidingen naar Europa

herkomst	bestemming	Capaciteit mrd m <sup>3</sup> /jr / (EJ/jaar)
Rusland	Europa	60 - 80 (2,25 - 3)
Barentszee	Finland	10 - 12 (0,38 - 0,45)
Turkmenistan	Turkije	31 (1,17)
Libië	Italië	8 - 10 (0,30 - 0,38)
Qatar	Europa	30 (1,13)
Iran	Europa	32 (1,20)
Rusland	Turkije	17 (0,64)

TABEL 17: verschillende soorten gas

Bron/grondstof	Techniek	Waterstof	Synthese gas	SNG
Biomassa/ kolen	Vergassing	X	X	X
Biomassa	Pyrolyse	X		
Biomassa/ aardgas	Plasmascheiding	X		
Biomassa	Vergisten			X
Elektriciteit	Elektrolyse	X		
Direct zonlicht	Divers	X		
Aardgas/olie	Steam reforming Partiële oxidatie	X	X	

**ANDER GAS**

Meerdere gassen kunnen benut worden als energiedrager. Naast aardgas (in verschillende samenstellingen) gaat het om synthetisch aardgas (SNG), biogas (een gasmengsel uit afval of biomassa), synthegas (een mengsel van koolmonoxide en waterstof, te vergelijken met het vroegere stadsgas) en waterstof. Behalve voor aardgas en biogas geldt dat de gassen geproduceerd moeten worden. Dit kan zowel uit duurzame energie als uit fossiele energie, zoals blijkt uit tabel 17 (Novem/GAVE, 1999).

Een vergaande vorm van de inzet van 'ander gas' is de 'waterstofeconomie'. Hierbij gaat men uit van een geleidelijke overgang van aardgas- naar waterstofgebruik. Het benodigde waterstof zou in eerste instantie uit kolengas, aardgas of biomassa geproduceerd worden en bijgemengd met bestaande gasstromen (bijmenging tot 17% waterstof is in de huidige Nederlandse aardgasstructuur geen probleem); de vrijkomende CO<sub>2</sub> wordt opgevangen en opgeslagen. Op langere termijn zou dan pure waterstof gebruikt worden, geproduceerd door elektrolyse van water met stroom uit zonlicht of andere energiebronnen die geen CO<sub>2</sub>-emissie hebben. In die gedachtegang komen er waterstofnetten zoals de aardgasnetten van nu; het waterstof wordt gebruikt in brandstofcellen (mini-, micro-WKK of auto's). De ontwikkeling van technologie die hiervoor nodig is en de wil om deze ook toe te passen, is het meest aanwezig in het wereldbeeld Solidariteit.

**KOLEN**

Kolen is en blijft voor West-Europa de energiebron voor "als de nood aan de man komt", zoals in het wereldbeeld Isolatie: er is genoeg, ook in Europa zelf (in Duitsland en Polen) en de prijzen zijn stabiel.

Kolen wordt gebruikt voor de basislastproductie van elektriciteit en als feedstock; ook kan er met bewezen techniek SNG en een vloeibare motorbrandstof uit geproduceerd worden. Al enkele decennia is er wereldwijd een ontwikkeling naar het gebruik van koolwaterstoffen met een lager koolstofgehalte (van steenkool naar olie naar aardgas). Deze tendentie zal zich voortzetten, zeker als de brandstofceltechnologie doorbreekt (BP/Amoco). Ook in Europa nemen productie en consumptie van kolen ieder jaar verder af onder invloed van sociale en klimaatdoelstellingen. Een breuk van deze trend kan optreden als het mogelijk wordt om kolen schoon ('clean coal', bijlage 1) en koolstofvrij (CO<sub>2</sub>-opslag) te gebruiken, of als de aanvoer van olie en gas langdurig verstoord zou zijn.

**Niet-fossiele energie: duurzame energie en kernenergie****DUURZAME ENERGIE**

Naar verwachting zullen duurzame energiebronnen het meest in trek zijn voor de productie van elektriciteit. In 2050 heeft stroom uit windenergie ongetwijfeld een met andere elektriciteit concurrerende kostprijs gekregen. In Nederland is de capaciteit op land beperkt wegens concurrentie met andere gebruiksmogelijkheden; naar schatting is de maximale capaciteit van landlocaties 2000 à 3000 MW. Offshore zijn de mogelijkheden groter (grotere vermogens, gunstiger windklimaat) al staan daar de aanlegkosten van elektriciteitskabels tegenover. ECN schat dat al in 2020 het Europese offshore-potentieel 15.000 MW kan bedragen; in 2050 kan het nog aanzienlijk groter zijn als de Noordzeelanden daarvoor een duidelijke keuze maken. In drie van de vier wereldbeelden is offshore windenergie een aantrekkelijke optie: in Isolatie vanwege de bijdrage aan energie-onafhankelijkheid, in Solidariteit door de bijdrage aan vermindering van broeikasgasemissies en

**Geïntegreerde plantconversie**

*Groene planten zetten zonlicht om in chemische energie met een efficiency van 6,7% (Hall e.a., Renewable Energy, 1993). Planten gebruiken maar 50% van het invallende zonlicht en daarvan slechts 80% voor fotosynthese; ook gaat nog een deel op aan nachtademhaling. Het lijkt dus aantrekkelijk, het fotochemische proces van de groene plant 'na te bouwen' zonder deze nadelen. Een omzetting van zonlicht in chemische energie met een efficiency van meer dan 15% is met zo'n 'kunstmatig blad' zeker haalbaar.*

**Nieuwe duurzame energie**

*Golfenergie  
verschillende 'wave power generators' (0,1-1 MW) zijn sinds de eerste oliecrisis in het Verenigd Koninkrijk en Ierland ontwikkeld. Een Nederlandse vinding is de Archimedes Water Schommel (2 MW pilot, 8 MW operationele versie).*

*Getijdenenergie  
in Europa zijn meer dan 100 plaatsen geschikt (potentieel 50 TWh per jaar) voor getijdencentrales. Nieuw is de 'onder-watertmolen' (Seaflow, prototype 300 kW); een Nederlands proefproject behelst een 800 kW centrale in de Vlietstroom.*

*Aardwarmte  
de temperatuurgradiënt in de aardkorst is ca. 3 graden per 100 meter. Op geringe diepte is warm water van lage temperatuur beschikbaar; op grote diepte (2 tot 3 km) is het gesteente ('hot dry rock') 100 tot 200 graden.*



**Versnellergedreven systemen**

*In het Europese onderzoekscentrum CERN is door o.m. professor Rubbia een geheel nieuw reactorconcept ontwikkeld.*

*Zo'n Accelerator Driven System (ADS) bestaat uit een hoog-energetische protonenversneller en een subkritische (kweek)reactor. De eerste kost weliswaar veel energie, maar de versplijtingen in de kweekreactor leveren daar een veelvoud van op. De techniek biedt bovendien de mogelijkheid om het probleem van het radioactief afval op te lossen: de gevaarlijkste, langstlevende isotopen worden getransmuteerd of verspleten.*

*Het totale systeem is passief veilig, maar de kosten van elektriciteitsproductie zullen waarschijnlijk aanzienlijk zijn.*

**Nucleair Europa ?**

*De Europese Commissie heeft bekeken wat er de komende decennia nodig is om het aandeel kernenergie op peil houden. Gezien de groei van het elektriciteitsgebruik zou dit in 2025 40 GWe aan extra kerncentrales betekenen en vervanging van nog eens 60 GWe (de totale nucleaire capaciteit komt dan op 164 GWe). Consequentie hiervan is tot aan 2025 de productie van 975 ton plutonium en 2655 tHM uitgewerkte kernbrandstof per jaar. Waarom zou Europa die weg op gaan?*

*Reden 1: de nucleaire opwekking spaart jaarlijks 7000 PJ primaire brandstof uit, ofwel 220 miljard m<sup>3</sup> aardgas (bij een STEG-rendement van 55%).*

*Reden 2: de nucleaire opwekking scheelt 423Mton CO<sub>2</sub> in 2025, ofwel 11% van de CO<sub>2</sub>-emissie in dat jaar (3650 Mton in het Conventional Wisdom scenario).*

*Elke Mton CO<sub>2</sub>-emissiereductie per jaar betekent 6,2 tHM extra uitgewerkte splijstof.*

in Vrijhandel omdat het op den duur een goedkope bron van elektriciteit is. Alleen in Ecologie is de ontwikkeling meer bescheiden, waar het grootschalige karakter van deze technologie minder gewenst is.

Verwacht wordt dat elektriciteits- en warmteproductie uit afval en biomassa in 2050 gangbare praktijk is geworden. De schaal ervan hangt af van het wereldbeeld.

In de wereldbeelden Ecologie en Isolatie is het gebruik van biomassa lokaal, maar in Vrijhandel en Solidariteit internationaal georiënteerd. Energieproductie met PV is mogelijk, mits de veronderstelde tendentie naar lagere productiekosten en kWh-prijzen door voortgaande R&D en voortgaande schaalvoordelen bij de productie, bewaarheid worden. Afhankelijk van het wereldbeeld zouden de Nederlandse daken en ongebruikte infrastructuur (geluidsschermen, de Afsluitdijk) in 2050 van PV-materiaal zijn voorzien; grootschalige PV-centrales op maaiveld zijn door de ruimtedruk niet waarschijnlijk.

De manier waarop duurzame elektriciteit zijn weg vindt naar de afnemers is sterk afhankelijk van de beschikbare infrastructuur en van het veronderstelde wereldbeeld. Vooral in Ecologie en in Isolatie is PV bij uitstek geschikt voor een decentrale energievoorziening; biomassa kan zowel in grote gecentraliseerde eenheden als juist in kleine, klantgebonden decentrale installaties worden verwerkt. Afstemming van de vraag aan het aanbod maakt opslag-systemen nodig. Deze kunnen centraal zijn (op Europees niveau spaarbekkens in Zwitserland en Scandinavië, zoals in Vrijhandel, of op nationaal niveau bijvoorbeeld een spaarbekken in de Noordzee of via centrale waterstofproductie, zoals in Isolatie) maar ook decentraal (accu's, waterstofproductie). Duurzame energiebronnen zijn ook voor warmteproductie toepasbaar (zonneboilers, omgevingswarmte, bio-WKK, aardwarmte). De nadelen van warmte-

transport (energieverlies, kosten) maken dat deze warmte vooral decentraal zal worden toegepast; dat wil zeggen op woning- of wijkniveau.

Deze mogelijkheden zullen naar alle waarschijnlijkheid standaard in het gebouwontwerp zijn opgenomen. Warmtepompen kunnen algemeen worden toegepast in de utiliteitsbouw (gecombineerde koude- en warmtelevering).

**NUCLEAIRE ENERGIE**

West-Europa is voor zijn elektriciteitsvoorziening momenteel voor eenderde aangevoerd op kernenergie.

Het meest gebruikte reactortype, de LWR, is nu, ingeval van nieuwbouw, economisch echter niet concurrerend met aardgasgestookte STEG's. Toepassing van kernenergie wordt door het overgrote deel van de Nederlandse publieke opinie niet aanvaardbaar geacht wegens de (kleine) kans op een groot ongeluk. Ook is er de kwestie van het radioactieve afval dat met LWR-technologie wel vermindert, maar niet opgelost wordt. Onderzoek is gaande naar nucleaire technieken die de genoemde nadelen niet hebben.

In elk geval zullen de nieuwe kernreactoren inherent veilig moeten zijn: de Hoge Temperatuur Reactor (HTR) voldoet aan dit criterium. In de tweede plaats moet het afvalprobleem op maatschappelijk acceptabele wijze worden opgelost: technieken zijn in ontwikkeling om de levensduur van radioactieve isotopen aanmerkelijk te verkorten (van tienduizenden naar honderden jaren). Tenslotte kunnen de investeringskosten nog verder omlaag: door de grotere eenvoud, modulaire bouw en serieproductie kunnen de stroomkosten uit HTR's naar verwachting de helft gaan bedragen van die van STEG's. In principe kan, zoals wordt verwacht in het wereldbeeld Solidariteit, met inherent veilige kerncentrales over enkele decennia voor een groot deel in de Nederlandse elektriciteitsbehoefte worden voorzien.

### 3. De weg naar de gebruiker

West-Europa en Nederland hebben een hoog ontwikkelde netwerkstructuur voor energie. In Nederland is iedereen die dat wil aangesloten op het elektriciteits- en aardgasnet. Het aanbod op dit net (productiecapaciteit, productkwaliteit, technische en economische afstemming) heeft lange tijd onder centrale regie gestaan, maar momenteel zijn de netbeheerders nog slechts verantwoordelijk voor minimale kwaliteits- en onderhoudseisen.

Sommige kwaliteitsverbeteringen van de energievoorziening, zoals verdergaande energie-efficiency, zijn nog denkbaar binnen deze bestaande kaders maar verdergaande innovaties zullen een nieuwe infrastructuur vergen. Zo vereist de optie 'schoon fossiel' technieken en een organisatie om CO<sub>2</sub> op te vangen, te verzamelen en op te slaan; daarnaast is bij deze optie een distributiekanaal voor waterstof nodig. De inzet van duurzame energie vereist bij een forse inzet van intermitterende bronnen (zon, wind) waarschijnlijk een nieuw meet- en regelsysteem in het elektriciteitsnet en daarnaast energieopslag om het aanbod aan te passen aan de vraag.

Anderzijds is het de vraag of er nog wel grootschalige netwerken nodig zijn als gebruikers op autonome systemen zouden overgaan. Zo'n kleinschalige, aan de gebruikers gekoppelde energievoorziening past in wereldbeelden Ecologie en Isolatie die uitgaan van vergaande individualisering of het primaat van lokale gemeenschappen. Daarnaast is er in de energietechniek sprake van een trendbreuk: waar deze tot voor kort (kolen, nucleair, windenergie, energietransport) nog voordeel had bij opschaling, zijn er nu technieken in opmars (brandstofcel, micro-WKK, warmtepomp, zon-PV) die juist bij toepassing op kleine schaal voordelen aan de gebruiker bieden.

#### INFRASTRUCTUUR VOOR GAS

Gasvormige energiedragers hebben het voordeel dat hun transport met lage verliezen gepaard gaat, waardoor ze zeer geschikt zijn voor energietransport over grote afstanden. Andere voordelen zijn leveringszekerheid, flexibiliteit als het gaat om capaciteit en de mogelijkheid tot opslag om fluctuaties in de vraag te kunnen opvangen. Er is een aantal scenario's denkbaar voor de inzet van gasvormige energiedragers:

- Centrale omzetting van aardgas (leidinggebonden c.q. LNG) in waterstof, CO<sub>2</sub>-afvang en -opslag, distributie van waterstof als energiedrager
- Toepassing van een mengsel van aardgas en (lokaal geproduceerd) waterstof
- Toepassing van aardgas en SNG in transport- en distributienetwerk
- Transportnetwerk aardgas/SNG en distributienetwerk waterstof

De gasvormige energiedrager wordt vervolgens door de gebruiker omgezet in elektriciteit en warmte. Het schaalniveau waarop dit gebeurt bepaalt de conversietechniek. Het bepaalt tevens de flexibiliteit in finale energiedragers.

Nederland neemt in Europa een bijzondere positie in door het hoge aandeel aardgas (50%) in het primaire energiegebruik. Nederland beschikt dan ook over een omvangrijk gastransport- en distributienetwerk (12.000 km hoge druk gastransportnet, 110.000 km distributienetten). Het grootste deel van dit netwerk is gelegd in de jaren 60, delen van het lokale netwerk dateren echter nog uit de stadsgasperiode daarvoor. Schattingen over de levensduur van een gasnetwerk variëren van 50 tot 80 jaar.

De geschatte vervangingswaarde van alleen al de distributienetten van de energiebedrijven bedraagt ongeveer 15 miljard gulden.

Een groot deel van het huidige netwerk zal, tenzij drastische economisch niet-rendabele maatregelen worden genomen, in 2050 nog steeds bruikbaar zijn. In principe kunnen alle gasvormige energiedragers door het Nederlandse leidingnet worden getransporteerd, zij het dat er voor zeer anderssoortige gassen aanpassingen nodig zijn.

Momenteel wordt de aardgaskwaliteit in Nederland voor kleingebruikers zeer constant gehouden ('nauwe Wobbeband'). Bij inzet van geproduceerde gassen en mengels van gassen wordt het moeilijker om deze constante kwaliteit te handhaven. Een grotere marge is waarschijnlijk nodig bij inzet van meerdere gassen en gasmengsels. Toestellen zullen hier op aangepast moeten worden. Aangezien de levensduur van toestellen veelal niet meer dan 20 jaar bedraagt, hoeft een keuze hiervoor nu nog niet te worden gemaakt. Een grotere variatie in gaskwaliteit betekent dat de toestellen iets minder energiezuinig worden, maar over de hele gasketen kan het rendement wel toenemen. In de wereldbeelden Vrijhandel en Solidariteit wordt verwacht dat in 2050 aardgas of SNG de basis zal zijn van de gasvoorziening, al dan niet gemengd met waterstof. Een overgang op waterstof komt er alleen als daarvoor expliciet wordt gekozen (zoals in Solidariteit) of wanneer de omstandigheden daartoe aanleiding geven (zoals in Isolatie: Europese waterstofproductie met elektriciteit uit grootschalige windparken of uit kerncentrales). In Ecologie is een lokale of regionale inzet van waterstofrijke gasmengsels een reële optie.

Afhankelijk van de benodigde flexibiliteit in de vraag en de variatie in het aanbod is er opslag van gas nodig. Op dit moment is in Nederland in vergelijking tot andere Europese landen weinig geïnvesteerd in opslagcapaciteit van aardgas.

**Gelijkstroom**

*Verbeterde vermogenslektronica maakt op de lange termijn toepassing mogelijk van HVDC (hoogspanningsgelijkstroom). Transport van elektriciteit kan daarmee door ondergrondse kabels plaatsvinden zodat het bovengrondse hoogspanningsnet overbodig wordt. Ondanks de hogere kosten zijn de voordelen in dichtbevolkte gebieden evident. Ook kan elektriciteit met deze nieuwe techniek over grote afstanden en met geringe verliezen worden getransporteerd, hetgeen ongekende mogelijkheden biedt voor energietransport: niet de primaire energiedrager wordt getransporteerd, maar de geproduceerde elektriciteit. HVDC wordt dan een alternatief voor bijvoorbeeld het lange-afstand gastransport: Noorwegen en Rusland evolueren dan van aardgas- naar stroomexporteurs.*

*Tenslotte biedt deze techniek de mogelijkheid om duurzame energiesystemen een optimale schaalgrootte en locatie te bieden (grootschalige windturbines ver op zee, PV in dunbevolkte verafgelegen gebieden) en om marginale offshore olie- en gasvelden te exploiteren door ter plaatse de fossiele brandstof om te zetten in elektriciteit.*

Opslag is nu vooral bedoeld om te kunnen voldoen aan piekvraag naar gas, bijvoorbeeld op zeer koude dagen; daarnaast wordt opslag nodig omdat de capaciteit van bestaande gasvelden tekort gaat schieten. De huidige aardgasopslag is in lege gasvelden, in de vorm van LNG en in de vorm van linepack in het leidingstelsel. In de toekomst kan opslag van energie nodig zijn om dag/nacht variaties, week/weekendvariaties of seizoensvariaties in de vraag te kunnen opvangen. De keuze van de vorm van gasopslag is afhankelijk van de energiebehoefte en het -stelsel:

- Centrale omzetting van aardgas (leidinggebonden c.q. LNG) in waterstof, CO<sub>2</sub> (of C)-afvang en -opslag, distributie van waterstof als energiedrager: centrale opslag waterstof voor seizoensvariaties nodig. Kleinere variaties kunnen hierbinnen waarschijnlijk worden opgevangen.
- Toepassing van een mengsel van aardgas en (lokaal geproduceerd) waterstof: seizoensopslag voor aardgas en lokale opslag bij productiepunten waterstof (dag/week).
- Toepassing van aardgas en SNG in transport en distributienetwerk: seizoenopslag bij productiepunten SNG Transportnetwerk aardgas/SNG en distributienetwerk waterstof: zie boven.
- Bij voornamelijk decentrale productie van gas kan de seizoenspiek een probleem opleveren.

**INFRASTRUCTUUR VOOR ELEKTRICITEIT**

Het huidige elektriciteitsnet bestaat uit een hoog-, midden- en laagspanningsdeel. Het (bovengrondse) hoogspanningsdeel heeft een lengte van 8.500 km, het ondergrondse deel 100.000 km. De installaties in de elektriciteitsinfrastructuur zijn zo robuust, dat ze langer dan 35 jaar meegaan. De gemiddelde leeftijd van de componenten in het Nederlandse elektriciteitsnet is 25 jaar, maar er zijn elektriciteitskabels die al 100 jaar meegaan.

De functie van het elektriciteitsnet is op een aantal punten aan het veranderen. Het hoogspanningsnet, ooit aangelegd om de leveringszekerheid aan de stroomafnemers te vergroten door het leggen van een verbinding ('koppelnet') tussen de verschillende elektriciteitscentrales, wordt in toenemende mate een medium voor elektriciteitshandel. Die nieuwe functie vergt ook nieuwe technieken, zoals FACTS (Flexible AC Transmission), waarmee elektrische stromen stuurbaar worden. Het midden- en laagspanningsnet wordt ook geschikt voor informatietransport, zodat het in principe de functie kan overnemen van telefoon- en tv-kabels. Elektriciteitshandel, een grote variatie aan producenten (waaronder kleinschalige, decentrale) en aan consumentenvragen (zoals tariefdifferentiatie en de mogelijkheid om van leverancier te veranderen) en een blijvende behoefte aan netstabiliteit vormen een grote uitdaging voor de meet- en regeltechniek. De ontwikkeling van de elektriciteitsnetten is enigszins afhankelijk van het beschouwde wereldbeeld. In Vrijhandel en in Solidariteit wordt een sterke koppeling aan de Europese hoogspanningsinfrastructuur voorzien. In Ecologie en Isolatie is die koppeling daarentegen veel zwakker en vindt op nationale schaal de toepassing van lokale zwakgekoppelde deeltetten plaats, hetgeen aansluit bij de sterk gedecentraliseerde elektriciteitsproductie.

Vanwege het toenemende aandeel duurzame energie bij de elektriciteitsopwekking zal in de toekomst elektriciteit zowel groot- als kleinschalig worden opgeslagen. Kleinschalige elektriciteitsopslag vindt vooral plaats in hybride voertuigen. Vanwege de grote aantallen is de totale capaciteit daarvan aan te merken als grootschalige opslag voor de dag/nachtcyclus. Andere vormen van grootschalige elektriciteitsopslag voor de dag/nachtcyclus (bijvoorbeeld in een opslagbekken op de

Noordzee) blijven duur. Wel worden vormen van elektriciteitsopslag ontwikkeld voor veel kortere perioden. Daardoor is eenvoudiger aan piekvraag te voldoen en is rem- en/of valenergie zoals van liften te recupereren.

#### INFRASTRUCTUUR VOOR WARMTE

Om energetische en economische redenen zal warmtetransport over grote afstanden ook in 2050 niet voorkomen. In sommige woongebieden zal warmtedistributie worden toegepast, vooral wanneer gebruik van aardgas voor ruimteverwarming niet meer vanzelfsprekend is. In veel gevallen zal het gaan om distributie van warmte bij lage temperatuur (bijvoorbeeld industriële restwarmte) die alleen voor ruimteverwarming bruikbaar is. Bestaande warmtedistributienetten zullen cascades gaan toepassen: de retourwarmte van bestaande distributiegebieden wordt de aanvoerwarmte van nieuwe warmtenetten bij lage temperatuur.

Een bijzondere vorm is toepassing van warmtepompen met brondistributie, waarbij nauwelijks warmteverlies optreedt en ook koudedistributie mogelijk is.

Warmtedistributie zal gekoppeld zijn aan verschillende bronnen. Bij industriële (rest-)warmte blijft het probleem dat dit op te lange afstanden van de gebruiksgebieden beschikbaar komt en dat het verzamelen van verschillende warmtestromen relatief kostbaar is. Daarnaast komt warmte beschikbaar bij grootschalige elektriciteitsopwekking, (biomassa-)WKK en aardwarmte. Ook valt te denken aan collectieve warmtepompen met als warmtebron industriële restwarmte, maar ook uit oppervlakte- en grondwater. De meest uitgebreide warmteinfrastructuur is te verwachten in Isolatie, waar de meeste nadruk wordt gelegd op het uiterst zuinige gebruik van de resterende inheemse energiebronnen ('Nederland WKK-land').

#### DECENTRALE ENERGIEVOORZIENING

In een 'decentrale energievoorziening' zorgen de energiegebruikers zoveel mogelijk zelf voor de productie van de energiedragers die zij nodig hebben. Algemeen wordt aangenomen dat in Nederland het aandeel decentrale voorziening toe zal nemen. Hoe groot het aandeel uiteindelijk zal zijn, hangt af van het wereldbeeld en de waardering van de voor- en nadelen.

Voordelen van decentrale systemen zijn de onafhankelijkheid van de gebruiker, de grotere flexibiliteit en daardoor betere beheersbaarheid; bovendien zullen mensen met een 'eigen' voorziening wellicht eerder tot energiezuinigheid geneigd zijn.

Nadeel is dat de systemen voor een volledig autonome voorziening (dat wil zeggen: altijd aan elke vraag kunnen voldoen, 'eilandbedrijf') vaak overgedimensioneerd zijn en zo niet, dat er dan toch een groot netwerk aan back-up-, transport- en regelsystemen in stand gehouden moet worden waar zeer veel actoren bij betrokken zijn. Een voordeel van een archipel aan eilandbedrijfjes zou wel de relatieve ongevoeligheid voor storingen zijn: als er één uitvalt geeft dat niet direct een reactie in de rest van het systeem.

Technieken voor decentrale energievoorziening zijn onder andere zon-PV, zonthermisch, mini- en micro-WKK en warmtepompen. Het gaat grotendeels om technieken die nog aan het begin van hun ontwikkeling staan. Bij succesvolle introductie zullen wind en kolen als primaire energiebronnen minder belangrijk worden en zon, gas en eventueel biomassa belangrijker. Door de ongelijktijdigheid van opwekking en gebruik en om de betrouwbaarheid te vergroten zullen (decentrale) opslagsystemen nodig zijn.

#### 100% decentraal - hoe ziet dat er uit?

*Woningen en gebouwen:*

- *elk gebouw een zonnecollector- en PV-dak, en daarnaast*
- *óf alle gebouwen een eigen micro-WKK, warmtepomp of brandstofcel*
- *óf op wijkniveau warmtepompen of mini-WKK*

*Industrie en landbouw:*

- *elke industrie zijn eigen WKK-centrale, bijvoorbeeld STEG of (mini)WKK*
- *zoveel mogelijk zonnecollectoren, PV, en/of lokale windenergie*

*Verkeer en vervoer:*

- *óf lokale productie van waterstof voor de auto op brandstofcellen*
- *óf elektrische auto's die opladen bij lokale PV- of WKK-installaties*

*De warmtepompen werken op lokaal geproduceerde elektriciteit; de WKK en brandstofcellen op lokaal geproduceerd biogas of waterstof.*

**Meer van hetzelfde - hoe ziet dat er uit?***Energieproductie:*

- Elektriciteit uit wind of import;
- Zonnepanelen op de daken
- Zoveel mogelijk gecombineerde warmte- en krachtproductie
- Kolengebruik, kolenvergassing en gasgebruik met CO<sub>2</sub>-opslag

*Woningen en gebouwen:*

- Warmtepompen
- HR-ketels en/of micro-WKK op aardgas,
- biogas of SNG

*Verkeer en vervoer:*

- Hybride auto's met biobrandstof
- Auto's met brandstofcellen

Voor een decentrale voorziening is in elk geval nog verdere techniekontwikkeling nodig, voor de systemen zelf en voor (decentrale) opslagsystemen.

Verder vereist een decentrale voorziening een goede samenwerking of afstemming tussen de verschillende actoren en tussen vraag en aanbod; te denken valt aan samenwerkingsverbanden, coöperaties of andere instituties op lokale en regionale schaal. Gezien deze vooronderstellingen zal een decentrale voorziening vooral gedijen in een sociaal/politiek klimaat waarin men hecht aan onafhankelijkheid, zelfvoorziening en een schoon milieu.

**'MEER VAN HETZELFDE'**

ECN wijst in zijn publicatie 'Energie-technologie in het spanningsveld tussen liberalisering en klimaatbeleid' op het risico van een 'houdgreep' ofwel een doodlopende weg: door verdergaande maar niet spectaculaire verbeteringen van de bestaande energiesystemen en het ontbreken van een drijvende kracht om lange-termijnprojecten aan te pakken, zullen systeeminnovaties, laat staan een transitie naar een volkomen nieuwe energievoorziening, er niet komen. Men is altijd geneigd om te kiezen voor de makkelijkste weg die zo min mogelijk veranderingen met zich mee brengt. Deze instelling kan er voor zorgen dat de energievoorziening op de oude weg voortgaat zolang dat maar mogelijk is. Een voorbeeld daarvan is dat de bestaande infrastructuur zo veel mogelijk wordt gebruikt omdat het aanleggen van een nieuwe infrastructuur duur, lastig en riskant is. Wanneer dit zich voordoet is de voorspelling gerechtvaardigd dat de finale energiedragers van 2050 vrijwel dezelfde zullen zijn als de huidige: elektriciteit, vloeibare en gasvormige koolwaterstoffen.

Wanneer het oplossen van het CO<sub>2</sub>-probleem urgent blijft, hetgeen wordt verwacht in de wereldbeelden Ecologie en Solidariteit, zal de elektriciteit uit niet-fossiele opwekking moeten komen en moeten de vloeibare en gasvormige dragers vervangen worden door duurzamere energievormen, waarvoor vooralsnog alleen biomassa geschikt is.

Omdat Nederland de nodige hoeveelheden niet kan produceren wordt de energievoorziening zeer afhankelijk van de biomassa exporterende landen. In een dergelijk toekomstbeeld passen onder andere CO<sub>2</sub>-opslag, hydrovergassing van biomassa voor de productie van SNG en productie biobenzine en -diesel.

Hoewel er zoveel mogelijk van de bestaande infrastructuur gebruik gemaakt wordt, zijn er ook in dat geval aanpassingen nodig. Zo zal bij een grootschalig gebruik van SNG dit opgeslagen moeten worden om de variatie in vraag en productie op te vangen, is er ruimte en techniek nodig voor CO<sub>2</sub>-opslag, en moeten grote hoeveelheden zonne-, wind- en kernstroom worden geïmporteerd om aan de elektriciteitsvraag te voldoen.

Voor een dergelijke ontwikkeling is het nodig dat mondiale milieuproblemen, zoals de CO<sub>2</sub>-emissie, niet als allesoverheersend worden gezien.

Een goed vertrouwen in de voortschrijdende techniek is eveneens een vereiste. Als men dan later alsnog overgaat op vernieuwing van de energieaanvoer maar dan wel op basis van de bestaande infrastructuur, worden geïmporteerde elektriciteit en biomassa de belangrijkste energiebronnen.

Daarvoor is dan wel een behoorlijk functionerende (wereld-)markt vereist.





# Lijst van afkortingen

ADL	Arthur D. Little	USBoC	United States Bureau of Census
AER	Algemene Energie Raad	USDoE	United States Department of Energy
CERN	Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire	USGS	United States Geological Survey
CPB	Centraal Plan Bureau	VCE	Verkeningscommissie Energieonderzoek
DTO	Duurzame Technologische Ontwikkeling	VN	Verenigde Naties
ECN	Energieonderzoek Centrum Nederland	WB	Wereld Bank
EPRI	Elektric Power Research Institute	WEC	World Energy Council
IAEA	International Atomic Energy Agency	WTO	World Trade Organisation
IEA	International Energy Agency		
IIASA	International Institute for Applied Systems Analysis		
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	kilo	k 1000 10 <sup>3</sup>
MIT	Massachusetts Institute of Technology	Mega	M 1000 kilo 10 <sup>6</sup>
NEA	Nuclear Energy Agency	Giga	G 1000 Mega 10 <sup>9</sup>
NRG	Nuclear Research and Consultancy Group (joint venture ECN/KEMA)	Tera	T 1000 Giga 10 <sup>12</sup>
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development	Peta	P 1000 Tera 10 <sup>15</sup>
RPD	Rijksplanologische Dienst	Exa	E 1000 Peta 10 <sup>18</sup>
SCP	Sociaal Cultureel Planbureau	J	Joule
S&P	Standard and Poor's	CH <sub>4</sub>	methaan
STT	Stichting Toekomstbeeld der Techniek	CO	koolmonoxyde
TNO	Instituut voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek	CO <sub>2</sub>	kooldioxyde
UNCED	United Nations Conference on Environment and Development	H <sub>2</sub>	waterstof
		H <sub>2</sub> O	water
		H <sub>2</sub> S	zwavelwaterstof
		NO <sub>x</sub>	stikstofoxyden
		SO <sub>2</sub>	zwaveldioxyde

# Informatiebronnen

(literatuur/websites)

AER	Overheidsbeleid voor de lange termijn energievoorziening, 1999	Novem	Een energiek klimaat voor neutrale dragers, eindadvies van de inventarisatie van het GAVE-programma, december 1999
BP/Amoco	Statistical review of world energy, 1999	NRG	High Temperature Reactor Research at NRG, 1999
Cal-Tech	<a href="http://mars3.gps.caltech.edu/whichworld/index.html">http://mars3.gps.caltech.edu/whichworld/index.html</a>	OECD	China in the 21st century, 1996
CPB	Working paper, no 110, Globalization, International Transport and the Global environment: four quantitative scenarios, 1999	OECD	The Kyoto protocol, action of climate change Framework to measure sustainable development
CPB	Worldscan, the core version, 1999	OECD	Energy The next 50 Years, 1999
Cedigaz	Planned gas pipelines around the world, 1995	OECD	Future Program, Future Trends 5 cd-rom Database, 1999
Cedigaz	The European gas market players, 1997	OECD	The future of the global economy: Towards a long boom?, 1999
Cedigaz	Natural gas in the World: 1998 survey, 1999	OECD	21st century technologies: a future of promise? 1999
ECN	High Temperature Gas Cooled Reactor Applications and Future Prospects, 1997	OECD	<a href="http://www.sciam.com">www.sciam.com</a>
ECN	Levensduurverkorting Radioactief Afval, 1998	Scientific American	Oil market outlook, long-term focus, 1999
ECN	Nationale Energie Verkenningen 1995-2020, 1998	Standard & Poor's	World energy service, European outlook volume II, 1999
ECN	Energietechnologie in het spanningsveld tussen liberalisering en klimaatbeleid	Standard & Poor's	Elektriciteit in perspectief, 1992
Economist	<a href="http://www.economist.com">www.economist.com</a>	STT	Stroomversnelling, 1999
Ecosystems	<a href="http://www.hubbertpeak.com">www.hubbertpeak.com</a>	STT	World population prospects
Edesign News	<a href="http://fcn.state.us/fdi/edesign/news/">http://fcn.state.us/fdi/edesign/news/</a>	UN	Duurzame Gastechnologie voor de 21e eeuw, oratie 11 mei 2000, Universiteit Twente
Energy Charter	Energy transit, the multilateral challenge, 1998	Wolters, prof.dr.ir. M	Energy and the challenge of sustainability, 2000
EPRI	Technology roadmap, 1999	World Energy Assessment	<a href="http://www.worldenergy.org">www.worldenergy.org</a>
ETF	<a href="http://www.nrcan.gc.ca/es/etf/default.html">http://www.nrcan.gc.ca/es/etf/default.html</a>	World Energy Council	<a href="http://www.wfs.org/">http://www.wfs.org/</a> < <a href="http://www.wfs.org/">http://www.wfs.org/</a> >
European Commission	European Union Energy Outlook to 2020, 1999	World Future Society	Washington DC
European Commission	Economic Foundations for Energy Policy, 1999	World Watch Institute,	<a href="http://www.worldwatch.org">www.worldwatch.org</a>
Gashydraten	<a href="http://www.sciam.com/explorations/1999/122099hydrate/">www.sciam.com/explorations/1999/122099hydrate/</a>	Washington DC	
Greenpeace International	Windforce 10, 1999	USGS	
Hammond, A,	Which World? Scenarios for the 21st century, 1998		
IIASA	The dynamics of energy systems and the logistic substitution model, 1979		
IIASA/WEC	Global Energy Perspectives to 2050 and beyond, 1997		
IIASA	Towards New Infrastructures in Eurasia: a background paper, 1999		
IEA	Natural Gas Transportation, 1994		
IEA	Middle East Oil and Gas, 1995		
IEA	Energy technologies for the 21st century, 1997		
IEA	Energy and climate change, 1997		
IEA	World energy Outlook, 1998		
IEA	Mapping the energy future, 1999		
IPCC	Emissions Scenarios, 2000		
	SRES database version 0.1		
Maisonnier cs, Cedigaz	World LNG outlook: a new market?, 1996		
Ministerie van Economische Zaken	Energierapport, 1999		
MIT	Economic development and the Structure of the Demand for Commercial Energy, 1998		
		<b>COLOFON</b>	
		Dit rapport is geschreven door de projectgroep Lange Termijn Visie Energievoorziening (LTVE) van het Ministerie van Economische Zaken, Directoraat-Generaal voor Energie.	
		Tekstredactie	BMT, Jan Noordhoek
		Vormgeving	Looije Vormgevers



**Dit is een uitgave van het Ministerie van Economische Zaken**

Den Haag, december 2000