

# Feit of F(r)ictie: waterstof in Nederland

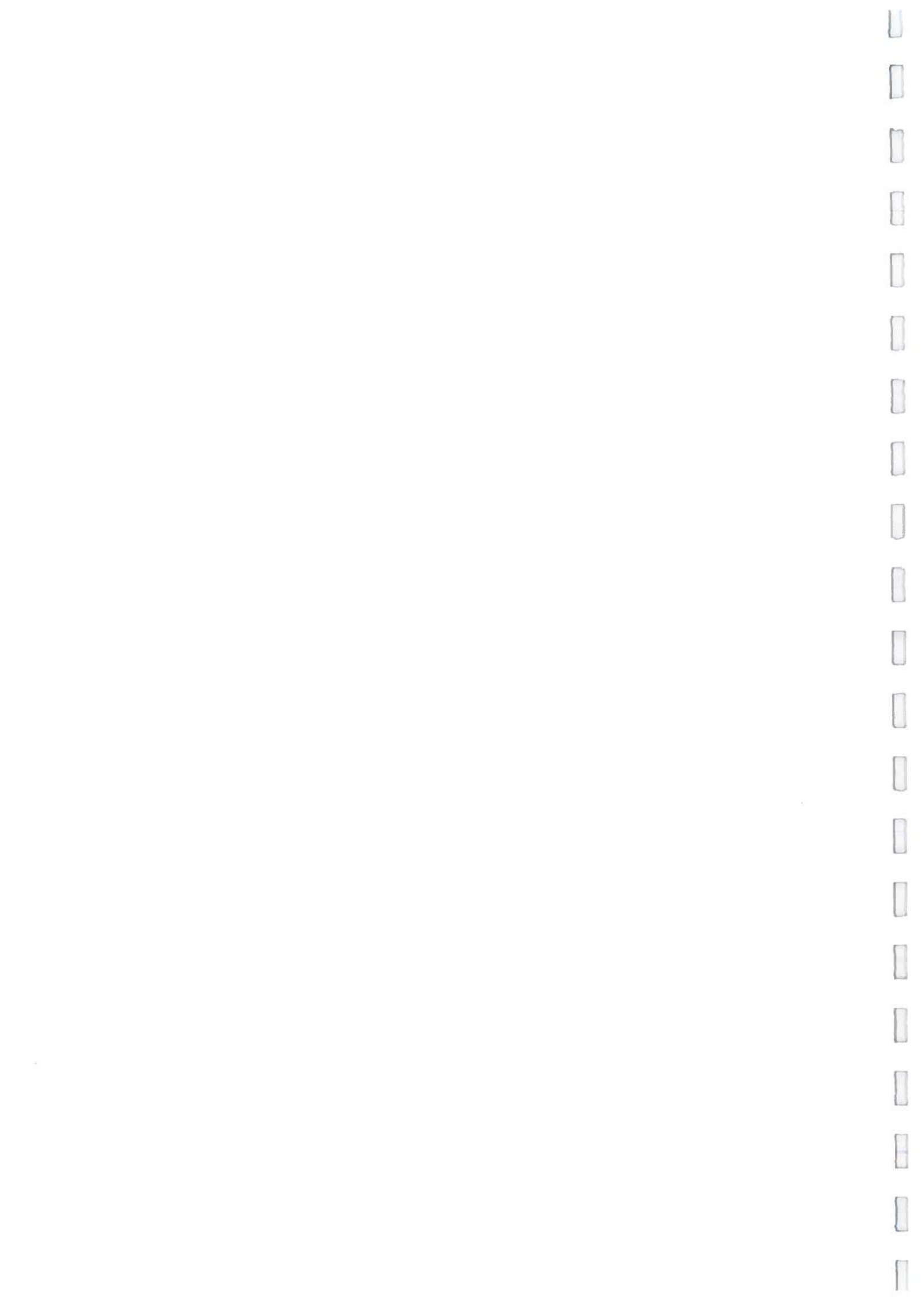
Nederland op weg naar een waterstofeconomie,  
een analyse van drie technologische regimes

April 2008

Lucas ten Napel  
s0076899  
Universiteit Twente  
Wijsbegeerte van de Wetenschap, Technologie en Samenleving

## **Afstudeercommissie**

Dr. A. Albert de la Bruheze	Management en Bestuur Science, Technology, Health and Policy Studies (STeHPS), Universiteit Twente
Prof. Dr. W. de Ridder	Management en Bestuur Science, Technology, Health and Policy Studies (STeHPS), Universiteit Twente
Dr. P.S. Hofman	Management en Bestuur Centrum voor Schone Technologie en Milieubeleid, Universiteit Twente



*If we did the things we are capable of, we would astound ourselves.*

Thomas A. Edison (1847-1931), uitvinder en zakenman



## Voorwoord

Dit is een afstudeerscriptie voor de studie Wijsbegeerte voor de Wetenschap, Technologie en Samenleving aan de Universiteit Twente. Het onderwerp voor deze afstudeerscriptie komt voort uit een vraag van de Stichting Maatschappij en Onderneming (SMO). Eind 2004 was SMO benieuwd naar de stand van zaken betreffende de vorming van een Nederlandse waterstofeconomie. Het was voor SMO onduidelijk wie in Nederland betrokken was bij waterstoftechnologie. Daarnaast was het voor SMO een vraag hoe dit zou leiden tot een waterstofeconomie. Het onderzoek en de gehouden interviews in het kader van deze vraagstelling heeft geleid tot de publicatie van een boek over waterstof genaamd: de commercialisering van het waterstofideaal.

Ik wil SMO bedanken voor de mogelijkheid om deel uit te maken van het onderzoek en de creatie van dit boek. Het gaf mij een uitstekende gelegenheid om in contact te komen met verschillende markante personen uit deze boeiende wereld. Ik ben dankbaar dat deze personen de tijd en geduld namen om alle problemen, kansen en barrières rondom deze technologie-ontwikkeling uit te leggen.

Als laatst wil ik hierbij mijn begeleiders, Adri Albert de la Bruheze en Wim de Ridder bedanken voor hun bijdrage, kritische blik, maar vooral voor hun geduld bij het afronden van dit afstudeertraject.

## Samenvatting

Hoe komt een waterstofeconomie in Nederland tot stand en welke rol spelen verwachtingen bij het tot stand komen van deze waterstofeconomie? Deze probleemstelling, voortkomend uit een vraag van de Stichting Maatschappij en Onderneming (SMO), staat centraal in deze scriptie.

Met het beantwoorden van deze probleemstelling richt ik me niet op de gebruikerskant van waterstoftechnologie. Juist daarover is veel geschreven. Weinig onderzoeken bieden een beeld over de energievoorziening met waterstof, gekoppeld aan de mogelijke kansen en barrières voor de vorming van een waterstofeconomie. In deze scriptie wil ik deze aspecten onderzoeken. Daarnaast bood deze scriptie mij de gelegenheid om verschillende socio-technische theorieën over technologische regimes, prospectieve structuren en socio-technische landschappen te operationaliseren.

Op basis van de in 2005 gehouden interviews, bezochte congressen en literatuuronderzoek wordt in eerste instantie uiteengezet hoe de energiewereld in Nederland eruit ziet. De drie energiewerelden worden uit ééngezet aan de hand van een beschrijving van de verschillende technologieën, unieke wetten en regels en specifieke actoren die bij de technologie betrokken zijn. De eerst beschreven energiewereld is de sterk gecentraliseerde, hiërarchische wereld rondom aardgas. Daarbij wordt de wobbe-index, WKK en de opkomst van het ‘gasgebouw’ behandeld. Tegenhanger van de aardgaswereld in Nederland is de duurzame energiewereld. Deze kenmerkt zich juist door diversiteit en een voorkeur voor een projectmatige manier van werken. Termen zoals repowering, subsidies en trias energetica horen specifiek bij deze energiewereld. In dezelfde trant wordt de opkomende energiewereld rondom waterstof beschreven. Er wordt ingegaan op het ontstaan van waterstof- en brandstoftechnologie vanuit het idee om aardgas efficiënter te benutten. Dit leidt tot de opkomst van ECN als Europese waterstofonderzoeksinstituut en NedStack als internationale producent van brandstofcellen. Kenmerken van deze wereld zijn projecten, veiligheid en onderzoek.

Deze energiewerelden staan niet op zichzelf. Onder andere de Kyoto-afspraken leiden mondiaal tot een duurzaamheidsstreven. Dit duurzaamheidsstreven wordt door de Nederlandse overheid vertaald naar een aantal specifieke activiteiten. Achterliggende gedachte bij de vijf verschillende factoren is dat de overheid niet direct technologieontwikkelingen aanstuurt, maar dat de marktpartijen zelf in staat zijn om vorm te geven aan innovaties. Zodoende bewerkstelligen deze vijf factoren impliciet een nieuwe competitiedrang tussen de verschillende energiewerelden op het terrein van duurzaamheid en milieu. Deze factoren worden als kansen of als belemmeringen ervaren door actoren uit de verschillende beschreven energiewerelden.

Om de onderzoeksvraag te beantwoorden worden de beschreven energiewerelden in technologische regimes vertaald. Uit deze analyse volgt dat het meest dominante technologisch regime het aardgasregime is. Gevolg van de dominantie is dat deze het identiteitsargument bepaalt. Daarnaast wordt het duidelijk dat het duurzame energieregime alleen in hoofdlijnen een technologisch regime is. Er zijn duidelijk gedeelde verwachtingen en guiding principles, maar op artifactniveau is het regime te divers. Verder komt uit de analyse naar voren dat er wel degelijk sprake is van een technologisch waterstofregime. Het is een regime in opkomst, loskomend uit het aardgasregime. Een stabiel socio-technisch landschap en stabiel overheidsbeleid in verband met lange termijn investeringen zijn noodzakelijk voor het verder ontwikkelen van waterstoftechnologie en een waterstofregime.

Helaas worstelt de overheid met de invulling van haar nieuwe rol als transitie-manager. Samen met een altijd veranderend socio-technisch landschap is dat een lastige eis en kan daardoor een barrière vormen bij de vervolgstappen naar een waterstofeconomie.

Binnen de filosofische reflectie wordt de bruikbaarheid van de begrippen utopie en verwachtingen via theorieën van H. Achterhuis en die van H. van Lente en A. Rip geanalyseerd. Daaruit volgt de conclusie dat een waterstofeconomie een beeld of utopie is, waaraan verwachtingen kunnen worden gekoppeld door verschillende actoren uit de technologische regimes. Dit betekent dat een waterstofeconomie niet hetzelfde is of hoeft te zijn voor iedereen. Het begrip waterstofeconomie dient zodoende als kapstok waaraan actoren verschillende verwachtingen kunnen ophangen. Daardoor dragen utopieën en verwachtingen bij aan een 'co-constructie' van de technologie-ontwikkeling en zodoende aan het vormen van een waterstofeconomie.

# Inhoudsopgave

<b>Voorwoord</b> .....	<b>5</b>
<b>Samenvatting</b> .....	<b>6</b>
<b>Lijst met afkortingen</b> .....	<b>10</b>
<b>1. Inleiding</b> .....	<b>11</b>
<b>2. Kader</b> .....	<b>13</b>
2.1 Inleiding .....	13
2.2 Energie .....	13
2.3 Technologische regimes .....	14
2.4 Verandering van een technologisch regime .....	15
2.5 Socio-technisch landschap .....	20
2.6 Resumerend .....	20
<b>3. Nederland - aardgasland</b> .....	<b>23</b>
3.1 Aardgas in Nederland .....	26
3.2 Trends, ontwikkelingen & niches rondom aardgas .....	29
3.3 Samenvatting .....	33
<b>4. Sluitpost van de rekening: duurzame energie</b> .....	<b>35</b>
4.1 Duurzame energie in Nederland .....	36
4.2 Duurzame energiemarkt.....	43
4.3 Resumerend .....	45
<b>5. Waterstof: te nieuw om te weten wat het werkelijk betekent voor Nederland?</b> .....	<b>47</b>
5.1 Wat is waterstof? .....	47
5.2 Brandstofcel: de complementaire technologie van waterstof .....	50
5.3 Waterstof energiesysteem .....	51
5.4 Alternatieven voor waterstof .....	52
5.5 Waterstof in Nederland.....	53
5.6 Samenvatting .....	65



<b>6.</b>	<b>Transitie naar duurzaam .....</b>	<b>69</b>
6.1	Inleiding.....	69
6.2	Marktpartijen formuleren hoofdroutes voor energietransitie en doelstellingen duurzame energie.....	71
6.3	Wegnemen van financiële en juridische belemmeringen .....	73
6.4	Een financiële waardering toekennen aan het milieu .....	75
6.5	Stimuleren van energiebesparende diensten en producten .....	77
6.6	Specifieke innovaties met subsidies ondersteunen .....	78
6.7	Conclusie .....	82
<b>7.</b>	<b>Technologische regimes .....</b>	<b>85</b>
7.1	Aardgaswereld .....	85
7.2	Duurzame energiewerelden .....	89
7.3	Waterstofwereld.....	95
7.4	Overzicht van de technologische regimes .....	101
7.5	Algemene conclusie.....	103
<b>8.</b>	<b>Filosofische reflectie .....</b>	<b>105</b>
8.1	Hoe utopisch is een waterstofeconomie?.....	106
8.2	Hoe realistisch is de verwachting van een waterstofeconomie?.....	109
8.3	Conclusie .....	111
<b>9.</b>	<b>Bronnen.....</b>	<b>112</b>
	<b>Bijlage: lijst met geïnterviewden .....</b>	<b>115</b>

# Lijst met afkortingen

## Afkortingen van actoren

ECN	Energie Centrum Nederland
RCN	Reactor Centrum Nederland, tegenwoordig ECN
TNO	Nederlandse Organisatie voor Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek
NWO	Nederlands Wetenschappelijk Onderzoek
NEO	Nieuw Energie Onderzoek
EZ	ministerie van Economische Zaken
VROM	ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu
NMP	Nationaal Milieu Plan
VN	Verenigde Naties
NASA	National Aeronautics and Space Administration

## Chemische notaties

H <sub>2</sub> O	Water
H <sub>2</sub>	Waterstof
O	Zuurstof
CO <sub>2</sub>	Koolstofdioxide, een broeikasgas
NO <sub>x</sub>	Stikstofoxiden. Eén van de vele stoffen in fijnstof. De concentratie van stikstofoxiden geeft een indicatie voor de 'fijnstofconcentratie'.

## Natuurkundige eenheden

kW	kilowatt
MW	megawatt
kWp	kilowatt piek

# 1. Inleiding

Jules Verne voorspelde het al in zijn boek "Het geheimzinnige eiland" (1874):

*Hoe zou het toch verder moeten als alle steenkool ooit op is, vraagt de matroos Pencroft aan de ingenieur Cyrus Harding. "Water", antwoordt deze. "De waterstof en de zuurstof, waaruit water bestaat, geïsoleerd of samengevoegd, zullen een onuitputtelijke bron van warmte en licht vormen. (...) Water is de steenkool van de toekomst."*<sup>1</sup>

Water als steenkool was in 1874 toekomstmuziek, maar met de huidige ontwikkelingen in de wetenschap en technologie lijkt deze toekomst realiteit te worden. Dankzij de ontwikkeling van de brandstofcel is het tegenwoordig mogelijk om waterstof om te zetten in uitsluitend elektriciteit, hitte en water (met behulp van zuurstof). Kortom geen vervuilende stoffen maar wel energie.

De ontwikkeling van de brandstofcel, samen met zorgen over het milieu en de almaar hoger wordende olieprijs stimuleren het dromen over een schone toekomst. Waterstof krijgt serieuze aandacht als antwoord op toekomstige energieproblemen. Waterstoftechnologie en de daarbij horende waterstofeconomie lijken synoniem te staan voor een schonere toekomst.

In deze scriptie geef ik een beeld hoe in Nederland werd gedacht over een waterstofeconomie door verschillende partijen en daardoor ook een beeld hoe dit tot stand kan komen. Het onderzoek is in 2005-2006 uitgevoerd. Dit betekent dat in eerste instantie een beeld wordt geschetst van de Nederlandse energiewereld rondom deze periode met af en toe een doorkijk naar ontwikkelingen in 2007. In deze scriptie wordt ook onderzocht welke initiatieven in Nederland werden ontplooid op het gebied van waterstof- & brandstofceltechnologie en hoe deze initiatieven zich verhouden tot de onderzochte energiewereld. Vervolgens is onderzocht welke factoren invloed hebben op de verhouding binnen de onderzochte energiewereld. Bodendeze factoren juist kansen of barrières voor de vorming van een waterstofeconomie en wat voor invloed hadden deze kansen en barrières op de verwachtingen van actoren in het veld en in het bijzonder in de waterstofwereld?

Vanwege de hype rondom waterstof wordt er veel over het onderwerp gepubliceerd in de media en in de wetenschap. Daardoor lijkt in eerste instantie deze probleemstelling redelijk eenvoudig te beantwoorden. Echter, de media en veel wetenschappelijke onderzoeken richten zich juist op de gebruikerskant van de technologie, zoals transport en vervoer of op de kansen en barrières die er zijn voor de creatie van een waterstofeconomie. Weinig onderzoeken bieden een beeld over de energievoorziening rondom waterstof gekoppeld aan de mogelijke kansen en barrières voor de vorming van een waterstofeconomie. Juist in deze scriptie wil ik deze aspecten belichten en onderzoeken.

Ik realiseer me dat het onderzoek waarop deze scriptie is gebaseerd beperkt en onvolledig is. Zeker gezien het feit dat de technologie en de wereld eromheen in ontwikkeling is. Door de focus te leggen op een aantal constante factoren tracht ik toch een soort foto te maken van de situatie. Nadeel daarvan is dat een aantal ontwikkelingen en initiatieven meer aandacht krijgen dan andere. Dit heeft onder andere te maken met het leesbaar houden van de scriptie

---

<sup>1</sup> Jules Verne, 1874 Het geheimzinnig eiland.

De voorspelling van Jules Verne wordt in bijna elke (populaire) tekst, programma, boek of interview aangehaald als het onderwerp waterstof of een waterstofeconomie betreft. Voorbeelden zijn: Rifkin blz. 176, The economic dynamics of fuel cell technology IEA, Worldwatch Paper 157, NRC 2 december 2004, uitzendingen van RVU (3 april 2002) Canvas (11 december 2005) VPRO Noorderlicht, Ode nr. 46

maar ook met het vrij verkrijgen van informatie over de onderwerpen. Het is zodoende een grof beeld van hoe in Nederland een waterstofeconomie tot stand kan komen. Daarnaast bood deze scriptie mij de gelegenheid om verschillende socio-technische theorieën over technologische regimes, prospectieve structuren en socio-technische landschappen te operationaliseren.

### **Leeswijzer**

In het volgende hoofdstuk passeren de socio-technische begrippen en theorieën de revue. Hoofdstukken 3 tot en met 5 zijn beschrijvende hoofdstukken over verschillende energietechnologieën en energiewerelden in Nederland. In elk hoofdstuk vindt een beschrijving plaats van een bepaalde energietechnologie gevolgd door trends, ontwikkelingen en niches gekoppeld aan deze energietechnologie. De beschrijvingen zijn mede tot stand gekomen door middel van gehouden interviews met actoren uit de verschillende werelden, bezoeken van congressen, maar ook door literatuuronderzoek. Deze beschrijving van de energiewerelden wordt in hoofdstuk 6 gevolgd door een beschrijving van activiteiten, uitgezet door de Nederlandse overheid om een duurzaam energiehuishouden te realiseren.

In hoofdstukken 3 tot en met 6 wordt af en toe tekst in grijze blokken gepresenteerd. Dit zijn letterlijke citaten zijn uit interviews of extra informatie over het betreffende onderwerp. De tekstblokken zijn ter verdieping van het onderwerp.

In hoofdstuk 6 een antwoord gegeven op de deelvragen: welke factoren invloed hebben op de verhouding tussen de energiewerelden, of deze factoren kansen bieden of juist barrières opwerpen voor de vorming van een waterstofeconomie en welke invloed deze kansen en barrières hebben op de verwachtingen van actoren in het veld en in het bijzonder in de waterstofwereld. In hoofdstuk 7 worden de beschreven energiewerelden uit de voorgaande hoofdstukken gekoppeld aan socio-technische begrippen en theorieën. Dit levert een analyse op van de situatie van de Nederlandse energiewereld en een antwoord op de onderzoeksvraag van deze scriptie. In hoofdstuk 8 worden de verschillende al eerder beschreven verwachtingen van actoren uit de verschillende energiewerelden vanuit een filosofisch kader geanalyseerd. Dit geheel levert een beeld op van de situatie van de Nederlandse energiewereld maar ook hoe in Nederland een waterstofeconomie tot stand kan komen.

## 2. Kader

### 2.1 Inleiding

Onderzoeksvraag van deze scriptie is:

*'hoe komt een waterstofeconomie in Nederland tot stand en welke rol spelen verwachtingen bij het tot stand komen van deze waterstofeconomie?'*

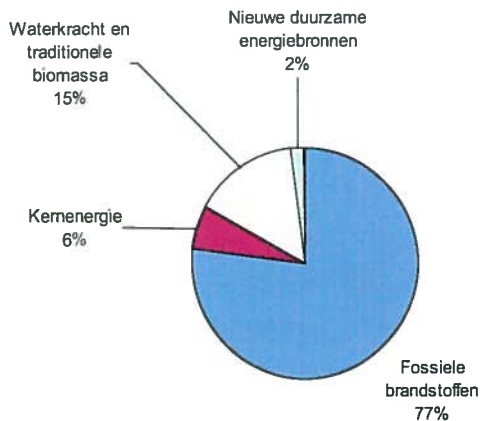
Daarvoor wordt de huidige situatie van de Nederlandse energiewereld beschreven. Wat voor initiatieven worden ontplooid op het gebied van waterstof- & brandstofceltechnologie in Nederland en hoe verhouden deze initiatieven zich tot de huidige energiewereld? Vervolgens wordt onderzocht welke factoren invloed hebben op deze verhouding. Bieden deze factoren kansen of werpen ze juist barrières voor de vorming van een waterstofeconomie? Wat voor invloed hebben deze kansen en barrières op de verwachtingen van actoren in het veld en in het bijzonder in de waterstofwereld? Bij het beantwoorden van de onderzoeksvraag zullen de volgende begrippen veelvuldig voorkomen: energie, energiedrager, energiehuishouden en energiesystemen. Eerst worden deze begrippen uitgewerkt voordat het theoretisch kader wordt behandeld.

### 2.2 Energie

Energie verwijst in de spreektaal naar veel verschillende aspecten in het dagelijkse leven. In deze scriptie is het ook een verzamelterm, maar dan in de wetenschappelijke zin. Energie is het laten bewegen van moleculen, zoals warmte, maar ook het overbrengen van krachten, zoals beweging. Een energiesysteem is de configuratie die het mogelijk maakt energie over te brengen. Een voorbeeld zal dit verduidelijken: een automotor zet benzine (de energiedrager) om in warmte (energie) en krachten (ook energie). Deze krachten worden door verschillende onderdelen zoals tandwielen, aandrijf-as en wielen omgezet in voortstuwing. Het beschreven geheel is het energiesysteem. Het aandeel van de energiedrager (benzine), dat omgezet wordt in voortbeweging, is de efficiëntie van het energiesysteem.

Elektriciteit is een apart voorbeeld van energie. Elektriciteit is namelijk geen energiebron, maar een energiedrager. In het voorbeeld van een energiecentrale wordt steenkool verstoekt en warmte en druk (stoom) omgezet in elektriciteit. De energie in steenkool wordt zodoende gedragen door elektrische stroom naar apparaten thuis of tijdelijk opgeslagen in batterijen. Waterstof is net als elektriciteit een energiedrager, geen energiebron. Dit onderscheid is essentieel.

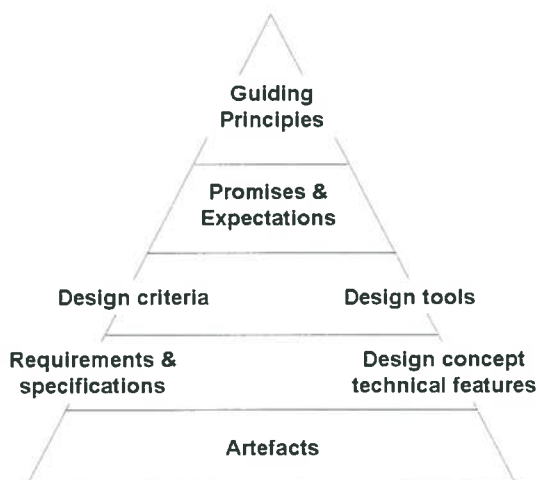
De mix van alle energiesystemen en energiebronnen van een land wordt het energiehuishouden van het betreffende land genoemd. Het berekenen van het aandeel van een bepaald energiesysteem of energiebron kan de afhankelijkheid of specialiteit van een land bepalen. De huidige Nederlandse samenleving wordt door middel van aardgas, steenkool, kernenergie en biomassa van energie voorzien. Kernenergie bepaalt in Frankrijk ongeveer 80% van haar energiehuishouden, Nederland heeft ter vergelijking slechts enkele procenten kernenergie in haar energiehuishouden. Hoe het energiehuishouden van een land is opgebouwd bepaalt haar relaties tot andere landen. Frankrijk is bijvoorbeeld afhankelijk van de import van uranium. De energievraag van de wereld wordt verreweg gestild met fossiele brandstoffen (fossiele brandstoffen zijn steenkool, aardolie en aardgas), zie onderstaande figuur.



**Figuur 1: Mondiale consumptie van energiebronnen, 2000 (bron: IEA)**

### 2.3 Technologische regimes

De definitie voor een technologisch regime in deze scriptie leunt sterk op de definitie van Van de Poel [1998].<sup>2</sup> Een technologisch regime wordt gedefinieerd als het geheel van regels, die een rol spelen bij het ontwerp en de verdere ontwikkeling van een techniek. Dergelijke regels worden geïmpliceerd door bijvoorbeeld gedeelde ontwerpcriteria, technische modellen en beloftes en verwachtingen. Tevens bepalen deze regels hoe een probleem binnen een technologisch regime wordt gedefinieerd. Hoe het wordt aangepakt en hoe de oplossing wordt gebracht. Dit leidt tot specifieke en voor het technologisch regime unieke disciplinaire, culturele en institutionele kenmerken.



**Figuur 2: Technologisch regime (Van de Poel, 1998)**

Een technologisch regime kan worden gevisualiseerd als een piramide. Verschillende regels op verschillende niveaus beïnvloeden elkaar. Guiding principles worden gedeeld door iedereen binnen het technologisch regime, vandaar dat ze ook wel *core rules* worden genoemd. Deze core rules vormen het technologisch regime en bepalen mede wat ‘not done’ is binnen het regime. ‘Guiding principles’ bepalen de richting waarin een technologisch regime zich focust. Voorbeelden hiervan zijn: efficiëntie (in de massaproductie industrie) of

<sup>2</sup> Poel, Ibo van de “Changing Technologies, a comparative study of eight processes of transformation of technological regimes” ISBN 9036511143 Twente University Press, Enschede, 1998

geluidsreductie (bij vliegtuigstraalmotoren). Deze overkoepelende regel wordt vertaald in ontwerpregels, ontwerpconcepten, maar bepaalt ook de zoekrichting voor oplossingen.

Vergelijkbaar stimuleren verwachtingen en beloftes, van toekomstige technologische ontwikkelingen, regels op lagere niveaus in de technische regime piramide, zie figuur 2. De verwachting van HDTV (High Definition Television) wordt vertaald naar het ontwikkelen van beter geluid, grotere schermen, meer detail per beeld en het ontvangen van meer informatie. In deze scriptie wordt gekeken naar de *guiding principles* binnen een technologisch regime

Regimes worden gekenmerkt door een sterke mate van continuïteit of anders gezegd starheid. Zij kunnen decennia lang blijven voortbestaan. Actoren die baat hebben bij het bestaande regime, trachten het in stand te houden. Regimeregels verankeren zich in wetgeving of in normstelling en zijn zodoende moeilijk te veranderen. Technici binnen het regime zijn getraind om in een bepaald type oplossingen te denken. Ondernemers produceren op routine. Gebruikers weten niet anders dan dat het zo moet.

Dat wil niet zeggen dat er geen veranderingen plaatsvinden binnen regimes. Actoren richten zich op de technische opties die binnen de technische gemeenschap als haalbaar en wenselijk worden gezien. Deze technische opties kunnen ook door de markt worden gevraagd of door regelgeving worden geaccepteerd. De technische ontwikkeling is selectief en geschiedt in kleine stapjes. Vaak aangeduid als incrementele verbeteringen op het ontwerp. Zo is in de afgelopen eeuw het principe van een dieselmotor niet veranderd, slechts verbeterd. Deze verbeteringen hebben echter de hoofdkenmerken van het autoregime niet aan getast.

## **2.4 Verandering van een technologisch regime**

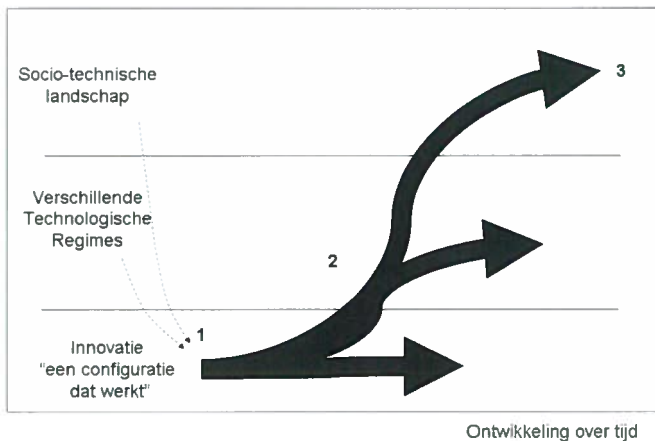
Waterstof wordt in de media in verband gebracht met innovatie en veranderingen. Innovatie heeft altijd een element van nieuwigheid in zich. Deze nieuwigheid betekent dat wordt gewerkt naar het onbekende met de daaraan gekoppelde onbekende gevolgen. De gevolgen van nieuwigheid kunnen groot zijn, in het geval van genetische manipulatie of klein in het geval van verbeterde ingrediënten in een tandpasta.

Nieuwigheden of innovaties doorlopen een traject vergelijkbaar met een levensloop; van de eerste stadia als een 'hopeful monstrosity' (Mokyr, 1990) naar een erkende innovatie. Misschien, als alles meezit, wordt een innovatie een dominant ontwerp (A. Rip, 2003).<sup>3</sup> Innovaties doorbreken bestaande ontwerpregels en beïnvloeden de wijze waarop mensen met elkaar omgaan. Voorbeeld hiervan is de mobiele telefoon en de nieuwe manier van sociale interactie die mobiele telefonie heeft veroorzaakt.

Rip en Kemp visualiseerden hoe innovatie grotere verandering in de samenleving kan bewerkstelligen, maar ook kleine of geen veranderingen teweeg brengt. Volgens Rip en Kemp ontstaan innovaties niet vanuit of staan ze op zichzelf. Elementen uit een technologisch regime of elementen uit het socio-technisch landschap veroorzaken innovaties, zie de stippellijnen in het figuur. Wanneer een innovatie plaatsvindt, kan ze andere innovaties stimuleren, punt 1 in het bovenstaand figuur. Een ander gevolg van een innovatie is dat ze veranderingen teweeg brengt in het heersende technologisch regime, punt 2 in het figuur. Waarbij de mogelijkheid bestaat dat een innovatie een verandering van het socio-technisch landschap teweeg brengt, zie punt 3 in het figuur. Maar hoe ontstaan innovaties?

---

<sup>3</sup> Rip, A. "Innovation. A Note" augustus 2003



**Figuur 3: de drie niveaus van socio-technische verandering (Rip & Kemp, 1998)**

## Niches

Technologische regimes redeneren voornamelijk vanuit het idee dat innovatie beter, sneller en mooier moet zijn dan de oude technologie, maar nog wel gebaseerd op de oude technologie. Dit worden verbeteringen genoemd. Innovaties, nieuwe oplossingen voor problemen, ontstaan vanuit niches. Doordat niches afgeschermd zijn van marktselectie en geen deel uitmaken van het reguliere regime, zijn niches een soort ‘incubatie kamers’ voor radicale vernieuwingen.<sup>4</sup> Radicale nieuwe technologie heeft zulk bescherming nodig omdat ze vaak als een ‘hopeful monstrosity’ (Mokyr, 1990) voortkomen.<sup>5</sup> Deze radicale nieuwe technologie levert in deze fase vaak slechte technische prestaties, zijn duur en gebruiksonvriendelijk. Niches bieden bescherming voor deze technologieën, doordat de selectiecriteria anders zijn dan in het technologisch regime.

Er zijn twee soorten niches, technologische en marktniches. Het voornamelijk verschil tussen de twee is, dat een marktniche zich door economische regels- en wetten laat leiden, waarbij vooruitzichten op winst de grootste drijfveer is. Terwijl een technologische niche zich door technische en wetenschappelijke wetten en regels laat leiden, waarbij vooruitzicht op een technologische of wetenschappelijke doorbraak de grootste drijfveer is. Voornamelijk technologische niches hebben (overheids)subsidie nodig. Doorgaans wordt verwacht dat technologieën in marktniches, zonder subsidie levensvatbaar moeten zijn.

Binnen een technologische niche vindt de ontwikkeling plaats van ‘*is het idee in principe mogelijk*’ tot ‘*is het principe om te zetten tot iets werkbaars*’. Met andere woorden, binnen deze niche wordt de technologie verder ontwikkeld om in de echte wereld te kunnen presteren, totdat het wel gebruiksvriendelijk is, niet kostbaar in gebruik en betere technische prestaties levert. Een technologische niche ontwikkelt zich, doordat van een innovatieve technologie nieuwe oplossingen worden verwacht, of vanwege wetenschappelijke interesse. Verwachtingen spelen een belangrijke rol in het verantwoorden van de activiteiten om een technologische niche gaande te houden. Verwachtingen waarbij een innovatie vaak de oplossing biedt voor bestaande problemen. Waarbij de verwachting vaak is, dat de innovatie oude technologie, met al haar negatieve aspecten, uiteindelijk zal vervangen.

Een marktniche is een afgebakend, bewerkbaar deel van een markt. Een actor of technologie die zich richt op een marktniche, levert per definitie een product of dienst dat niet door de partijen in de hoofdmakkt wordt aangeboden. Een marktniche kan dan ook gezien worden als een erg specifiek omschreven groep potentiële klanten met zeer specifieke eisen en wensen.

<sup>4</sup> Schot, J.W. (1998) ‘The usefulness of evolutionary models for explaining innovations. The case of the Netherlands in the Nineteenth Century’, *History of Technology*, 14 (1998) 173-200.

<sup>5</sup> Mokyr, J. (1990), ‘The Lever of Riches’, New York: Oxford University Press



Een marktniche ontwikkelt zich doorgaans uit een al bestaande markt. In deze bestaande markt kan niet aan elke vorm van vraag tegemoet worden gekomen door middel van een passend aanbod, waardoor een marktniche mogelijk wordt. Producten en technologie binnen een marktniche zijn winstgevend, juist doordat grotere actoren niet in de specifieke niche zijn geïnteresseerd, of omdat andere actoren zich zelfs niet bewust zijn van het bestaan van de niche. Voor grote bedrijven zijn deze marksegmenten doorgaans te klein om ze succesvol te kunnen ontwikkelen, omdat er niet of slechts zeer beperkt schaalvoordelen te behalen zijn. Buiten de marktniche heeft het product of de technologie geen kans van slagen en zal het uit de markt worden geconcurrereerd. Door de marktniche heeft de technologie kans om zich verder te ontwikkelen, voordat het 'de concurrentie' aangaat met andere technologieën.

In principe verloopt het ontwikkelingspad van een technologie via een technologische niche naar een marktniche. Het leger is een mooi voorbeeld van een niche. Het leger stelt vaak hele hoge specifieke eisen, maar let niet op de prijs van de technologie, o.a. internet en mobiele telefonie is op deze wijze tot stand gekomen. Eerste marktniche voor internet waren wetenschappers en eerste marktniche voor de mobiele telefoon waren zakenmensen.<sup>6</sup> Het leger is een voorbeeld van een technologische niche. Hier is het principe uitgewerkt tot een technologie wat praktisch is. Dat vervolgens deze technologieën ook buiten het leger in de 'echte' wereld een succes zouden zijn, was van te voren niet te voorspellen.

### **Actoren en Innovatiepatronen**

Een technologisch regime wordt bevolkt door verschillende groepen actoren. Deze verschillende groepen actoren creëren, vormen en beïnvloeden een technologisch regime. In deze scriptie worden technologische regimes mede gekarakteriseerd door welke type actor dominant is binnen het regime. De volgende indeling van actoren biedt een handvat wanneer verschillende technologische regimes worden geïdentificeerd:

- *Ontwerpers en producenten* van de technologische artefacten kenmerkend voor het technologisch regime.
- *Onderzoekers* voor onderzoek en ontwikkeling van de verschillende oplossingen voor gedefinieerde en erkende problemen binnen het technologisch regime
- *Leveranciers* van verschillende componenten die cruciaal zijn voor het creëren van het technologische artefact kenmerkend voor het technologisch regime.
- *Regulatoren* voor het formuleren en handhaven van de regels met betrekking tot het ontwerpen, productie en het gebruik van het artefact. Deze groep bestaat uit de overheidsinstanties, instanties voor standaardisatie en certificatie en branche verenigingen. Deze actoren handelen, normaal gesproken, op het hoogste niveau binnen een technologisch regime. Ze bepalen, vormen en wijzigen de 'guiding principles'. Deze regulatoren onderhouden, soms bewust en soms onbewust, de grenzen van een technologisch regime. Van binnenuit door de 'insiders' op één lijn te houden, door technologische vooruitgang te stimuleren en te coördineren. Maar ook door de 'outsiders' buiten te houden en feedback van de omgeving latent te houden. Voorbeelden uit deze groep actoren zijn: FAA (Federal Aviation Agency), NEN (Nederlands Instituut voor Norm en Regelgeving), NWV (Nederlandse Brandstofcellen en Waterstof Vereniging). Deze regulatoren zijn altijd specifiek betrokken bij het regime. De (nationale) overheid valt hierdoor niet noodzakelijkerwijs onder de classificatie *regulatoren*. De (nationale) overheid kan ook een *gebruiker* zijn, wanneer

---

<sup>6</sup> Tekst gebaseerd op 'Understanding Technological Transitions: a critical literature review and a conceptual synthesis' dr. ir. Frank W. Geels. Gepubliceerd in Elzen, B. Geels, F.W. en Green, K. (2004) System Innovation and the transition to sustainability: Theory, Evidence and Policy, Cheltenham: Edward Elgar

ze (ontwerp)eisen stelt aan waterstoftoepassingen. Echter, wanneer de overheid wetgeving ter bevorderen van het toepassen van waterstoftechnologie ontwikkelt, creëert ze daarmee een grens en treedt ze op als regulator.

- *Gebruikers* van het technische artefact. Dit kunnen anonieme consumenten zijn of professionele gebruikers, zoals producenten die het product aanschaffen als halffabricaat (onderdeel in een ander product). Onder gebruikers valt ook de (nationale) overheid wanneer ze bepaalde orders plaatst voor militaire goederen of infrastructurele opdrachten geeft.

Van de Poel (1998) heeft een viertal karakteristieke innovatiepatronen geïdentificeerd, die zeer kenmerkend zijn voor een technologisch regime. Deze innovatiepatronen zullen terugkomen als essentiële verschillen tussen de verschillende regimes, doordat elke innovatiepatroon ook andere regimekenmerken bewerkstelligt. Van de Poel definieert de volgende innovatiepatronen:

1. Research & Development (R&D) afhankelijk innovatiepatroon: innovaties beginnen gewoonlijk met nieuwe technologische beloften en verwachtingen, gebaseerd op nieuwe wetenschappelijke en technologische ideeën ontwikkeld in R&D laboratoria en instituten.
2. Leverancierafhankelijk innovatiepatroon: hierbij is de leverancier de initiator van het innovatieproces, doordat deze nieuwe componenten of onderdelen heeft ontwikkeld.
3. Gebruikerafhankelijk innovatiepatroon: functionele eisen gesteld aan het product door de gebruiker, zetten de ontwerper/producten aan tot een innovatieproces.
4. Missiegeoriënteerde innovatiepatroon: innovaties worden gebaseerd op een missie geformuleerd door overheidsinstanties, zoals 'Bescherming van de Nederlandse bevolking tegen overstromingen' dat tot grote innovatieve waterbouwkundige projecten heeft geleid.

### **Prospectieve structuren en verwachtingen**

Terwijl niche-actoren interacties met elkaar aangaan en deze een vaste vorm aannemen leidt het tot een gemeenschap van betrokken actoren die elkaar kennen en elkaar ontmoeten op bijvoorbeeld conferenties. Professionele verenigingen en instituten worden opgericht. Ingenieurs en ontwerpers komen samen om te discussiëren over problemen en zoekstrategieën te bepalen. Leermomenten en 'best practices' worden uitgewisseld en vastgesteld. Tijdens dit proces vormen verwachtingen over toekomstige ontwikkelingen de leidraad. Zoals verwachtingen over maatschappelijke ontwikkelingen, maar ook verwachtingen over technische ontwikkelingen, zoals een doorbraak in kernfusie of de ontwikkeling van supersterke materialen. Vooral bij de sturing van de waterstoftechnologie spelen verwachtingen over maatschappelijke ontwikkelingen en technische doorbraken een essentiële rol.

Verwachtingen over maatschappelijke ontwikkelingen worden in eerste instantie geuit op conferenties en congressen, maar ook in publicaties en teksten. Vaak worden deze verwachtingen in een vorm van een verhaal waarin de technologie, de toekomst en de actor en anderen een specifieke rol worden toegekend. In de meeste situaties heeft niet één bepaalde actor een monopolie op een verwachtingsverhaal. Anderen zullen gebruik maken van hetzelfde verhaal, erop aanvullen en het aanpassen. Echter, er zullen altijd kenmerkende elementen in de verschillende verwachtingen uitspringen. Dit repertoire wordt gebruikt door actoren om anderen te positioneren en om acties en interacties op gang te brengen. Omdat gedeelde verwachtingen en daarmee repertoires zowel mogelijkheden als beperkingen van betrokken actoren vastleggen, vormen ze een structuur voor toekomstige actie. Deze 'nog niet werkelijk bestaande structuren', maar al wel aansturende en rolverdelende verwachtingen en repertoires, worden door Van Lente en Rip (1998) prospectieve structuren genoemd.

Van Lente en Rip geven drie voorbeelden van de werking van een prospectieve structuur in de technologie:

- Moore's Law - Self-Fulfilling Prophecy: Gordon Moore, medeoprichter van Intel, voorspelde dat het aantal transistoren op een chip iedere 18 maanden verdubbelt in 1965. Sindsdien heeft de ontwikkeling van de computerchip deze strakke predictie grotendeels gevolgd. Dit komt doordat actoren in de computerwereld deze voorspelling hebben opgepakt en hierop investeringen en ontwikkelingen sturen. Omdat andere actoren dit ook doen, wordt de voorspelling iedere keer waargemaakt. De actoren zitten gevangen in een *prisoner's dilemma*<sup>7</sup>.
- Opkomst van membraamtechnologie: in de opkomende wereld van membraamtechnologie wordt het duidelijk dat actoren hun activiteiten coördineren aan de hand van wat ze verwachten wat ze moeten doen en wat ze verwachten dat andere actoren zullen doen. Door deze activiteiten positioneren actoren zichzelf strategisch ten opzichte van de andere. Wat telt is niet hoe ze de wereld zien, of hoe ze het duidelijk maken, maar dat ze weten wat ze moeten verwachten. Dit bepalen ze o.a. door gezamenlijke agenda opbouw, bijv. congressen. Deze diffuse samenwerking leidt tot de groei en opkomst van deze nieuwe tak in de wetenschap, de membraamtechnologie.
- High Definition Television (HDTV) – Self-Justifying Technology: al voor 1985 werd HDTV als een beloftevolle technologie gezien, de logische opvolger voor de gangbare televisie. Sindsdien is er veel besproken over de eisen en mogelijkheden van deze nieuwe televisie. Uiteindelijk leidt de discussies over de HDTV tot de ontwikkeling van de technologie. De belofte van nieuw en beter stuurt deze technologie ontwikkeling, niet technologische mogelijkheden.

### Strategisch positioneren van actoren

Verwachtingen geven een beeld hoe actoren zich mee laten nemen, gevangen laten houden en laten leiden. Actoren, voornamelijk bedrijven en instituten, houden constant de concurrentie in de gaten en handelen naar de reactie van de ander om een strategisch voordeel te behalen. Het positioneren van actoren, zowel strategisch als 'mutual' (wederzijds), speelt een belangrijke rol in de ontwikkeling van een sociaal-technische agenda. Om te kunnen analyseren waarom actoren bepaalde keuzes maken en bepaalde handelingen verrichten heeft Schaeffer (1998) drie vormen onderscheiden bij het positioneren van actoren. Deze zijn:

1. Een technologische mogelijkheid zal meer actoren aantrekken naarmate het aantal actoren dat meedoet toeneemt. Een actor is bereid te investeren in een technische mogelijkheid als andere actoren, vooral belangrijke en machtige dat ook doen. Ditzelfde geldt ook in de tegengestelde richting. Dit wordt het *quasi-stock-market* argument genoemd.
2. Actoren zullen meer in een latere generatie investeren dan de bestaande actoren al uitwerken. Actoren positioneren zich op de verwachte tijdsschaal van technologische ontwikkeling. Dit wordt het *investeren in next-generation* argument genoemd.
3. Actoren die verschillen van karakter zullen hun onderzoeksactiviteiten op verschillende vormen van technologie richten. De identiteit van de actoren in verhouding tot anderen speelt een rol, bijv. Nederland positioneert zich als aardgasland en duidelijk niet als kernenergieland. Dit wordt het *identiteitsargument* genoemd.

---

<sup>7</sup> Prisoner's dilemma: actoren blijven deelnemen aan de race voor de ontwikkeling van de nieuwste computerchip, tegen enorme investeringen, omdat ze verwachten dat de concurrent dat ook doet. Ze kunnen niet het risico veroorloven om het niet te doen omdat computerchips een beloftevolle technologie is en enorme winsten te behalen zijn. Zodoende zitten ze gevangen in de voorspelling van Moore en bewijzen ze elke keer dat hij gelijk heeft.

## **2.5 Socio-technisch landschap**

Innovaties kunnen op langere termijn ontwikkelingen beïnvloeden. Deze lange termijn ontwikkelingen, vaak maatschappelijke, culturele, economische of wetenschappelijke ontwikkelingen, worden het socio-technisch landschap genoemd. Dit socio-technisch landschap kan worden voorgesteld als een mengeling van verschillende sociologische en technische ontwikkelingen, trends, golven die invloed op elkaar hebben, maar ook hoe actoren de wereld om zichzelf heen zien. Deze nieuwe zienswijze of perceptie levert vaak nieuwe oplossingen voor problemen en zodoende innovaties. De verandering van het socio-technisch landschap bepaalt de visie van regimes en lokt veranderingen en soms innovaties uit. Aan de andere kant verandert een innovatie een technologisch regime, maar kan ook een socio-technisch landschap beïnvloeden of zelfs een nieuwe socio-technisch landschapsfactor creëren. Deze dynamiek kan op haar beurt weer nieuwe innovaties stimuleert.

Zoals hierboven beschreven kunnen regimes radicaal veranderen of door andere regimes worden afgelost, bijvoorbeeld de overgang van zeilschepen naar stoomschepen en van stoomenergie naar elektriciteit en nu misschien van fossiele brandstoffen naar duurzame energie of waterstof. Oorzaken van deze radicale veranderingen liggen vaak in wat wel genoemd wordt 'het socio-technisch landschap', dat wil zeggen de maatschappelijke context ofwel de achtergrondfactoren. Achtergrondfactoren zoals, de stand van de techniek en de wetenschap, de stand van de infrastructuur, de verhouding tussen maatschappelijke groepen, de economische situatie of de politieke omstandigheden. De hernieuwde maatschappelijke belangstelling voor kernenergie wordt eerder gedreven door de hoge olieprijs, in combinatie met maatschappelijke zorgen over kooldioxide uitstoot, dan door ontwikkelingen in de wetenschap of technologie die kernenergie veiliger maakt. De opleving van het technologisch regime van kernenergie kan grotendeels verklaard worden door veranderingen in het socio-technisch landschap en niet zozeer door veranderingen in het technologisch regime zelf. Het zijn echter actoren die de omslag moeten bewerkstelligen. Zij kunnen gebruik maken van de kansen die de verandering in het socio-technisch landschap bieden. Tegelijkertijd moeten zij opboksen tegen de barrières, die het dominante regime opwerpt.

## **2.6 Resumerend**

Een technologisch regime is gedefinieerd als het geheel van regels die een rol spelen bij het ontwerp en de verdere ontwikkeling van een techniek. Dergelijke regels worden geïmpliceerd door bijvoorbeeld gedeelde ontwerpcriteria, technische modellen en beloftes en verwachtingen. Tevens bepalen deze regels hoe een probleem binnen een technologisch regime wordt gedefinieerd, hoe het wordt aangepakt en hoe de oplossing wordt gebracht. Deze regels worden door verschillende unieke categorie actoren gehanteerd. Echter, regimes zijn vaak star en streven naar continuïteit. Innovaties aan de andere kant lokken radicale veranderingen uit (van de Poel 1998, Rip 2003).

Innovaties beginnen zodoende vaak in niches. Een technologische innovatie groeit van een technologische niche naar een marktniche. Niches bieden bescherming voor deze technologieën, doordat de selectiecriteria anders zijn dan in het regime. Het voornamelijk verschil tussen de twee is dat marktniches zich door economische regels en wetten laat leiden, terwijl technologische niches zich door technische en wetenschappelijke 'wetten en regels' laat leiden. Voornamelijk technologische niches hebben overheids subsidie nodig om te mogelijk te maken.

Van de Poel (1998) heeft een viertal innovatiepatronen geïdentificeerd. Hierdoor wordt het duidelijk van waar deze innovatie gedreven wordt. Dit verschilt per regime. Een regime heeft zodoende een aantal karakteristieke kenmerken, wat tijdens deze scriptie wordt gebruikt om regimes te identificeren en te analyseren. Actoren, aan de andere kant binnen een regime, vormen rondom een innovatie een soort nieuwe regime met nieuwe regels, verwachtingen en andere unieke eigenschappen. Actoren positioneren daarnaast zich strategisch ten opzichte van elkaar. Hierdoor kunnen nieuwe allianties ontstaan, wat weer kan leiden tot een nieuw regime.

Kortom, innovaties leiden tot nieuwe zoekstrategieën en oplossingsrichtingen. Innovaties leiden ook tot socio-technische veranderingen, zoals het invoeren van elektriciteit begin vorige eeuw. Deze innovatie heeft de samenleving sindsdien drastisch veranderd. Voorafgaand aan deze maatschappelijke verandering heeft echter wel een regimeverandering plaatsgevonden of in dit geval een nieuw regime gecreëerd. Te denken valt aan de creatie van energiebedrijven, energiecentrales en -netwerken en de creatie van energiemeters.

Hoe de innovatie van de brandstofcel tot verandering of vorming van het technologisch regime of verandering in het socio-technisch landschap zal leiden, is een onderdeel van het antwoord op de centrale vraagstelling in deze scriptie. Het analyseren van de verschillende technologisch regimes en het socio-technisch landschap zal duidelijkheid geven hoe waterstof(technologie) veranderingen teweeg heeft gebracht en verwachtingen hoe het eventueel veranderingen teweeg zal brengen.

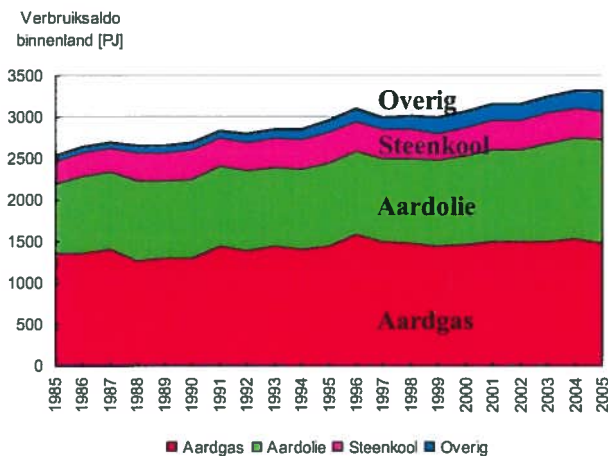
Deze dynamiek van innovaties, (botsende) technologisch regimes en veranderingen in het socio-technisch landschap wordt in deze scriptie geanalyseerd. Voordat gesproken kan worden over technologisch regimes, zal eerst een beschrijving worden geven van de Nederlandse energiewereld. Pas als deze wereld is geschetst, zal een analyse van technologisch regimes worden gegeven.



### 3. Nederland - aardgasland

Het kleine Nederland is van wereldbetekenis als het op fossiele brandstoffen aankomt, zeker wanneer het aardgas betreft.<sup>8</sup> In het komende hoofdstuk zal duidelijk worden waarom aardgas en Nederland onlosmakelijk met elkaar verbonden zijn, waar dit toe heeft geleid en wat voor gevolgen dit heeft op de ontwikkeling van de technologie.

Nederland is niet alleen producent en exporteur van aardgas, maar ook een verbruiker van aardgas. Het nationale energiehuishouden is gedomineerd door aardgas. De opbouw van Nederlands energiehuishouden wordt uitgebeeld in figuur 4. Het onderste gedeelte van het figuur geeft het aandeel van aardgas weer in het energiehuishouden van Nederland. In de afgelopen 25 jaar is het aandeel van aardgas in het energiehuishouden weliswaar afgenomen, maar desondanks maakt het anno 2005 nog steeds 45% uit van het energiehuishouden.



Figuur 4: Verbruik van brandstoffen in Nederland 1985 tot 2006 (bron: CBS, energie en water)

De bovenstaande figuren geven slechts een totaalbeeld van de opbouw van het energiehuishouden van de Nederlandse samenleving. Het Sankey-diagram op de volgende pagina geeft een helder beeld van hoe deze energiebronnen worden toegepast in Nederland. In een Sankey-diagram wordt de herkomst en bestemming van energiestromen in Nederland aangegeven. De verschillende stromen zijn alle in petajoule (PJ) aangegeven en in verschillende kleuren weergegeven.<sup>9</sup>

<sup>8</sup> Nederland is:

- 2<sup>de</sup> op de wereldranglijst als importeur en als exporteur van olieproducten
- 5<sup>de</sup> grootste exporteur van aardgas op de wereldranglijst
- 6<sup>de</sup> grootste producent van aardgas op de wereldranglijst.
- 10<sup>de</sup> op dezelfde wereldranglijst als grootste importeur van olie en steenkool.

Cijfers gebaseerd op gegevens 2003 bron: IEA – Key World Energy Statistics 2005

<sup>9</sup> Een joule is een eenheid van energie die ongeveer overeenkomt met 0,24 calorie. Omdat de joule een erg kleine eenheid is wordt gerekend met de veelvoudige kilo-, mega-, giga-, tera- en petajoule. Een petajoule is 1 000 000 000 000 000 joule (een 1 met 15 nullen)

Voor aardgas geldt 1 petajoule = 31,60 miljoen m<sup>3</sup>.

Dit is een standaard rekeneenheid, daar de werkelijke warmte-inhoud van het aardgas variabel is.

Voor elektriciteit geldt: 1 watt = 1 joule/sec, waardoor 1 petajoule overeenkomt met 277,78 miljoen kWh.

Van steenkool bestaan vele soorten met uiteenlopende verbrandingswaarden, variërend van 24 tot 29 GJ/miljoen kg (bron definitie: CBS).

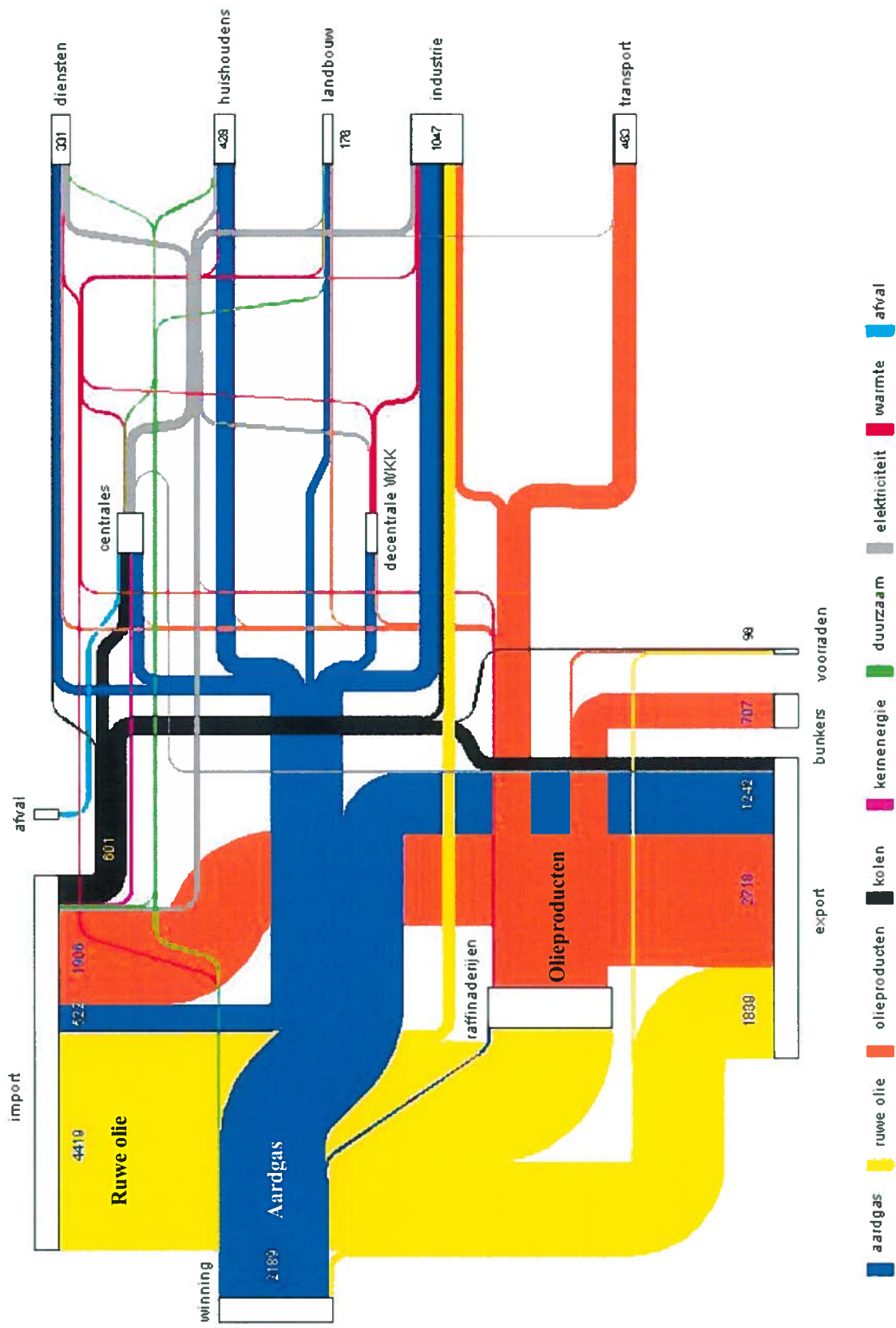
De herkomst van de afgebeelde energiebronnen is import of winning. De conversie van deze energiebronnen door raffinaderijen, elektriciteitscentrales en warmtekrachtkoppeling (WKK) wordt ook uitgebeeld.<sup>10</sup> Bestemming van de energiebronnen is de export of één van de sectoren, zoals de diensten- huishoudens, landbouw-, industrie- of de transportsector. De dikte van de lijnen wordt bepaald door de omvang van de energiestromen. Daardoor is in één oogopslag te zien wat de onderliggende verhoudingen zijn. Energieverliezen bij conversie van de energiebronnen naar bijvoorbeeld elektriciteit zijn ook in het Sankey-diagram verwerkt. Dat is vooral goed te zien bij elektriciteitscentrales: de ingaande stroom aardgas of steenkolen is groter dan de uitgaande stroom elektriciteit.

De dominantie van aardgas komt duidelijk naar voren in het Sankey-diagram. Hierbij valt het op dat ongeveer de helft van de aardgasproductie direct voor export bestemd is en de andere helft voor binnenlands gebruik. Opmerkelijk aspect is de luttel bijdrage van duurzame energie in het geheel. Een ander opmerkelijk aspect is de omvangrijke doorvoer van olie en olieproducten. Hieruit valt het belang van de raffinaderijensector in Nederland af te leiden. De in Nederland geproduceerde olieproducten zijn vooral voor de export bestemd.

---

<sup>10</sup> Wat warmtekrachtkoppeling (WKK) is en hoe het werkt wordt in hoofdstuk 3.2.1 behandeld.





Figuur 5: Sankey-diagram van de Nederlandse situatie, 2000. Van bron naar eindverbruiker of einddoel. Eenheden in petajoule (PJ) (bron: ECN)

### **3.1 Aardgas in Nederland**

De dominantie van aardgas in het binnenlands energieverbruik is te verklaren vanuit de nationale voorraad aan aardgas, vooral in de aardgasbel bij Groningen. Na het ontdekken van de gasbel in Slochteren in 1959 en de oprichting van de NV Nederlandse Gasunie werd het nationale hogedrukaardgasleidingennetwerk aangelegd. Toen kon aardgas vanuit Groningen door het hele land worden getransporteerd. Het huidige Nederlandse aardgasnetwerk is op dit moment het meest vertakte gasnetwerk van de wereld. Hierdoor kan in Nederland praktisch elk gebouw aangesloten worden op zowel het aardgasnetwerk als het elektriciteitsnetwerk.

Voordat aardgas nationaal benut kon worden, werd lokaal gebruik gemaakt van het zogenaamde stadsgas of stortgas geproduceerd uit steenkoolgas. De Staatmijnen en de Hoogovens die gas produceerden als bijproduct in hun cokesfabrieken leverden dit aan de verschillende lokale gasnetten. Na de ontdekking van de gasbel werd een nationaal transportnet aangelegd waardoor lokale gasnetten werden aangepast of vervangen vanwege het nieuwe gas. Ook alle stadsgasapparaten moesten worden aangepast of vervangen worden.<sup>11</sup>

Aardgas in Nederland heeft een unieke samenwerking van actoren. Deze vorm van publiekprivate samenwerking komt nergens anders voor. Eenvoudig gezegd zijn de Nederlandse Aardgas Maatschappij (NAM; overheidsinstantie), Shell (privaat) en Esso (privaat) verantwoordelijk voor de winning van aardgas. De GasUnie (overheidsinstantie) is verantwoordelijk voor de levering van het gas aan de huishoudens via energiebedrijven, zoals Essent en Eneco. Deze unieke wijze waarop de verschillende actoren samenwerken, kennis uitwisselen en handeldrijven wordt het 'Gasgebouw' genoemd.

Met de liberalisering van de Europese energiemarkten eind jaren '90 rijst de vraag of het wenselijk is deze vorm van samenwerking te handhaven. In de periode 1999-2004 doen zich een aantal veranderingen voor in het samenwerkingsverband. De Gasunie zoals die bestaat wordt opgeheven en er worden nieuwe samenwerkingsverbanden gezocht, door nieuwe ondernemingen of instellingen op te richten en het eigendom ervan te verdelen tussen de belanghebbende actoren. Deze periode kenmerkt zich als een lichtelijk onrustige periode in de aardgaswereld.

In 2004 wordt het duidelijk dat de overheid volledig eigenaar blijft van het hogedrukgasnet en de exploitatie ervan, ze koopt alle belangen van Gas Transport Services (GTS). GTS is een nieuwe onderneming, opgericht in de 'onrustige' periode. Daarnaast wordt een nieuwe onderneming in 2005 opgericht, de NV Gasunie. Daarin zijn GTS en alle projecten en activiteiten als onafhankelijke ondernemingen ondergebracht, zoals de LNG-terminal en GasUnie Research. Naast NV Gasunie is ondertussen Gasunie Trade and Supply opgericht, hierin blijft de 50/50 verhouding tussen private en publieke samenwerking onveranderd. Gasunie Trade & Supply verandert in 2006 haar naam naar GasTerra en richt zich nu op kleine gasvelden.<sup>12</sup>

---

<sup>11</sup> Voor verdere uitweiding over de ontwikkeling van aardgas in Nederland: J.W. Schot et al. (red.), *Techniek in Nederland in de twintigste eeuw. Deel 2: Delftstoffen, Energie en Chemie*. Zutphen: Walburg Pers, 2000

<sup>12</sup> Jacques de Jong (2006), *The Energy Market in the Netherlands*, Clingendael International Energy Programme CIEP 06/2006 & Uitzending Andere Tijden 15 januari 2006 'Aardgas als smeeroilie'

Naast de unieke samenstelling van actoren zijn deze ook op een karakteristieke wijze intern georganiseerd. Alle actoren binnen het 'Gasgebouw' zijn volgens een strikte gecentraliseerde functionele structuur georganiseerd. Kenmerkend daarbij is een centrale, hiërarchische controle over de bedrijfsvoering. Kernactiviteiten worden onderverdeeld in afdelingen, de zogenaamde functionele organisatiestructuur. Elk activiteit heeft zodoende een afdeling of de activiteit wordt uitbesteed, zoals Research en Development (R&D). Het is in deze wereld niet vreemd om R&D deels in huis, maar grotendeels door andere specialistische bedrijven en instellingen zoals GasUnie Research, GasTec, TNO of ECN te laten uitvoeren.<sup>13</sup> Een kenmerkend innovatiepatroon.

Door het uitbesteden van onderzoek kunnen de aardgasproducenten zich uitsluitend richten op de productie en distributie van aardgas. Deze indeling zorgt dat een hoge efficiency bereikt wordt door routine en procesmatig werk. Bovendien wordt op deze wijze een hoge mate van betrouwbaarheid van de levering gegarandeerd. Kenmerken voor deze wijze van organisatie zijn efficiency, hoge bezettingsgraad van productie- en distributiemiddelen en betrouwbaarheid van leveringszekerheid. Deze kernwoorden zijn terug te vinden in de rapportage en de meetwaarden waaraan de kwaliteit van bedrijfsvoering wordt bepaald.<sup>14</sup>

Problemen worden gedefinieerd vanuit de gedachtegang dat energie centraal moet worden gedistribueerd, met duidelijk hiërarchische lijnen en sterk organisatorische structuren. Er kan niet worden getwijfeld aan dit systeem van gaslevering. Immers, het systeem moet continu veilig gas leveren aan de klanten. Wanneer dit niet gebeurt wordt het breed uitgemeten in de media.

Zodoende staat veiligheid voorop bij alle handelingen rondom aardgas, omdat het een uitermate explosief gas is wat bevestigd wordt door eerdere gasexplosies. Door deze harde en strenge veiligheidseis is men binnen de aardgaswereld conservatief over wijzigingen aan de infrastructuur. Immers, de huidige infrastructuur heeft zich bewezen als een relatief veilige en goedkope manier om aardgas continu en wijd vertakt te transporteren. Nieuwe systemen en concepten vinden hierdoor moeilijk aansluiting binnen de aardgaswereld. Oplossingen worden eerder gezocht in het verbeteren van het huidige systeem, in plaats van het systeem innovatief te wijzigen. Uit het bovenstaand kan afgeleid worden dat het systeem niet zomaar aangepast kan worden. Keuzes uit het verleden bepalen de huidige oplossingsrichting. Dit wordt padafhankelijkheid genoemd.

Omdat het leveren van aardgas de hoogste prioriteit heeft binnen de aardgaswereld wordt het oplossen van problemen uitbesteed. Aparte onderzoeksafdelingen of externe instituten zoals Gastec en TNO krijgen de opdracht om dat probleem aan te pakken. Hierbij moet de oplossing binnen het bestaande concept of het bestaande systeem passen, immers de gevestigde maatschappelijk belangen zijn te groot om risicovol te kunnen ondernemen. Bekende verschijnselen bij deze wijze van organiseren zijn, dat er problemen zijn met marktgerichtheid, beperkte ondernemerschap en beperkte innovatie, dat wordt immers uitbesteed.<sup>15</sup> Naast een unieke constellatie van actoren en de infrastructuur heeft de aardgaswereld ook unieke regels en werkmethoden.

Aardgas dat opgepompt wordt in Slochteren is kwalitatief anders dan het aardgas dat bij Ten Arlo of Sleen wordt gewonnen, zie figuur 6. Dit is ongunstig aangezien apparaten ontworpen worden voor één bepaald kwaliteit aardgas, voor een algemeen vastgestelde

---

<sup>13</sup> TNO: Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek  
ECN: Energieonderzoek Centrum Nederland

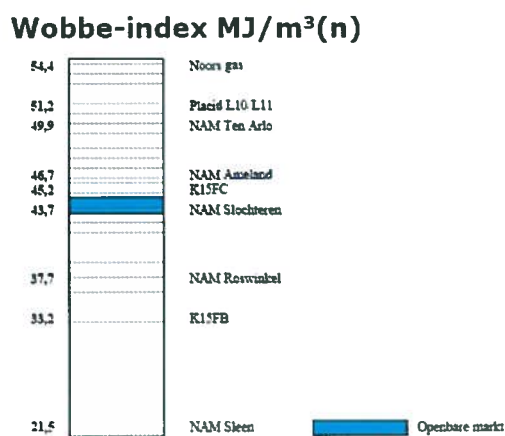
<sup>14</sup> Voorbeeld van dit beeld dienen rapporten van de GasUnie en ook de OPEC. Hierin wordt uitsluitend gesproken over hoeveel aardgas of olie per termijn is opgepompt, getransporteerd, van waar en welk rendement de (eventuele) raffinaderijen hebben geopeerd.

<sup>15</sup> Perceptie van ondernemingsvormen op de wereld komen uit: 'Grondslagen van management' Keuning 1999

standaardkwaliteit aardgas. Vandaar dat deze verschillende typen aardgassen worden bijgemengd met verschillende andere gassen totdat een homogeen product in het aardgasnetwerk kan worden gepompt. Dit mengen wordt gedaan zodat het gas kwalitatief past in de Wobbe-index.<sup>16</sup> Dit wordt gedaan niet alleen om gevaarlijke situaties te vermijden, maar ook om het aardgas gebruiksvriendelijk te maken. Deze Wobbe-index vormt zodoende de ontwerpeis voor alle apparaten die aangesloten kunnen worden op het aardgasnetwerk, zoals gaskachels, gasfornuizen en cv-ketels.

De aanvankelijk zeer constante gassamenstelling van het laagcalorische Slochteren gas en het beschikbaar stellen voor openbare en de eerste industriële gastoepassingen heeft geleid tot het handhaven van deze kwaliteit. Bij het testen van de toestellen wordt slechts gekeken naar het effect van kleine variaties. Doordat de Wobbe-index slechts wordt gehanteerd in Nederland, betekent het dat het Nederlands toestellenpark hierop is ontworpen.

Dit betekent dat een gastoestel aangeschaft in bijvoorbeeld Frankrijk de mogelijkheid heeft om een groter variatie aan gassamenstellingen te benutten. Een Nederlands gastoestel zal niet of nauwelijks op het Franse aardgas kunnen werken, aangezien het voor een te specifieke gassamenstelling is ontworpen. Een voorbeeld van padafhankelijkheid in de praktijk. Het bestaande en nieuwe toestelpark en de constante gaskwaliteit houden elkaar zo in hun greep. Kortom deze zeer constante en strakke ontwerpregel heeft een unieke Nederlandse situatie opgeleverd.



**Figuur 6: de nauwe (Nederlandse) Wobbe-index wordt aangegeven met het donkere vlak. Noors aardgas is bijvoorbeeld 54,4 MJ/m<sup>3</sup>, terwijl de Nederlandse apparaten worden ontworpen voor een Wobbe-index van rond 44 MJ/m<sup>3</sup>. Dit betekent dat Noors aardgas bijgemengd wordt om te voldoen aan de nauwe (Nederlandse) Wobbe-index. Bron: SenterNovem - Nieuw Gas**

<sup>16</sup> De Wobbe-index is een maat voor de uitwisselbaarheid van verschillende brandstofgassen op een bepaalde brander. Twee verschillende gassen met eenzelfde Wobbe-index geven hetzelfde vermogen op een gasbrander. De Wobbe-index zegt zodoende niets over de snelheid van de vlam of vlam temperatuur.

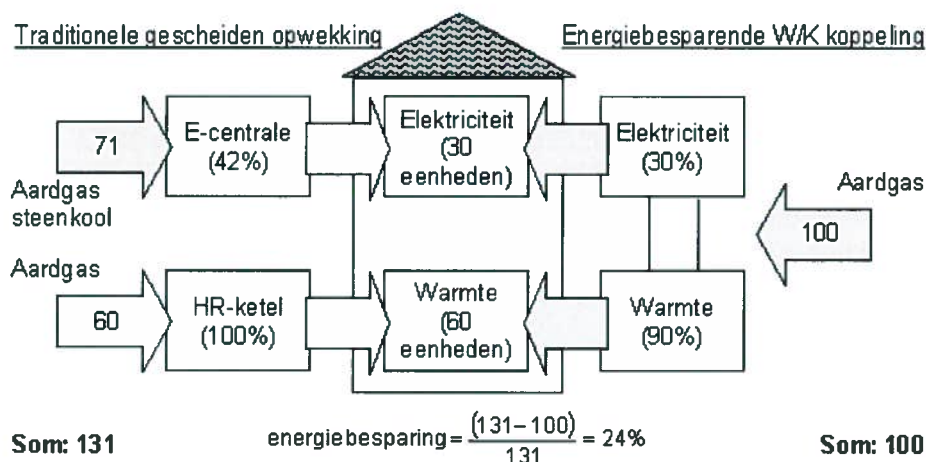
### 3.2 Trends, ontwikkelingen & niches rondom aardgas

#### Warmtekrachtkoppeling (WKK) – decentrale energie opwekking

Sinds de olieboycotten in de jaren '70 is in de politiek en maatschappij een groter draagvlak ontstaan voor de opvatting dat de nationale aardgasbronnen efficiënter moeten worden gebruikt. Onder het efficiënt gebruiken van het Nederlandse aardgas vallen ideeën zoals de ontwikkeling van de kleine gasturbine en de ondersteuning van de ontwikkeling van warmtekrachtkoppeling.

Warmtekrachtkoppeling houdt in dat met één energiebron, tegelijkertijd warmte en elektriciteit wordt gemaakt. De restwarmte die vrijkomt bij de opwekking van elektriciteit wordt direct toegepast op locatie. Deze koppeling heeft het voordeel dat het efficiënter energie in de vorm van warmte en elektriciteit produceert dan bijvoorbeeld een elektriciteitscentrale of een centraleverwarmingsketel.

In het onderstaande figuur wordt het principe van WKK uitgewerkt en vergeleken met een elektriciteitscentrale en een HR-ketel. Alle genoemde getallen zijn normatief en hebben zodoende geen realistische waarde, ze wordt slechts gebruikt om het procentuele voordeel van een WKK installatie te onderbouwen.



**Figuur 7: Het principe van besparing via (micro) warmtekrachtkoppeling. De eenheden zijn normatief. (bron: ECN)**

In het figuur is te zien dat een gemiddeld huishouden 30 eenheden elektriciteit en 60 eenheden warmte heeft nodig. Wanneer op de traditionele manier in de energiebehoefte wordt voorzien betekent dat 131 (71 eenheden + 60 eenheden) eenheden nodig zijn. Dit wordt als volgt berekend: in de traditionele manier wordt in het meest gunstigste geval de elektriciteit opgewekt met een aardgas gestookte elektriciteitscentrale. Een elektriciteitscentrale werkt met een rendement van hooguit 42% (inclusief transportverliezen). Dit betekent dat 71 eenheden aardgas nodig is om een huishouden van 30 eenheden elektriciteit te voorzien. De warmtevraag van een gemiddeld huishouden wordt voorzien door een hoogrendementsketel (HR-ketel). Deze heeft een rendement van 100% waardoor er 60 eenheden aardgas nodig zijn om in de behoefte te voorzien van 60 eenheden warmte. Kortom in totaal heeft de klassieke gescheiden methoden 131 (71 + 60) eenheden nodig om in de elektriciteit- en warmtebehoefte van een huishouden te voorzien.

Wanneer gebruik wordt gemaakt van een WKK-installatie dan wordt zowel elektriciteit als warmte opgewekt. Wanneer naar alleen elektriciteits- of warmteproductie wordt gekeken, dan valt het op dat een WKK-installatie minder efficiënt werkt dan een elektriciteitscentrale of een cv-ketel. Wanneer naar het gehele systeem wordt gekeken valt het op dat een WKK-installatie wel zuiniger werkt dan een elektriciteitscentrale en een cv-ketel gecombineerd. Dit komt doordat bij een WKK-installatie het afvalproduct bij de opwekking van elektriciteit, namelijk 'warmte' meteen ingezet kan worden om het huishouden te verwarmen. In het bovenstaande figuur wordt meer warmte geproduceerd dan er behoefte is in het huishouden. Er wordt wel een energiebesparing van 24% gerealiseerd ten opzichte van de klassieke gescheiden benadering.

Dit efficiëntievoordeel sprak de overheid aan en de overheid heeft daarom een aantal cruciale stappen gezet om de introductie van WKK-technologie te stimuleren. In 1988 werd de WKK-stimuleringsprogramma opgericht. Enkele belangrijke elementen daarvan waren subsidiëring van de technologie, korting op gasprijzen voor een WKK-installatie en het oprichten van een WKK-promotie team, het Projectbureau Warmte-Kracht. Dit heeft ertoe geleid dat op het moment ca. 40% van de Nederlandse opgestelde productiecapaciteit van elektriciteit een WKK-installatie betreft, zie Sankey-diagram (blz. 23). Veelal zijn die neergezet omdat op de betreffende locatie veel laagwaardige warmte (minder dan 100°C) nodig is. Elektriciteit is dan een 'bijproduct' van de warmteproductie geworden, vaak kan de geproduceerde elektriciteit niet volledig zelf worden gebruikt en wordt teruggeleverd aan het elektriciteitsnet.

Er zijn verschillende WKK-vormen en WKK-technologieën. Onder WKK-technologieën vallen onder andere technologieën zoals de stirlingmotor, gasturbines en ook sommige typen brandstofcellen (in hoofdstuk 5 worden brandstofcellen behandeld). Elk technologie past bij een schaalgrootte van WKK-gebruik. Op dit moment bestaan macro, mini en micro WKK-installaties. Grotere installaties - ook wel aangeduid met macro WKK - zijn voor de gebouwde omgeving minder geschikt, maar worden toegepast in bijvoorbeeld de industrie of voor grote woonwijken of woonsteden zoals Ypenburg, gemeente Den Haag. Mini WKK-systemen hebben een maximale capaciteit van 100 kWe. Deze installaties zijn bijvoorbeeld geschikt voor toepassing in een flatgebouw of in utiliteitsbouw met een vergelijkbaar energieverbruik. Voor micro WKK-systemen wordt gewoonlijk een bovengrens van 5 kWe aangehouden. Dergelijke systemen kunnen worden toegepast in individuele woningen en kleine gebouwen, hoewel de vermogensgrens ruim boven het gemiddeld benodigde vermogen in een woning (1-3 kWe) ligt.

Micro-WKK is de nieuwste ontwikkeling binnen WKK-technologie. Micro-WKK is het principe dat in de volledige energiebehoefte van een huishouden kan worden voorzien door één kleine WKK-installatie. Begin 2005 heeft het consortium ENATEC aangekondigd dat een overeenkomst is getekend die zorg draagt voor de ontwikkeling en wereldwijde productie van mini-WKK installaties op basis van de Stirlingmotor.<sup>17</sup> Het ENATEC consortium bestaat uit ECN, ENECO en ATAG.

Kortom WKK heeft een brede maatschappelijke inbedding in Nederland, zie onderstaande tabel. Nederland is koploper in de wereld wat betreft het gebruik van WKK en daardoor ook met decentrale opwekking van elektriciteit. De huidige toename van brandstofkosten en sterker wordende milieubewustzijn zal het toepassen van WKK-technologie verder stimuleren. Daarbij zullen in de nabije toekomst niet alleen projectontwikkelaars en overheden, maar ook particulieren hierover kunnen besluiten over het toepassen van WKK.

---

<sup>17</sup> Micro-WKK maakt gebruik van een stirlingmotor. Een stirlingmotor werkt op basis van warmte verschillen, zonder interne verbranding, in tegenstelling tot een verbrandingsmotor. De stirlingmotor is op het moment de meest efficiënte technologie voor micro-WKK en opent daardoor de realistische mogelijkheid voor micro-WKK.

**Tabel 1: productiemiddelen elektriciteit – aandeel WKK in Nederland (bron: CBS Statistisch Jaarboek)**

Productiemiddelen elektriciteit	1998		2000		2003		2004	
<b>Opgesteld vermogen (MWe)</b>	20043		20782		20908		21505	
WKK	8965	45%	9238	44%	9556	46%	10490	49%
niet-WKK	11079	55%	11544	56%	11352	54%	11015	51%
<b>Elektriciteitsproductie (GWh)</b>	92006		90181		98140		102145	
WKK	48509	53%	47246	52%	49246	50%	53942	53%
niet-WKK	43498	47%	42485	47%	48894	50%	48203	47%

### LNG & de Europese 'aardgasrotonde'

Een andere ontwikkeling die plaatsvindt op een meer internationale schaal, is het zoeken naar oplossingen voor het logistieke probleem rondom aardgas. Aardgas is namelijk een gas en is zodoende lastig te vervoeren. Een aardgasleiding vergt namelijk hoge investeringen bij het aanleggen en onderhoud ervan. Daarbij zijn internationale afstanden vaak moeilijk te overbruggen door middel van een pijpleiding, zoals zeestraten of oceanen.

Uiteraard is het mogelijk om aardgas in een tank op te slaan en op deze wijze in grote hoeveelheden te vervoeren. Echter, dat is een inefficiënte wijze aangezien de energiedichtheid van aardgas niet hoog is. Op deze wijze wordt te weinig aardgas vervoerd om het kostenefficiënt te maken. Een andere methode om aardgas in een tank te vervoeren is het vloeibaar te maken. Vergeleken met het gas onder normale temperatuur en druk, is vloeibaar aardgas zeshonderdmaal kleiner. Het vloeibaar maken van aardgas gebeurt onder zeer lage temperaturen.<sup>18</sup> Deze volumereductie maakt het goedkoper het gas te transporteren als er geen pijpleiding aanwezig is.

Sinds kort wordt door de GasUnie en door andere betrokkenen binnen de aardgaswereld gesproken over het bouwen van een Liquide Natural Gas (LNG) terminal. Die zou moeten worden gebouwd in de Eemshaven of bij Rotterdam.<sup>19</sup> Door het bouwen van deze terminal wordt het mogelijk om aardgas vanuit bijvoorbeeld Algerije naar Nederland te transporteren. Dat zou een aantrekkelijke aanvulling zijn op de slinkende nationale aardgasvoorraden. Daarbij past het bij de strategische wens van de GasUnie om zich te positioneren in de markt als de aardgasrotonde van Europa: Nederlands aardgasnetwerk als centraal knooppunt in het Europese netwerk van aardgasleidingen.<sup>20</sup> Het plan een LNG-terminal te bouwen versterkt de verwachtingen van de GasUnie een sterke Europese speler en handelaar te worden. De GasUnie positioneert zich strategisch en versterkt het beeld van Nederland als aardgasland.

<sup>18</sup> Aardgas is bij normale druk vloeibaar bij temperaturen van ca. -162°C. Dit is in principe het kookpunt van aardgas. LNG (Liquide Natural Gas) wordt vervoerd en opgeslagen in speciale vaten. Om de vaten op cryogene temperatuur (-162°C) te houden zijn de vaten en overige apparatuur sterk geïsoleerd. Tevens worden de vaten continu geventileerd aangezien vloeibaar aardgas verdampt en daardoor de druk in de tank oploopt. Wordt dit niet gedaan dan loopt de druk in de tank op en zodoende ook de temperatuur. Dit proces wordt ook wel 'autorefrigeration' genoemd. Hierdoor blijft vloeibaar aardgas op een constante druk en zodoende ook constante temperatuur.

<sup>19</sup> In de media wordt verwachtingsvol gesproken een mogelijke LNG-terminal in de Eemshaven of Rotterdam, zelfs door de algemene Energieraad. Verschillende krantenberichten 18/08/05, 28/06/05, 24/06/05, 22/04/05 archief [www.energyvalley.nl](http://www.energyvalley.nl) & uitspraak P.H. Vogtländer, voorzitter van de Algemene Energieraad, donderdag 22/04/05 tijdens de opening van de Energie Expo Noord.

<sup>20</sup> Uitspraak van Marcel Kramer, CEO van Gasunie verwoord bij de aanleg van een aardgasleiding naar Engeland

## Vervoer

Aardgas is nooit echt doorgebroken als brandstof voor het verkeer in Nederland. Het principe van rijden op aardgas (Compressed Natural Gas, CNG) is een bekende en betrouwbare technologie. In verschillende Europese landen is het ingebed. Aardgas als vervoerbrandstof wordt in Nederland gebruikt binnen marktniches voor heftrucks, stadbusen of gemeentelijke vervoersoplossingen. Vaak werden deze oplossingen geïnitieerd vanuit het milieubewustzijn van gemeenten. Het lijkt alsof rijden op CNG kampt met een 'kip-ei' probleem: marktpartijen zijn niet bereid te investeren in de benodigde infrastructuur van aardgasvulstations omdat er niet of nauwelijks gebruikers zijn, en de gebruikers schaffen geen aardgasvoertuigen aan omdat er geen infrastructuur is. In steden als Haarlem, Almelo, Leeuwarden, Groningen, Tilburg, Nijmegen en Zoetermeer werken marktpartijen en lokale overheden om het rijden op aardgas voor openbaar vervoerbussen en gemeentelijke auto's en busjes in te voeren.<sup>21</sup> Toch lijkt aardgas als vervoersbrandstof een nieuwe kans te krijgen door de huidige milieunormen en het toegenomen maatschappelijk milieubewustzijn.

Aangezien er veel meer aardgasvoorraden zijn dan oliebronnen en bij het oppompen van olie veel aardgas vrijkomt, is het logisch dat een extra afzetmarkt wordt gezocht voor aardgas. Op dit moment wordt aardgas vloeibaar gemaakt, op een andere wijze dan bij LNG, en vermengd met benzine en diesel. Dit proces wordt 'gas to liquid' (GTL) genoemd. Onder andere Shell maakt hiervan gebruik en vermengt dit GTL met benzine en verkoopt dit aan de pomp als V-Power.<sup>22</sup> Duidelijk is wel dat bij de promotie van deze duurdere brandstoffen ingespeeld wordt op vooral aspecten zoals zuinigheid, meer vermogen en minder slijtage voor de motor en niet zozeer op milieuvriendelijkheid. Dit komt doordat het proces gas-to-liquid allerminst milieuvriendelijk is.

Het GTL proces is in de jaren '70 bedacht. Toentertijd meer vanuit de perceptie om steenkool te vergassen en daar vervolgens vloeistof van te maken. GTL, gebaseerd op het Fischer-Tropsch proces (FT), maakt gebruik van het principe dat koolstofmonoxide en waterstof tot koolwaterstofstoffen veranderen onder invloed van de metalen kobalt of ijzer.<sup>23</sup>

Maar een auto die rijdt op GTL heeft aanzienlijk minder koolstofdioxide emissie, dat overheden meer aanspreekt. Om een breder inzet van GTL mogelijk te maken is in maart 2006 een Europese alliantie voor synthetische brandstoffen opgericht door Europese en internationale zwaargewichten uit de auto- en brandstofindustrie: Shell, Chevron, Volkswagen, DaimlerChrysler en Renault. Buiten Europa zijn soortgelijke doelen en werkgroepen opgesteld. Deze hebben ook politieke steun zoals in Japan waar de overheid de ontwikkeling van een GTL-motor van Toyota steunt. Het te verwezenlijken doel is dat in 2030 20 procent van de brandstoffen uit GTL bestaat.

---

<sup>21</sup> [www.energietransitie.nl](http://www.energietransitie.nl)

<sup>22</sup> Andere benzinepomphouders hebben varianten hierop.

<sup>23</sup> Het Fischer-Tropsch proces is in het begin jaren '20 van de vorige eeuw uitgevonden door de Duitsers Franz Fischer en Hans Tropsch om van steenkool synthetische petroleum te maken. Momenteel wordt het proces door Shell gebruikt in Bintulu, Malaysia en door Sasol in Zuid Afrika. Shell gebruikt aardgas als grondstof om synthetische brandstoffen te produceren en Sasol gebruikt steenkool om synthetische petroleumproducten te produceren. Het grootste nadeel bij het Fischer-Tropsch proces is dat het zeer veel energie verbruikt en zeer veel koolstofdioxide produceert. Verhoudingsgewijs komt bij de productie van synthetische brandstoffen (GTL) twee keer zoveel koolstofdioxide emissies vrij als met de verbranding van normale benzine in een auto. Bron: National Renewable Energy Laboratory USA.



### 3.3 Samenvatting

Aardgas en Nederland zijn onlosmakelijk met elkaar verbonden. Nederland is de op vier na grootste exporteur van aardgas en de zesde bij de productie van aardgas. In haar eigen energiehuishouden speelt aardgas een belangrijke rol. Deze band met aardgas is te verklaren doordat aardgas een nationale energiebron is (identiteitsargument, Schaeffer). Sinds het ontdekken van de aardgasbel bij Slochteren speelt aardgas een belangrijke rol in de Nederlandse samenleving. Door het aanleggen van een nationaal aardgasnetwerk steeg het gebruik van aardgas. Het huidige Nederlandse aardgasnetwerk is op het moment het meest vertakte gasnetwerk van de wereld. Thans is de helft van het gewonnen aardgas exportproduct en de andere helft is bestemd voor binnenlands gebruik: goed voor 45% van de nationale energiebehoefte. Het winnen van aardgas een sterk gereguleerd proces, waarbij een bijzondere samenstelling van publieke instellingen en private ondernemingen betrokken zijn.

Deze publieke instellingen en private ondernemingen zijn volgens een strikt gecentraliseerde functionele structuur georganiseerd. Kenmerkend daarbij is een centrale, hiërarchische controle over de bedrijfsvoering. Deze zorgt ervoor dat een hoge efficiency bereikt wordt door routine en procesmatig werk. Op deze wijze wordt een hoge mate van betrouwbaarheid van de levering gegarandeerd. Voor de kwaliteitseisen zijn zeer strikt betreffende het te leveren product. Dit wordt nationaal definieert als de Wobbe-index.

De huidige infrastructuur heeft zich bewezen als een relatief veilige en goedkope manier om aardgas continu en wijdvertakt te transporteren. Door de strenge veiligheidseisen is men binnen de aardgaswereld vrij conservatief over wijzigingen aan de infrastructuur. Dat leidt tot padafhankelijkheid.

Losstaand van alle veiligheidsregels rondom aardgas en het werken met aardgas, is aardgas niet homogeen. Door het bijmengen met andere gassen ontstaat een homogeen product dat in het aardgasnetwerk kan worden gepompt. Dit mengen wordt zo gedaan zodat het gas kwalitatief past in de Wobbe-index. Niet alleen om geen gevaarlijke situaties te veroorzaken, maar ook om het aardgas gebruiksvriendelijk te maken. Deze Wobbe-index vormt zodoende de ontwerpeis voor alle apparaten die aangesloten kunnen worden op het aardgasnetwerk, zoals gaskachels, gasfornuizen en cv-ketels.

Met de huidige visie op efficiënter en schoner energieverbruik zijn een aantal technologische ontwikkelingen waar te nemen rondom aardgas. Belangrijk is het ontstaan van micro-WKK. Warmtekrachtkoppeling (WKK) houdt in dat met één energiebron, tegelijk warmte en elektriciteit wordt gemaakt. De restwarmte die vrijkomt bij de opwekking van elektriciteit wordt direct toegepast op locatie, in het geval van micro-WKK is dit het huishouden.

Ten tweede is de opkomst van LNG, CNG en GTL waar te nemen. Het transporteren van aardgas over grote afstanden bracht tot voor kort de nodige hoofdbrekens. Met de huidige technologische mogelijkheden van LNG wordt het transporteren van aardgas over grote afstanden door het vloeibaar te maken een realistische optie. Een ander proces om aardgas vloeibaar te maken (GTL) wordt gebruikt voor het creëren van een nieuwe generatie brandstoffen voor voertuigen. Het bijmengen van GTL met de gebruikelijke brandstoffen voor voertuigen voorkomt het kip-ei probleem rondom CNG.



## 4. Sluitpost van de rekening: duurzame energie

Duurzame energie is energie waarover de mensheid in de praktijk voor onbeperkte tijd kan beschikken en, door het gebruik ervan, het leefmilieu en de mogelijkheden voor toekomstige generaties niet worden benadeeld.

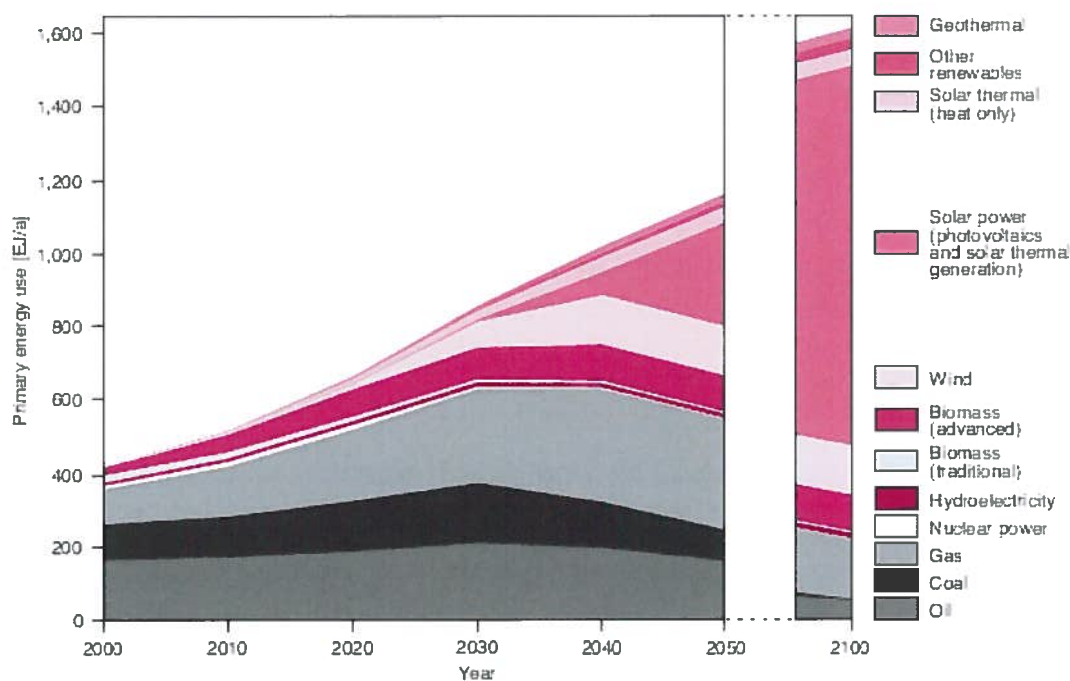
Duurzame energie wordt gewonnen uit allerlei soorten hernieuwbare en onuitputbare energiebronnen. Onuitputbare energiebronnen zijn bijvoorbeeld golfslag, de wind en de zon. Hernieuwbaar betekent in deze context dat een energiebron op natuurlijke wijze wordt aangevuld. Hierbij kan worden gedacht aan hout, mest, enz. kortom biomassa. Deze distinctie geeft ook meteen de eerste discussie weer die plaatsvindt binnen de duurzame energiewereld.

Voorstanders van de onuitputbare energiebronnen vinden hernieuwbare energiebronnen niet duurzaam, zij opereren bijvoorbeeld dat walvisolie in dat geval ook een duurzame energiebron kan zijn. Daarbij produceren hernieuwbare energiebronnen nog altijd koolstofdioxide, CO<sub>2</sub>. Voorstanders van hernieuwbare energiebronnen wijzen deze argumenten af, de CO<sub>2</sub> die vrijkomt bij het verwerken van bijv. biomassa is tijdens het leven opgenomen door de betreffende biomassa. Zij spreken zodoende over een CO<sub>2</sub>-neutrale kringloop; de koolstofdioxide die wordt uitgestoten, wordt tijdens het leven van de biomassa opgenomen. Daarentegen bewijzen voorstanders van hernieuwbare energiebronnen dat de bijdrage van duurzame energie aan het nationale energiehuis houden niet of nauwelijks bestaat zonder hun inzet en middelen. Het aandeel hernieuwbaar duurzame energie is in Nederland significant hoger dan onuitputbare duurzame energie, zie figuur 8. Het aandeel van biomassa aanzienlijk groter dan wind- en zonenergie.

Sinds de eerste oliecrisis in 1973 is onderzoek gedaan naar alternatieve energietechnologieën, zoals zonnecellen, zonneboilers en windmolens. Het energieonderzoekscentrum Nederland (ECN) in Petten en Nederlandse organisatie voor toegepast natuurwetenschappelijk onderzoek (TNO) spelen sinds die tijd een belangrijke rol daarin. Met name in kringen van de oliemaatschappijen werd dat soort onderzoek met enige argwaan bekeken, voor een deel omdat men beducht was de grip op de energiemarkt kwijt te raken. Onlangs zijn oliemaatschappijen, zoals Shell en BP zelf in deze markt gestapt. Deze overstap is te verklaren omdat de toekomst van duurzame energie er 'zonnig' uitziet. Dit wordt uitgebeeld in het onderstaande figuur, gebaseerd op de voorspelling van de WBGU.<sup>24</sup> Zoals te zien is in de onderstaande figuur maakt duurzame energie een aanzienlijk deel uit van de totale energievoorziening in 2050 en uiteindelijk in 2100.

---

<sup>24</sup> WBGU is een Duits adviescomité voor mondiale veranderingen, sinds 1992. De figuur uit het rapport, *World in Transition, Toward Sustainable Energy Systems* vormt o.a. de basis van het succesvolle Duits energiebeleid en wordt meerdere keren aangehaald in verschillende rapporten van bedrijven en instanties zoals ECN, International Solar Energy Society, European Renewable Energy Council, BASF International, Center for Clean Air Policy (Californië) en Shell.



**Figuur 8: WBGU Voorspelling mondiale energievoorziening tot 2050/ 2100**

In het figuur worden een aantal vormen van duurzame energie opgesomd. Om duurzame energie te winnen zijn een aantal strategieën mogelijk. Welke strategie wordt toegepast is afhankelijk van de lokale omstandigheden. Zo is het in Nederland praktisch onmogelijk om duurzame energie uit traditionele waterkrachtcentrales te halen vanwege te kleine hoogteverschillen in het landschap.

#### 4.1 Duurzame energie in Nederland

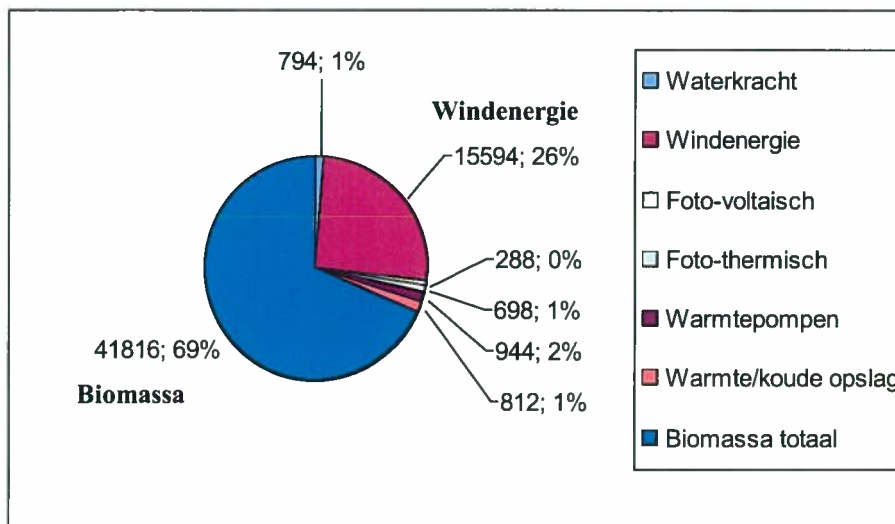
Bijdrage van duurzame energie aan het Nederlandse energiehuishouden bedroeg 1,2% exclusief de import van duurzame energie.<sup>25</sup> Aangezien de energievraag stijgt en de energieproductie zeggen percentages weinig. Vandaar dat tegenwoordig de bijdrage van duurzame energie wordt gemeten in vermeden primaire energie. Dit is gelijk aan het vermeden aandeel fossiele brandstoffen. Sinds 2000 is dit gestegen van 1,24% naar 2,41% in 2005.<sup>26</sup>

Het aandeel van verschillende technologieën en methoden die onder duurzame energie vallen wordt uitgebeeld in het onderstaande figuur. Opvallend is dat meer dan 12% van de duurzame energie geïmporteerd wordt uit het buitenland, voornamelijk elektriciteit uit waterkracht en biomassa.<sup>27</sup> Daarbij wordt ook windenergie geïmporteerd. Toch wordt toch een groot deel van de duurzame energie in Nederland opgewekt, zie figuur 9. Bijna zeventig procent van duurzame energie wordt door middel van biomassa opgewekt. Echter, biomassa is een verzamelterm voor verschillende technologieën. Welke biomassa-technologie een dominante aandeel heeft van het geheel is te zien in figuur 10. Daarin is te zien dat het leeuwendeel van de biomassa 60% (27%+33%) verstoekt wordt in afvalverbrandings- en energiecentrales.

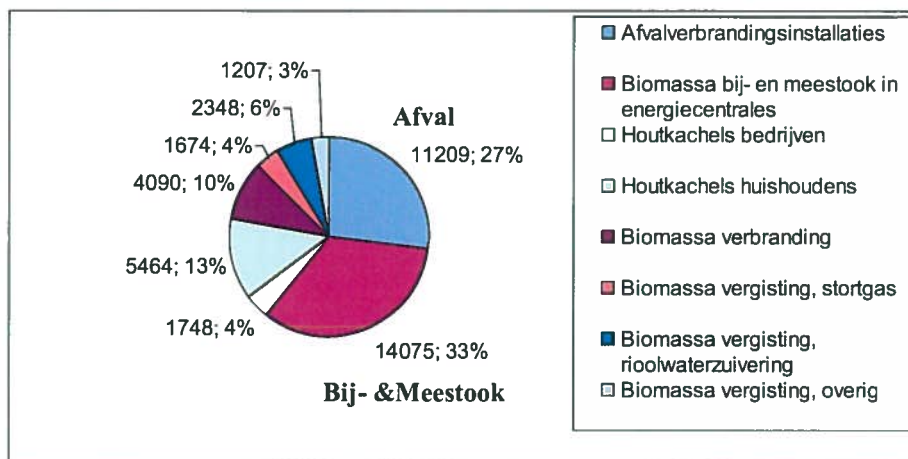
<sup>25</sup> Energierapport 2004, publicatie EZ

<sup>26</sup> CBS 2006

<sup>27</sup> 96% van de waterkrachtenergie wordt in het buitenland gewonnen en 72% van de elektrische energie uit biomassa. Het aandeel van windenergie uit het buitenland is 17%. Bron: CBS, cijfers uit 2004



**Figuur 9: aandeel van verschillende bronnen in de duurzame energie uitgedrukt in Tj en percentages (bron: CBS, cijfers uit 2004)**



**Figuur 10: aandeel van verschillende biomassa-technieken die onder de 69% aandeel biomassa uit figuur 9 vallen uitgedrukt in Tj en percentages (bron: CBS, cijfers uit 2004)**

## Biomassa

Het kweken van algen die biomassa omzetten in een brandbaar gas tot het stoken van hout wordt als biomassagebruik gedefinieerd. Kortom alles wat leeft of heeft geleefd en omgezet wordt in energie wordt als biomassa-energie aangeduid.

Er bestaan grofweg drie hoofdstromen binnen de biomassa. De eerste stroom gaat uit van een biomassa in een vaste vorm, bijvoorbeeld houtsnippers of ander vast biomassa-afval. Dit is het meest dominant binnen Nederland. Dit komt doordat hierbij de biomassa mee wordt gestookt in energiecentrales, zie figuur 10. Op het eerste gezicht lijkt meestoken van biomassa, vaak houtsnippers, in energiecentrales duurzaam. Echter, deze houtsnippers worden geïmporteerd uit andere landen. Geïmporteerde biomassa betreft vooral hout en houtafval uit Scandinavië, Canada, Rusland en de Baltische Staten. De duurzaamheid van deze methode wordt ter discussie gesteld.

De tweede stroming binnen de biomassa, maakt brandbare vloeistoffen of brandbare oliën uit biomassa, zogenaamde biobrandstoffen. Biobrandstoffen worden gemaakt uit natuurlijke oliën, zoals palmolie of koolzaadolie. Deze oliën worden geraffineerd om biodiesel of biobenzine te verkrijgen. Internationaal maken biobrandstoffen een enorme groei door. In

Duitsland is het al mogelijk om praktisch bij elke benzinepomp biobrandstoffen te tanken voor particulieren. Maar in Nederland blijft deze groei vooralsnog grotendeels uit.

Onder druk van de Europese regels heeft de Nederlandse regering zeventig miljoen euro uitgetrokken om het bijmengen van biobrandstoffen met benzine en dieselolie te bevorderen.<sup>28</sup> Volgens Europese afspraken had Nederland aan het eind van 2007 al 2 procent biobrandstof moeten gebruiken voor zijn auto's en aan het eind van 2010 moet dat zelfs 5,75 procent zijn. In 2006 zijn verschillende producenten in Nederland begonnen met de productie van biobrandstof, zoals Sunoil Biodiesel BV in Emmen. Tot nu toe wordt uitsluitend voor de Duitse markt geproduceerd aangezien er nog geen markt is in Nederland. Slechts kleine initiatieven in Nederland zoals Carnola, een coöperatie van Limburgse boeren, laten al vrachtauto's op koolzaadolie rijden.

De derde stroming binnen biomassa is het vergassen van biomassa. Het vergassen van biomassa onder hoge druk bij hoge temperaturen (pyrolyse) leidt er toe dat biomassa uiteen valt in verschillende componenten, voornamelijk methaan (CH<sub>4</sub>). Dat ook de hoofdcomponent van aardgas is. Dit biogas, in feite niets anders dan aardgas, wordt Synthetic Natural Gas (SNG) genoemd. Biogas kan op vele manieren worden gewonnen. Voorbeelden van de verschillende methoden zijn, biogas uit huis-, tuin- en keukenafval, biogas uit de agrarische industrie op locatie en biogas uit rioolafval. In Nederland zijn weinig instituten en bedrijven gespecialiseerd in het ontwikkelen en ontwerpen van biogasinstallaties. De voornaamste onderzoeksinstituten zijn ECN en TNO. BTG en SPARQLE zijn voorbeelden van innovatieve bedrijven binnen deze branche.

#### **Interview: dhr. Penninger, directeur van SPARQLE**

In het gehouden interview met dhr. Penninger, wijst hij erop dat biomassa niets anders is dan heel jonge fossiele brandstof. Helaas bezit en kweekt Nederland veel te weinig biomassa om een werkelijk verschil te maken in het aardgasverbruik. Volgens dhr. Penninger wordt op dit moment jaarlijks in Nederland ongeveer evenveel biomassa geproduceerd vergelijkbaar met 1% van het jaarlijkse aardgasverbruik. Kortom er is veel te weinig biomassa in Nederland om de maatschappij van energie te voorzien. Ondanks deze 'magere' opbrengst van biomassa wordt deze technologie intensief ontwikkeld. Dit komt doordat veel biomassa geïmporteerd wordt naar Nederland om hier verwerkt te worden tot hoogwaardige energie. Volgens J. Penninger is het onzin om zo zwaar in te zetten op de biomassa als duurzame energiebron in Nederland:

*"Er is niet meer dan omgerekend 10% van ons aardgasverbruik in Nederland aan biomassa. Het grootste nadeel is dat als biomassa van ver wordt geïmporteerd, het niet meer energetisch rendabel wordt. Het kost dan meer energie om het te vervoeren dan het oplevert aan biomassa- energie. Kortom er is niets duurzaam meer aan het principe."*

#### **Windenergie**

Op 1 januari 2003 stonden in Nederland 1467 windturbines opgesteld met een gezamenlijk nominaal vermogen van 679 MW. In 2004 leverden de turbines 1853 GWh (= 210 MW), ofwel 1,67% van het Nederlandse elektriciteitsverbruik en 0,47% van het totale Nederlandse energieverbruik uitgedrukt in vermeden primaire energie of vermeden fossiele brandstof. Eind 2005 waren dit 1707 windturbines, samen nominaal 1219 MW, waarmee 2,5% van het totale elektriciteitsverbruik in Nederland werd opgewekt.

<sup>28</sup> Volkskrant, 5 september 2005 "Kabinet schrapt accijns biodiesel volgend jaar"

De huidige verwachting is dat er windmolens met een totaal nominaal vermogen van ca. 1500 MW (effectief vermogen 250 MW) in Nederland op land te plaatsen zijn. Verdere groei zal offshore moeten plaatsvinden, in totaal 6000 MW in 2020. Het potentieel voor windenergie op zee wordt geschat op 2 maal het Nederlandse elektriciteitsverbruik. Deze doelstellingen zijn vastgelegd in de Bestuursovereenkomst Landelijke Ontwikkeling Windenergie (BLOW akkoord) en komen rechtstreeks voort uit de Kyoto afspraken.

Er is in Nederland en in Europa een netwerk aan organisaties dat zich bezighoudt met windenergie. Een selectie: SenterNovem (agentschap van het ministerie van Economische Zaken), Projectbureau duurzame energie (een onafhankelijke instelling met als doelstelling de bekendheid en het gebruik van duurzame energie te bevorderen), ECN en de Technische Universiteit te Delft. De KEMA verzorgt onder andere technische adviezen. De Wind Service Holland biedt naast statistische informatie ook informatie over de basisbeginselen van windconversie. Daarnaast is er een Nederlandse windenergievereniging, de NEWIN. Kortom windenergie kent een rijkdom aan maatschappelijke actoren die windenergie tot een succesvolle duurzame energie technologie willen maken.

Helaas kent windenergie ook een aantal problemen. De eerste en meest logische is dat wanneer het niet waait er geen elektriciteit wordt gegenereerd en wanneer het hard waait teveel. Productie van elektriciteit is afhankelijk van de wind waardoor windenergie geen constante levering aan elektriciteit kent. De gevolgen van dit probleem zijn in Nederland relatief klein, maar in Denemarken, Noord-Duitsland en Spanje niet. In Denemarken bijvoorbeeld wordt gemiddeld 20% van het jaarlijkse elektriciteitsgebruik opgewekt met windenergie. Dit is een gemiddelde, want op windrijke dagen wil dit percentage oplopen tot boven de 100%. Er wordt dan meer geproduceerd dan gebruikt wordt. Het is noodzaak om elektriciteitsnetten aan te passen om dit overschot aan elektriciteit op te vangen. Nederland ondervond het gevolg daarvan toen Noord-Duitsland haar duurzaam opgewekte elektriciteit via het Nederlands elektriciteitsnetwerk naar het Ruhrgebied wilde transporteren. Alle reservecapaciteit op het nationale elektriciteitsnetwerk werd toen gebruikt, waardoor levering aan klanten mogelijkwerwijs in gevaar zou kunnen komen. Tot in de Tweede Kamer werden vragen gesteld over de wenselijkheid hiervan.

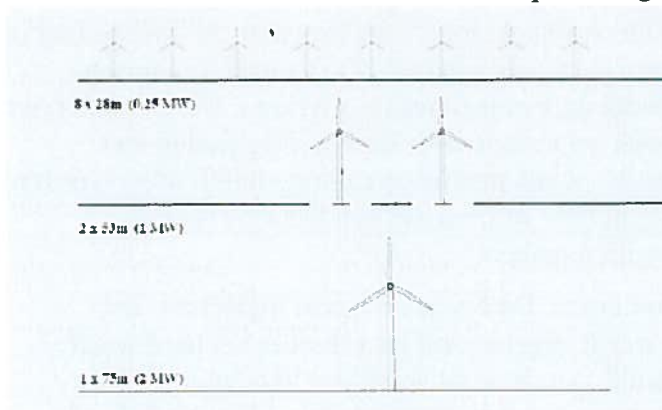
Een ander probleem met windenergie is het overlast dat windturbines veroorzaken, in de vorm van geluidsoverlast, slagschaduw, landschaps- of horizonsvervuiling en veiligheid. Het ministerie van VROM en door het ministerie van Verkeer en Waterstaat zijn normen opgesteld voor aanvaardbare en onaanvaardbare risico's betreffende geluidsoverlast, slagschaduw en veiligheid.<sup>29</sup> Windturbines kunnen ook overlast voor vogels zijn. Echter, recent onderzoek wijst uit dat voor vogels in broedgebieden plaatsing van windturbines weinig gevolgen blijkt te hebben.<sup>30</sup>

---

<sup>29</sup> Het maken van een uitgebreide risicoanalyse is verplicht bij de plaatsing van een windturbine. Voor visuele overlast worden planschade verzoeken ingediend. Echter, er is voor zover bekend in Nederland nog geen rechterlijke uitspraak over planschade als gevolg van een windenergieproject. Op dit moment is de verwachting dat de rechter in het algemeen geen of slechts een geringe planschade zal toekennen wanneer de (lokale) overheid zich houdt aan de voorgeschreven zonering van windturbines.

<sup>30</sup> Bij windturbines vallen de meeste slachtoffers 's nachts, tijdens schemering of bij slecht weer. De effecten op rust en foeragegedrag zijn met radar bestudeerd. Het blijkt dat vogels hun rust- en foerageergebieden goed genoeg kennen, zodat zij windturbines vermijden. Bij goed zicht vliegen vogels tussen de turbines van een windpark door, terwijl ze bij slecht zicht om het hele park heen gaan. Bron: Jos Beurskens (ECN) & Gijs van Kuik (TU Delft) en Bureau Waardenburg en Instituut voor Bos en Natuurbeheer van de Dienst Landbouwkundig Onderzoek, Landelijk onderzoekprogramma, 1995-98

Op dit moment zijn twee groepen actoren met verschillende opvatting binnen de windenergiewereld. De eerste groep streeft naar grotere en hogere windturbines. Terwijl de andere groep actoren kleine en eenvoudig te plaatsen windturbines propageert. De eerste groep ontwikkelt de windturbine verder tot een efficiënter apparaat dat een hoger rendement haalt. Dit maakt het mogelijk om kleine, verouderde, turbines te vervangen voor één groter maar efficiëntere turbine met een hogere opbrengst. Daarmee neemt het vermogen aanzienlijk toe zonder dat dit tot een wezenlijke vermeerdering van de aantasting van het landschap leidt, aldus de betrokken actoren. Dit wordt ‘repowering’ genoemd, zie figuur 11.



**Figuur 11: Repowering – het verminderen van het aantal windturbines terwijl de opbrengst wel toeneemt (win-win situatie). bron: Jos Beurskens (ECN) & Gijs van Kuik (TU Delft)**

De tweede groep binnen de windenergiewereld benadert windenergie vanuit een geheel andere hoek. Waar de eerste groep windturbines plaatst op zee of in een opengebied, zien zij windenergie als iets juist voor de bebouwde omgeving, zoals stad of dorp. Deze tweede groep ziet de mogelijkheid om windenergie op daken van flats en kantoren te winnen. Dit heeft geleid tot een nieuwe term: *urban turbines*. De technologieën die deze groep gebruikt is wezenlijk verschillend van de eerste groep. De eerste groep zet de ontwikkeling van groter, efficiënter en meer vermogen voort. De tweede groep maakt gebruik van een verscheidenheid aan technieken om windenergie om te zetten in elektriciteit, zie figuren 12 & 13. Echter het argument van meer opbrengst als gevolg van windstuwning tussen gebouwen blijkt in de praktijk bijzonder lastig te realiseren.



**Figuur 12: de Turby. Door de verticale as is het rendement niet afhankelijk van de windrichting (bron: Turby)**



**Figuur 13: in Den Haag is op het dak van het hoofdkantoor van de Haagse Tram Maatschappij een windturbine geplaatst: een Windwall. (2004) Een windwall draait rond een horizontale as. Dit houdt in dat het rendement afhankelijk is van de windrichting.**



## Zonne-energie in Nederland

Zoals uit de cijfers van 2004 blijkt, bestaat duurzame energie in Nederland voornamelijk uit biomassa- en windenergie. Dit is vreemd want in 1999 behoorde Nederlands onderzoek voor zonne-energie tot de top van de wereld.<sup>31</sup> Een voorbeeld daarvan was de oprichting van het innovatieve project Helianthos, een samenwerkingsverband van AkzoNobel, TNO en de universiteiten van Utrecht, Delft en Eindhoven. Het onderzoek is erop gericht de technologie te ontwikkelen waarmee flexibele dunne film zonnecellen 'aan de rol' gemaakt kunnen worden. De verwachting was dat op termijn de geproduceerde zonnecellen zo goedkoop gemaakt kunnen worden, dat de opgewekte elektriciteit concurreert met de huidige stroom uit het net.

In Nederland werden rond die periode verwachtingsvol over zonnecellen gesproken en ambitieus gehandeld. In 1999 wordt de grootste zonnecollector op een woongebouw in Europa gepresenteerd. Op de Brandaris in Zaandam werd 760m<sup>2</sup> aan zonnecellen gebouwd, goed voor 10% van de totale warmtebehoefte van de bewoners. Een tot dan toe ongekende prestatie in de wereld. Drie jaar later wordt op de Floriade het grootste zonnecollectoroppervlak ter wereld gebouwd door Siemens. Zesentwintigduizend vierkante meter zonnecellen, goed voor 2,3MW aan energie.

### **Interview: drs. ing. R. Knol, Siemens Nederland**

Dat de Nederlandse zonnecellenmarkt uniek is legt R. Knol van Siemens uit. Siemens is marktleider binnen Nederland en Europa, de exclusieve handelaar van Shell zonnecellen. R. Knol legt uit dat voor de Nederlandse markt een uniek zonnepaneel is ontworpen. Dit komt voornamelijk door wensen en eisen vanuit de consument, de bekende 3 of 4 panelen combinatie. Blijkbaar is dat een unieke configuratie die speciaal voor de Nederlandse afzetmarkt is ontworpen.

De configuratie is ontstaan door een combinatie van subsidiemaatregelen en een lage investeringsdrempel, waarbij de omvormer het technische maximale aantal zonnepanelen bepaalde. Eén omvormer kan max. 3 à 4 panelen wat betreft elektrische capaciteit aan. Aangezien panelen werden gesubsidieerd en niet de omvormers, koos de Nederlandse consument vanwege de subsidie voor de configuratie met de minste kosten: 3 of 4 panelen met 1 omvormer. In deze configuratie is de omvormer vaak de zwakste schakel aangezien het merendeel van het geld wordt geïnvesteerd in de zonnepanelen en de omvormer de sluitpost vormt.<sup>32</sup>

Na 2003 stortte de markt voor zonne-energie in door het stopzetten van de subsidie door de overheid, zie figuur. Het instorten van de zonne-energiemarkt na het dichtdraaien van de kraan is tekenend voor een technologische niche.

In de toelichting op de rijksbegroting voor het jaar 2002 beschrijft Economische Zaken haar nieuwe strategie ten aanzien van duurzame energie. Deze nieuwe strategie houdt in dat het nationale beleid meer prioriteit zal geven aan duurzame energietechnologieën die de grootste bijdrage kunnen leveren aan de gestelde 10% duurzame energie in 2020 als gevolg van de Kyoto-doelstellingen. Dat zijn volgens het ministerie voornamelijk wind op zee en biomassa.

<sup>31</sup> Bron: de vierjaarlijkse 'World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion

<sup>32</sup> Een gemiddelde (kleine) omvormer heeft een technische levensduur van gemiddeld 3 à 4 jaar. Goedkopere laten na een jaar het leven al. Nadeel hiervan is dat men niet ziet dat er geen stroom meer wordt opgewekt. Een simpele meter zou een oplossing zijn, maar daar wordt vaak niet aan gedacht.

R. Knol legt meteen daarna uit dat Siemens niet deze configuratie levert vanwege de geringe opbrengst in verhouding tot investering. Siemens installeert louter grotere panelencombinaties.

Volgens het ministerie van EZ wordt er van andere duurzame energietechnologieën, zoals zonneboilers, fotovoltaïsche cellen en warmtepompen pas na 2020 een substantiële bijdrage verwacht. Dit betekent dat deze bronnen geen specifieke steun meer zullen krijgen. Enkele lange termijn Research en Development (R&D)-programma's voor de genoemde bronnen zullen wel in stand blijven.

Deze herziening leidt er concreet toe dat de subsidies, de energiepremieregeling op zonnepanelen wordt stop gezet. Aangezien dat Nederland aan de gestelde doelen op het gebied van duurzaamheid voldeed werd de subsidiekraan eerst voor zonne-energie dichtgedraaid en later in 2006 voor alle andere vormen van nieuw te plaatsen duurzame energie-installaties. De regering verstrekt subsidies om duurzame technologie aan te jagen, niet continue te blijven subsidiëren, aldus het kabinet Balkenende III.

**Interview: W. Sinke, beleidsmedewerker ECN**

“Zonne-energie zelf zit in Nederland op dit moment grotendeels in een dip”, aldus W. Sinke. De branchevereniging, HollandSolar heeft meer dan de helft van haar leden verloren. Alle industrie is vertrokken op één na, namelijk Scheuten Solar B.V. in Venlo. Deze kan overleven dankzij het feit dat het bedrijf bijna al haar omzet haalt over de grens in Duitsland en in België. Juist nu de zonnecelwereld toegewijde leveranciers voor silicium heeft gekregen, een Europees platform voor zonnecellen is opgericht en waarbij al jaren een marktgroei van 30% is gerealiseerd ligt de Nederlandse markt stil.

Sinds 2004 houdt het CBS de zonne-energiemarkt in de gaten. De cijfers voor zonne-energie vertellen het verhaal van de instorting van de nationale markt:

<b>Fotovoltaïsche zonne-energiesystemen; markt handels- en productiebedrijven</b>					
<b>Onderwerpen</b>		<b>Perioden</b>	<b>2004</b>	<b>2005*</b>	
<b>Zonnepanelen</b>	<b>Import</b>	<b>kW</b>	13160	23677	
	<b>Productie</b>		-	x	
	Afzet aan installateurs en eindgebr.		Afzet aan install. en eindgebr., totaal	3604	1663
			Autonome systemen	434	323
			Netgekoppelde systemen, energiebedrijven	679	-
			Netgekoppelde systemen, overig	2491	1340
	<b>Export</b>			9770	20942
	Tussenhandel in Nederland		4767	6500	
<b>Werkgelegenheid</b>	<b>Werkgelegenheid, totaal</b>	<b>fte</b>	147	141	
	Werkgelegenheid, R&D		23	17	
	Werkgelegenheid, productie		10	21	
	<b>Werkgelegenheid, overig</b>		115	103	
<b>Omzet</b>		<b>x 1 000 euro</b>	89866	113018	
<b>Uitgaven voor Research &amp; Development</b>			2422	1884	

Bron: BECO 2000-2002; Holland Solar 2003; CBS vanaf 2004. 2006-10-04

**Figuur 14: Zonne-energie markt in Nederland, bron CBS**

Tegelijkertijd met het instorten van de zonnepanelenmarkt in 2003 sluit Shell Solar Energy B.V. haar productielijn in Helmond. De laatste jaren zijn in Nederland weer meer fabrieken voor zonnecellen en -modules opgericht, met name door Solland Solar (Heerlen), Scheuten Solar Systems (Venlo), Ubbink (Doesburg) en AST (Bleiswijk). Daarnaast bestaat Dutch Space, dat specifiek zonnecelsystemen voor de ruimtevaart maakt. Op het Dutch Solar Cell seminar op 27 september 2006 te Utrecht, bleek dat de R&D in Nederland de belangrijkste reden is dat deze bedrijven in Nederland zijn gevestigd. Zeker ten opzichte van landen als Duitsland en Japan is de thuismarkt immers minimaal. Dat men toch voor Nederland kiest, komt doordat in deze ontwikkelstadium van de zonnecel kennis van belangrijker is dan een

afzetmarkt.<sup>33</sup> Kortom de instorting van de markt betrof hoofdzakelijk de consumentenmarkt en niet zozeer onderzoek en ontwikkeling (R&D).

Eén van de meest voor de hand liggende ontwikkelingsspeerpunten binnen de zonne-energie technologie is het verhogen van het rendement van zonnecellen. Zonnecellen hebben een relatief laag rendement in verhouding tot andere apparaten. Slechts 10-15% van de energie van de zon wordt omgezet in elektriciteit. Dit eist een relatief grote oppervlakte aan zonnecellen om de benodigde energie te kunnen opwekken.

Een manier op dit probleem aan te pakken is de zogenaamde geconcentreerde chip. Een reguliere zonnepaneel bestaat uit meerdere cellen die zonlicht opvangen en hiervan energie maken. De geconcentreerde chip bestaat uit één 'super' zonnecel. Deze zonnecel is duur, maar zo efficiënt dat slechts één zonnecel van ongeveer één vierkante centimeter volstaat om dezelfde resultaten te verkrijgen als een complete zonnepaneel. Deze prestatie is mede te danken aan een grote lens die meer zonlicht op de chip te laat vallen.

Een andere radicaal aanpak van het rendementsprobleem is de zonnecel opnieuw te ontwerpen. 3D CIS-zonnecellen zijn een conceptueel nieuwe zonnecel, dat uitgaat van een bolvormige, 3-dimensionale structuur in plaats van een platte structuur met lagen.<sup>34</sup> Deze ontwikkeling is tot nu toe nog pas in de conceptfase.

Een ander probleem is dat de aanschaf van zonnecellen hoge investeringskosten vereisen. Nog steeds zijn in Nederland ideeën om flexibele dunne film zonnecellen 'aan de rol' te maken, het Helanthos-project. Gelijk aan de verwachting eind jaren '90 zouden deze geproduceerde zonnecellen zo goedkoop worden, dat de opgewekte elektriciteit concurreert met de huidige stroom uit het net. De proefopstelling moet echter nog worden gebouwd. Pas als deze staat zal worden besloten om over te gaan tot de bouw van een fabriek voor deze goedkope, revolutionaire zonnecellen.

## **4.2 Duurzame energiemarkt**

Klanten, vaak grote ondernemingen of instellingen, kiezen niet direct de meest rendabele duurzame technologie, maar vinden het belangrijker dat de wereld weet dat ze duurzaam bezig zijn. Dit betekent dat veel wordt geïnvesteerd in het voor het publiek zichtbaar maken van duurzame energietechnologieën. Vaak wordt niet de optimale positie gekozen voor een zonnepaneel omdat het dan niet zichtbaar is. Dit aspect is tegennatuurlijk voor de idealisten en actoren van de duurzame energiewereld. Immers, zij zijn bijna continu bezig om de optimale opbrengst te verkrijgen van hun technologieën zodat deze concurrerend zijn met fossiele brandstoffen. Daarnaast proberen ze in de duurzame energiewereld constant de grenzen te verleggen van de energieopbrengst van een duurzame technologie. Deze vreemde dualisme wordt in principe als 'not done' ervaren door de actoren in het duurzame energiewereld. Een dualisme tussen een klantgericht innovatiepatroon en een R&D innovatiepatroon (van de Poel).

---

<sup>33</sup> bron: SenterNovem & [www.jointsolarpanel.nl](http://www.jointsolarpanel.nl)

<sup>34</sup> [www.astbv.nl](http://www.astbv.nl)

### **Interview: drs. ing. R. Knol, Siemens Nederland**

Uit het interview met R. Knol van Siemens blijkt dat ‘klant is koning’ regelmatig leidt tot rare en ‘not done’ situaties.

*“Het is niet ongebruikelijk dat bij een groot zonnecel- of windmolenproject 20% van de kosten naar monitoringsoplossingen gaat. Monitoringsoplossingen noemen wij (red. Siemens) de wijze waarop wordt zichtbaar wordt gemaakt hoeveel energie op dat moment wordt opgewekt dankzij die zonnecellen of windmolens. Dat kan door middel van een display of via real-time. Vaak werken deze displays juist averechts aangezien het publiek ze niet begrijpt of de displays niet duidelijk uitbeelden wat de werkelijke opbrengst is. Terwijl wij de kosten zo laag mogelijk proberen te houden om de technologie en het project rendabel te maken, wenst de klant een monitoringsoplossing. De klant had datzelfde bedrag kunnen investeren in een beter systeem, met een hogere opbrengst!”*

Uit het bovenstaand kan worden afgeleid dat naast dat de afzetmarkt zeer snel kan veranderen, zoals bij het instorten van de zonne-energiemarkt, is binnen het duurzame energiewereld de klant koning. Particulieren en instanties maken de dienst uit. De klant bepaalt uiteindelijk hoe duurzame energie technologie zal worden toegepast. Dit betekent dat ondernemingen binnen de duurzame energiewereld klantgericht werken.

### **Interne Regels**

Actoren binnen de duurzame energiewereld redeneren vanuit een bepaalde perspectief. Deze werkwijze is zelfs uitgegroeid tot een methode genaamd *Trias Energetica* (zie figuur). Trias Energetica is een begrip waarmee de volgorde van drie stappen naar een zo duurzaam mogelijke energievoorziening wordt aangeduid: beperk de vraag naar energie door toepassen van vraagbeperkende maatregelen, gebruik zoveel mogelijk duurzame energiebronnen om de energie die nog nodig is op te wekken en zet vervolgens efficiënte technieken in om het resterende energieverbruik op te wekken.



**Figuur: Trias Energetica – Bron: Ecofys**

**Stap 1: Beperk de energievraag**

**Stap 2: Gebruik zoveel mogelijk duurzame energie**

**Stap 3: Gebruik fossiele brandstoffen zo efficiënt en zo schoon mogelijk**

### **4.3 Resumerend**

Duurzame energie is energie waarover de mensheid voor onbeperkte tijd kan beschikken en waarbij, door het gebruik ervan, het leefmilieu en de mogelijkheden voor toekomstige generaties niet worden benadeeld. Duurzame energie is op meerdere manieren op te wekken. Daarvoor zijn er verschillende technologieën ontwikkeld deze te verkrijgen.

Sinds de eerste oliecrisis is duurzame energie op de maatschappelijke agenda terecht gekomen waardoor onderzoek en ontwikkeling ervan een stimulans heeft gekregen. Mede daardoor heeft duurzame energie zich kunnen ontwikkelen tot een groep technologieën die ongeveer 2% van Nederlands energie oplevert. In Nederland leveren biomassa en windenergie de grootste bijdrage aan het energiehuishouden.

Verder valt het op dat de grote, multinational concerns in de fossiele brandstoffenwereld, zoals Shell, BP, ExxonMobile, zich steeds meer manifesteren in de duurzame energiewereld. Shell heeft bijvoorbeeld sinds ongeveer vijf jaar de divisie Renewables waar energie uit zon, wind en biomassa is ondergebracht. Daarbij is BP één van de grootste producenten van zonnecellen ter wereld. Ondanks dat deze grote concerns zich hebben gestort op zon- en windenergie, blijft biomassa de belangrijkste en grootste duurzame energiebron wereldwijd en ook nationaal.

Toch wordt, ondanks de dominantie van biomassa, in verschillende gerespecteerde en aangehaalde toekomstscenario's, waaronder de WBGU en Shell, zonne-energie als de meest belovende technologie geschetst. In Nederland is de markt voor zonne-energie zeer afhankelijk van subsidiemaatregelen. Door het wegvallen van deze stimulans in 2003 is de afzetmarkt ingestort. Toch wordt Nederland nog wel gezien als een 'vruchtbaar' land voor zonne-energie. Dit geldt echter alleen voor onderzoek en ontwikkeling van zonne-energie.

Kortom duurzame energie kan worden opgewekt uit tal van verschillende hernieuwbare en onuitputbare energiebronnen. De duurzame energiewereld bestaat uit een diversiteit aan technologieën en methoden, zoals biomassa, biovergassing, zonne-energie tot windenergie en een diversiteit van actoren, van grote internationale concerns, zoals Siemens tot kleine ontwikkelingsonderneming, zoals BTG. Deze verschillende actoren en technologieën hebben een aantal discipline, culturele en institutionele kenmerken gemeen. Ze definiëren een probleem vanuit dezelfde optiek en zoeken oplossingen in (ongeveer) dezelfde oplossingsrichting: Trias Energetica.



## 5. Waterstof: te nieuw om te weten wat het werkelijk betekent voor Nederland?

### 5.1 Wat is waterstof?

Sinds waterstof ontdekt werd door Henry Cavendish (1766) is het bekend dat het zeer brandbaar is en zelfs explosief met zuiver water als reststof.<sup>35</sup> Rond 1800 werd het proces van elektrolyse door de wetenschappers William Nicholson en Sir Anthony Carlisle ontdekt. Ze ontdekten dat door middel van elektriciteit waterstof kan worden gemaakt. Het principe van de brandstofcel werd in 1839 door de Zwitserse chemicus Chirstian Friedrich Schoenbein bekend gemaakt. Helaas voor Schoenbein ging de titel van 'vader van de brandstofcel' naar Sir Willem Grove (1845). Grove demonstreerde hoe Schoenbeins principe op een praktische manier kon worden toegepast in de zogenaamde 'gasbatterij'.<sup>36</sup>

Juist de eigenschap dat bij het verbranden van waterstof louter zuiver water vrij komt, maakte het de alternatieve energie voor idealisten en milieuactivisten in de jaren 1970. Ook is in deze periode de term 'waterstofeconomie' voor het eerst geuit. John O'M. Bockris was de eerste die deze term gebruikte in een toekomstvoorspelling waarin alle Amerikaanse steden door zonne-energie en waterstof zouden worden voorzien van bruikbare energie.<sup>37</sup>

Waterstof is één van de meest voorkomende elementen op aarde, hetzij niet als een zuivere stof. Er bestaat niet zoiets als een waterstofwolk of een waterstofgasveld. Waterstof komt slechts voor in verbindingen met andere stoffen. Daarom kan waterstof geen energiebron worden genoemd. Waterstof dient derhalve 'geproduceerd' te worden.

### Productie van waterstof

Om waterstof te verkrijgen moet de verbinding worden verbroken waarin het voorkomt. Hiervoor is energie nodig, ongeacht wat voor energie. De meest voorkomende methoden om waterstof te produceren zijn:<sup>38</sup>

- Stoomraffinage: ontleding van aardgas met behulp van stoom in waterstof en koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>). Stoom wordt onder druk gebracht en reageert met aardgas. Bij de reactie met stoom met aardgas ontstaat waterstofgas en koolstofdioxide. Stoomraffinage is een thermochemisch proces. Resultaat is een waterstofgasstroom die zowel qua hoeveelheid als kwaliteit (90% zuiver waterstof) constant is.
- Elektrolyse: door middel van elektriciteit wordt water (H<sub>2</sub>O) omgezet in waterstof en zuurstof. Resultaat is een waterstofgasstroom die zowel qua hoeveelheid (laag) als kwaliteit (100% zuiver) constant is.

<sup>35</sup> Als voorbeeld van de brandgevaarlijkheid van waterstof wordt vaak verwezen naar de brand van de zeppelin Hindenburg in 1937. Echter, de brand was in eerste instantie niet te wijten aan waterstof, maar aan de poederverfcoating van de zeppelin. Deze bleek zeer brandbaar te zijn, waarvoor een vonk door een statische ontlading genoeg was om de rest te doen ontvlammen. NASA onderzoeker Addison S. Bain heeft dit onderzocht en heeft verklaard dat de zeppelin ongeacht of er waterstof brand zou hebben gevat en zou zijn neergestort.

<sup>36</sup> Voor meer geschiedkundige informatie over waterstof en brandstofcellen, zoals het eerste vliegtuig op waterstof uit 1988 en oprichting van de verschillende waterstof gerelateerde instanties, [www.hydrogenassociation.org](http://www.hydrogenassociation.org) of [www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/](http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/)

<sup>37</sup> Het toekomstscenario van J.A. Turner, hoofdstuk 8 lijkt hier rechtstreeks van afgeleid op het verschil na dat Turner een grotere verscheidenheid aan duurzame energie technologieën aanwend, waarvan voornamelijk windenergie.

<sup>38</sup> Dit is slechts een opsomming van de huidige meest gangbare methoden om waterstof te produceren.

- Fotothermisch: ontleding van water door thermische energie van de zon. Resultaat is een waterstofgas dat qua hoeveelheid en kwaliteit niet is te voorspellen en afhankelijk is van de intensiteit van de straling van de zon.
- Biologische productie: algen of bacteriën produceren waterstof als rest- of afvalproduct. Resultaat is een waterstofgas dat qua hoeveelheid en kwaliteit niet is te voorspellen. Deze methode is nog experimenteel.

Stoomraffinage is op dit moment de meest economische methode om waterstof te winnen. Het proces heeft de hoogste doorloopsnelheid en kan zodoende het meeste waterstof produceren binnen een bepaalde tijd.<sup>39</sup> Nadeel van stoomraffinage is dat er een aantal milieuvriendelijke restproducten zijn zoals koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) en dat de waterstof niet van zuivere kwaliteit is. Het is vaak een gasmengsel dat voor ±90% zuiver waterstof bevat. Reststoffen van het proces en aardgas zijn niet geheel uit te filteren uit het waterstofmengsel. Door middel van zuiveringsstappen is het mogelijk om de zuiverheid van de waterstof te verhogen, maar dat kost energie. De kwaliteit dus de zuiverheid van waterstof zal in de toekomst een rol kunnen gaan spelen bij de toepassing ervan en dus de wijze waarop het wordt geproduceerd.

### Opslag van waterstof

Waterstof is in gasvorm zeer licht, op modulair klein, een lage energie dichtheid heeft en daarbij ook nog eens zeer reactief is. Het reageert zeer snel met zuurstof zodat het weer water wordt. Deze eigenschappen leiden tot de volgende uitdaging zodra waterstof geproduceerd wordt; hoe het op te slaan.

Op dit moment is deze vraag het grootste onderzoeksterrein bij de ontwikkelingen van waterstoftechnologieën. De helft van het budget van het Nederlands Wetenschappelijke Onderzoeksprogramma voor waterstofontwikkelingen (NWO-ACTS) wordt besteed aan onderzoek naar dit opslagprobleem. Er zijn op dit moment drie gangbare manieren waarop waterstof kan worden opgeslagen: hoge drukcilinders, vloeibaar maken en het opslaan in een metaalhydride.

Metalen hoge drukcilinders worden in de industrie gebruikt voor toepassingen met waterstof. Waterstof wordt onder druk opgeslagen, maar dit vereist zware specialistische hoge drukvaten, zie figuur 15. Theoretisch zou het ook kunnen in lichte flexibele opslagbollen, zie figuur 16. Dit principe wordt uitgewerkt door ALE (Advanced Light Weight Engineering) in Delft. ALE heeft dit niet ontworpen met het oog op een waterstofopslagtank. In de zoektocht naar een lichtgewicht en veilige LPG-tank werden de ontwerpeisen gelijkgesteld aan de meest vluchtige en moeilijk op te slaan gas: waterstofgas. Het prototype voor LPG is goedgekeurd voor gebruik. De auto-industrie toont veel interesse voor deze technologie.

Waterstofgas kan vloeibaar worden gemaakt, maar dat vereist zeer lage temperaturen. Dat kost veel energie en levert lastige isolatieproblemen op. Voordeel is wel dat de dichtheid vele malen hoger is dan in gasvorm.

---

<sup>39</sup> Elektrolyse heeft namelijk een theoretische maximale capaciteit. Er wordt niet meer waterstof geproduceerd als er meer elektriciteit wordt toegevoegd. Praktisch betekent dit dat meerder opstellingen naast elkaar worden gezet om de capaciteit uit te breiden.





**Figuur 15: de meer gebruikelijke metalen opslagcilinders voor gassen, zoals waterstof. Dit zijn speciale lichtgewicht metalencilinders.**

**Bron: Palcan**

Waterstofgas kan ook worden opgeslagen in een metaalrooster, een metaalhydride. In een metaalhydride wordt waterstof chemisch gebonden aan de atomen van een metaal (meest gebruikt zijn legeringen van Mg, Ni, Fe en Ti). Tijdens de vorming van de hydride wordt warmte afgegeven en om waterstof vrij te maken moet warmte worden toegevoegd.

Waterstofmoleculen worden in openingen van de metaalpoederrooster opgeslagen, zie figuur 17.



**Figuur 17: waterstof opslag in metaal hydrides (bron: Shell)**

Juist in het onderzoek bij metaalhydraten heeft een wetenschappelijke doorbraak plaatsgevonden. Theoretisch was het maar mogelijk om één waterstof molecuul in één metaalhydraat te vangen. Dit wordt de theorie van Van der Waal genoemd. Prof. Dr. J. Schoonman, hoogleraar toegepaste anorganische chemie Technische Universiteit Delft en tevens wetenschappelijk directeur van het Delfts Instituut voor Duurzame Energie (DIDE), heeft de grenzen opgezocht van wat natuurkundig mogelijk is en deze grenzen verlegd. Hij claimt dat het in de praktijk nu al mogelijk is om twee tot vier waterstof moleculen te vangen in het metaalhydraat.<sup>40</sup>

De Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO) stimuleert wetenschappelijk onderzoek naar waterstoftechnologie. Binnen Advanced Chemical Technologies for Sustainability (ACTS), een van de vele onderzoeksprogramma's binnen NWO, is onderzoek naar waterstoftechnologie ondergebracht. Met een budget van 18 miljoen euro in 2005 wordt hoofdzakelijk onderzoek gedaan naar methoden om waterstof op te kunnen slaan. De NWO wordt niet aangestuurd vanuit een ministerie. Het wordt wel gefinancierd door het ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap.

<sup>40</sup> Dit is gepubliceerd in *Science* 15 October 2004; 306: 469-471. Wel moet worden vermeld dat gebruik werd gemaakt van een promotor, echter deze werd toegevoegd om te zorgen dat het proces bij een lagere druk zou plaatsvinden van 2300 bar naar 100 bar en niet om meer waterstof op te kunnen slaan. Deze promotor kan de praktische toepassing van deze technologie vergroten.

## 5.2 Brandstofcel: de complementaire technologie van waterstof

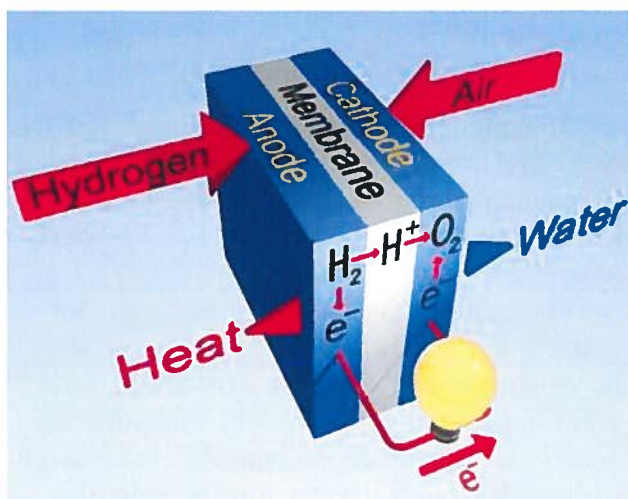
Benzine heeft een verbrandingsmotor nodig om beweging mogelijk te maken. De verbrandingsmotor is de *complementaire technologie* van benzine. Zonder benzine is een verbrandingsmotor nutteloos en zonder een verbrandingsmotor heeft benzine geen waarde als brandstof. Het 'succes' van een bepaalde technologie is vaak afhankelijk van een complementaire technologie (de Wilde, 2000). Waterstof heeft ook een complementaire technologie, waar ze in principe 'afhankelijk' van is. Dit is de brandstofcel.

Waterstof kan verbrand worden, net als benzine in een verbrandingsmotor. Hiervoor heeft een verbrandingsmotor minimale aanpassingen nodig. Slijtage is door de veel hogere temperaturen van waterstof wel een groot probleem. Daarnaast is de veel lagere energiewaarde per eenheid waterstof in vergelijking tot benzine een ander probleem. Een waterstofauto met een verbrandingsmotor komt veel minder ver dan een benzineauto met dezelfde tankinhoud. Kortom waterstof en benzine in een verbrandingsmotor zijn tot een zekere hoogte vergelijkbaar, maar doordat men minder ver kan komen met waterstof en het tot veel hogere kosten leidt vanwege slijtage, zal deze wijze van waterstofgebruik geen werkelijke bedreiging vormen voor benzine in de (consumenten)markt. Waterstof in combinatie met een brandstofcel daarentegen vormt een meer serieuze concurrent voor benzine en de verbrandingsmotor.

De brandstofcel heeft zijn eerste echte toepassing buiten het laboratorium gevonden in de ruimtevaart. NASA vroeg zich in de jaren 1950 af of er een niet-vervuilende manier was om energie te verkrijgen. De brandstofcel was een logische keuze niet alleen omdat de spaceshuttle waterstof gebruikt als brandstof voor de raketten maar ook omdat het restproduct uit de brandstofcel (water) kon worden gedronken door de astronauten. Deze keuze verminderde bovendien het mee te nemen gewicht aan water. De brandstofcel bleef in die jaren, vanwege de hoge ontwikkelingskosten, alleen bruikbaar binnen deze technologische niche. Begin 1990 is een commercieel aantrekkelijk model van de brandstofcel ontwikkeld.

Als input voor de brandstofcel dienen waterstofgas en zuurstof. Waterstof wordt geput uit een van tevoren gemaakte voorraad, en zuurstof wordt rechtstreeks uit de omgeving gehaald. Binnenin de cel reageren deze twee stoffen geruisloos tot water en laten daarbij elektrische energie vrij, zie figuur 18. Deze elektrische energie kan worden gebruikt om een lamp te laten branden of een elektromotor te laten draaien. Deze elektrische energie hoeft niet opgeslagen te worden want de waterstofvoorraad is praktisch gezien de accu. Zodra energie nodig is kan waterstof via de brandstofcel worden omgezet in energie.

Een brandstofcel bestaat uit een serie stacks. Een stack is een aantal speciale fijnmazige of poreuze metalen platen die op elkaar worden gemonteerd. De stacks zijn het werkende onderdeel van een brandstofcel. De waterstof en zuurstof reageren tot water waarbij elektriciteit en warmte ontstaat. Deze stacks hebben geen bewegende onderdelen, worden niet verbruikt en gaan dus niet op. Ze kunnen alleen beschadigd raken door vervuiling in de gassen.



**Figuur 18: werking brandstofcel (bron: NedStack B.V.)**

In tegenstelling tot een verbrandingsmotor is een brandstofcel opschaalbaar: door meer brandstofcellen toe voegen – als een legosysteem - kan meer vermogen (dus energie) worden geproduceerd en meer waterstof wordt verbruikt. Een brandstofcel is flexibeler in gebruik binnen een systeem dan bijvoorbeeld een verbrandingsmotor. Daarnaast maakt deze modulaire eigenschap onderhoud zeer praktisch. Wanneer een brandstofcel niet meer werkt wordt deze vervangen voor een andere. Een ander voordeel is dat de interne werking van de brandstofcel afgesloten is van de buitenwereld. Hierdoor heeft stof en ander vuil geen kans invloed uit te oefenen op het systeem. Dit betekent minder storingen, waardoor de betrouwbaarheid wordt vergroot.

Het meest sprekende voordeel van een brandstofcel is het rendement dat kan worden behaald; getallen rond de 50% zijn hierbij standaard en verbeteringen hierop zijn zeker mogelijk. In laboratoriumomstandigheden zijn rendementen van 80% haalbaar. Een verbrandingsmotor heeft slechts een rendement van maximaal 37%.<sup>41</sup> Dat betekent dat maximaal veertiende van de energie die in een verbrandingsmotor wordt gestopt wordt omgezet in bruikbare energie, bijvoorbeeld in de vorm van beweging voor voortstuwing.

De voordelen van de brandstofcel vergeleken met de verbrandingsmotor zijn: efficiënter, geruisloos, onderhoudsvriendelijk, zelfs onderhoudsvrij, en emissievrij, zuiver water niet meegerekend. De doorbraak van waterstof is inherent gekoppeld aan en zelfs afhankelijk van de ontwikkelingen van de brandstofcel.

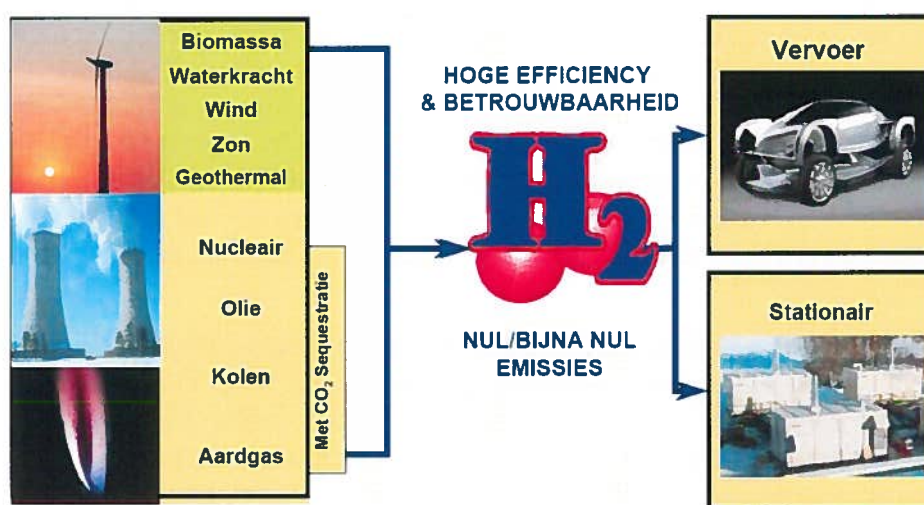
### **5.3 Waterstof energiesysteem**

Om warmte in de huiskamers te brengen of om kilometers af te leggen in een auto is een groot en complex netwerk aan bedrijven, producenten, vervoerders en handelaars noodzakelijk. Voor aardolie is een ander specifiek netwerk dan voor aardgas. Het is per energiebron verschillend. Dit komt mede doordat de energiebronnen grotendeels zijn gekoppeld aan een specifieke dienst. Zo wordt bijna 98% van de olie gebruikt voor het voortbewegen van personen en/of goederen. Terwijl in Nederland aardgas hoofdzakelijk wordt gebruikt in de

<sup>41</sup> Dit verschil is grotendeels toe te schrijven aan het ontbreken van bewegende onderdelen in een brandstofcel. Energieverlies is groot zodra sprake van mechanische overbrenging, wat continu plaatsvindt in een verbrandingsmotor. Ook speelt het principe van warmte mee. Een verbrandingsmotor werkt pas als er een verschil is in temperatuur, daarbij wordt veel energie verloren. Een brandstofcel produceert ook hitte maar gaat daardoor juist efficiënter werken.

gebouwde omgeving, om gebouwen te verwarmen of voor koken. Kolen en kernenergie daarentegen worden hoofdzakelijk gebruikt voor de opwekking van elektriciteit.<sup>42</sup>

Waterstof kan deze relatie tussen energiebron en de toepassingen van energie veranderen omdat het als universele energiedrager kan dienen. Anders gezegd, waterstof kan de koppeling opheffen tussen verschillende energiebronnen en specifieke toepassingen. Waterstof geeft daarmee de vrijheid aan overheid en maatschappij om te beslissen hoe deze universele energiedrager benutten. Zo kan Duitsland ervoor kiezen om haar nationale steenkoolvoorraad in te zetten om waterstof te produceren voor voertuigen, maar ook voor woningen. Het principe geeft Frankrijk de mogelijkheid om door middel van kernenergie voertuigen voort te laten bewegen, maar ook om woningen te verwarmen. Zo kunnen beide landen ervoor kiezen niet meer afhankelijk te zijn van geïmporteerde aardolie of aardgas. Nationale overheden, zijn door middel van waterstof, vrij om meer onafhankelijk te opereren. Althans, dat zijn de verwachtingen die gekoppeld worden aan een waterstofeconomie. Dit principe wordt uitgebeeld in figuur 19.



Figuur 19: mogelijke rol van waterstof in de samenleving (bron: ECN)

#### 5.4 Alternatieven voor waterstof

Bestaande technologieën met dezelfde mogelijkheden als het toepassen van waterstof in combinatie met brandstofcellen zijn moeilijk te vinden. Batterijen en accu's lijken in eerste instantie daarvoor het meest in aanmerking te komen, immers deze houden energie vast tot er vraag naar is. Ze zijn energiedragers. In principe doet waterstof dit ook, door energie uit een energiebron om te zetten in waterstof, vervult waterstof de functie van energiedrager. Het verschil is dat batterijen slechts energie in de vorm van elektriciteit kunnen opslaan terwijl waterstof uit elk energiebron kan worden gemaakt en zodoende energie kan opslaan uit welke energiebron dan ook.

<sup>42</sup> Steenkolen worden in Nederland voornamelijk ingezet voor de productie van elektriciteit; sinds 1988 bedraagt dit aandeel tussen de 82 en 87% van de invoer. Echter, 36% van de elektriciteit door middel van steenkool, 6% van de elektriciteit door middel van kernenergie en 47% van de elektriciteit door middel van aardgas geproduceerd. Kortom steenkool wordt hoofdzakelijk benut voor elektriciteitsproductie, maar elektriciteit uit steenkolen levert een kleine bijdrage aan de totale elektriciteitsproductie (cijfers van 2006, bron: CBS).

Een ander verschil is dat batterijen niet een constante energielading leveren. Het vermogen van een batterij neemt af naarmate deze leeg raakt. Bovendien zijn ze verhoudingsgewijs duur en zwaar. Een ander groot verschil is dat de oplaadtijd van batterijen zeer lang is in verhouding tot de periode dat de batterij kan worden gebruikt. Waterstof heeft het voordeel dat bijvullen ervan relatief sneller kan worden gedaan.

Andere energie-opslagtechnologieën zoals vliegwielen of 'pumped hydro' hebben een hoog rendement en geringe energieverliezen.<sup>43</sup> Nadeel is dat deze energie-opslagtechnologieën specifiek zijn en niet universeel toepasbaar, zoals waterstof. Met andere woorden ze vereisen dat de omgeving aangepast moet worden om deze energieopslag technologieën te faciliteren. Laat staan dat deze technieken voor mobiele toepassingen kunnen worden benut.

Kortom waterstoftechnologie in combinatie met een brandstofcel heeft drie belangrijke voordelen ten opzichte van bestaande energie-opslagtechnologieën. Ten eerste is waterstof universeel wat betreft de energiebron. Ten tweede is waterstof zowel stationair als mobiel toepasbaar dankzij de brandstofcel. Het belangrijkste voordeel van waterstof is dat de energie niet afneemt naarmate de voorraad afneemt, iets wat wel het geval is bij de meeste andere energie-opslagmethoden.

## **5.5 Waterstof in Nederland**

Het jaar 2000 wordt gezien als het begin van de mondiale hype van waterstof. Europese commissievoorzitter Romano Prodi hield in 2002 zijn beroemde toespraak waarin hij twee miljard euro toezegt bij zijn visie op waterstoftechnologie en de toekomst.<sup>44</sup> In datzelfde jaar publiceerde Jeremy Rifkin, stichter en president van de 'Foundation on Economic Trends', zijn spraakmakende boek waarin hij uitvoerig en aannemelijk de verschillende motieven voor het overgaan op een waterstofeconomie uitwerkt. Hierdoor helpt Jeremy Rifkin waterstoftechnologie van het technologische wetenschappelijk debat naar de publieke arena te verplaatsen. In februari 2003 kondigt de president Bush in de State of the Union aan dat 1,2 miljard euro wordt vrij gemaakt voor de komende 'hydrogen economy'.

Verschillende nationale media springen op het onderwerp. De VPRO introduceert met het televisieprogramma Tegenlicht het onderwerp bij het grote publiek. Het programma blijkt een grote impact te hebben. Zelfs drie jaar na de uitzending wordt de internetsite nog druk bezocht. Radio 1 volgt met het radioprogramma de Ochtenden. Verschillende actoren uit de waterstofwereld discussiëren voor het eerst openlijk over een Nederlandse waterstofeconomie. Voor het eerst worden de verschillende (nationale) verwachtingslijnen voorgelegd aan het publiek. Wat is nu de stand van Nederlandse ontwikkelingen betreffende waterstoftechnologie? Wat voor initiatieven worden er ontplooid op het gebied van waterstof-

---

<sup>43</sup> Overtollige elektriciteit gebruiken om water omhoog te pompen om later weer om te zetten naar elektriciteit, een bekend verschijnsel in het buitenland. Het sprekend voorbeeld hiervan is de waterkrachtcentrale bij Locarno, Zwitserland. De waterkrachtcentrale pompt 's nachts water omhoog in het stuwmeer wanneer de elektriciteitsprijs laag is en produceert elektriciteit overdag wanneer de elektriciteitsprijs hoog is.

<sup>44</sup> Op 16 juni 2003 wordt in Brussel een conferentie over energiewinning uit waterstof gehouden en dan wordt bekend gemaakt dat de EU het onderzoek naar een waterstofauto beperkt. Het budget voor Europees onderzoek naar energiewinning uit waterstof valt veel lager uit dan eerder was aangekondigd. De Commissie stelt 300 miljoen euro beschikbaar voor dergelijk onderzoek, 85% minder dan de 2 miljard euro die Commissievoorzitter Romano Prodi had toezegt. Onderzoek naar energiewinning uit waterstof en door brandstofceltechnologie is onderdeel van een veel breder pakket aan onderzoeken geworden, waarvoor in totaal 2,1 miljard euro beschikbaar is. De onderzoeksgelden in Europa naar energiewinning uit waterstof blijft achter bij de VS en Japan. In de VS wordt voor een periode van vier jaar 1,2 miljard dollar beschikbaar gesteld en Japan werkt met een onderzoeksbudget van 240 miljoen dollar per jaar.

& brandstofceltechnologie in Nederland? Wie zijn er nu bij betrokken? Wie zijn daarbij betrokken geweest?

### **Ontwikkelingsgeschiedenis van de brandstofcel in Nederland**

De ontwikkeling van de brandstofcel in Nederland is begonnen dankzij actoren uit de aardgaswereld. Aardgas en waterstof hebben meer met elkaar gemeen dan op het eerste gezicht lijkt. Tijdens de tweede oliecrisis van 1979 is besloten om aardgas efficiënter te benutten. De brandstofcel valt al gauw op vanwege de verwachte prestaties. Tot voor deze periode was in Nederland veel onderzoek verricht voornamelijk aan de MCFC.<sup>45</sup>

In mei 1983 richtten universiteiten, bedrijfsleven en ministerie van Economische Zaken (EZ) de Werkgroep Brandstofcellen (WGBC) op. Deze werkgroep besloot om slechts de MCFC (en niet de AFC en PEMFC varianten van de brandstofcel) verder te ontwikkelen.<sup>46</sup> Daarvoor werd 22 miljoen gulden subsidie (ca. €10 miljoen) beschikbaar gesteld. De keuze werd gemotiveerd door het feit dat de MCFC het minst ver ontwikkeld was van de drie in beschouwing genomen typen. Zodoende zouden de kansen voor de Nederlandse inspanning het grootst zijn, aldus de WGBC.<sup>47</sup> Daarbij is de type theoretisch uitstekend regelbaar en milieuvriendelijk. Door deze stap kunnen alle schaarse middelen geconcentreerd worden besteed, wat logischerwijs tot meer succes zou kan leiden. Deze keuze heeft alle kenmerken van strategisch positioneren (next-generation argument van Schaeffer, 2003).

Het energie-onderzoekscentrum Nederland (ECN) wordt verkozen boven TNO als locatie om het nationale brandstofcellenprogramma uit te voeren. Dit is vreemd aangezien TNO al ervaring met de MCFC had opgedaan in 1969. Die keuze had mede te maken met het feit dat de basis van ECN, toentertijd Reactoronderzoekscentrum Nederland (RCN) werd bedreigd na de 'Three Mile Island' ramp (1979) en later Tsjernobyl (1986).<sup>48</sup>

In 1985 was ECN het zorgenkindje van het ministerie van EZ aangezien het zich moest omvormen van reactorcentrum (RCN) tot een algemeen energie-onderzoekscentrum. De kennis om de MCFC verder te ontwikkelen wordt in de VS ingekocht bij het Institute of Gas Technology (IGT). IGT had de kennis overgenomen van TNO toen TNO in 1969 het onderzoeksprogramma van de MCFC stop zette en alle patentrechten verkocht. Dit leidde in 1986 tot de oprichting van het Nationaal Onderzoeksprogramma Brandstofcellen (NOB).

Het brandstofcellenprogramma geniet van een positief politiek klimaat, dankzij het verschijnen van het VN-rapport 'Our common future', beter bekend als het Brundtland-rapport en men is in de veronderstelling dat een technologische doorbraak dichtbij is. Dit werd mede veroorzaakt doordat IGT een dochteronderneming in het leven had geroepen om de MCFC technologie te commercialiseren, genaamd MC Power. Achteraf bleek dat het beeld en de daaraan gekoppelde verwachtingen die de Amerikanen schiepen te rooskleurig was. MC Power werd in 2000 geliquideerd.<sup>49</sup>

In 1991 wordt door het Brandstofcellen Nederland (VOF BCN) een voorstel gedaan voor een 'Proof of Concept' van de MCFC, dat op 90 miljoen gulden wordt gebudgetteerd. VOF BCN is een joint venture van Stork N.V., Koninklijke Schelde Groep B.V. en ECN om de MCFC te commercialiseren. De doelstelling is inzicht te verkrijgen in de haalbaarheid van industriële

<sup>45</sup> Met name door de hoogleraren in Electrochemie: G.H.J. Broers en J.A.A. Ketelaars

<sup>46</sup> De uitgang FC staat voor Fuel Cell, waarbij het voorvoegsel het type aanduidt.

<sup>47</sup> Voor meer informatie over verwachtingen en ontwikkelingen rondom het WGBC zie: "Een Gedurfd Bod, Nederland zet in op de brandstofcel" D. van der Hoeven. 2001

<sup>48</sup> ECN, 50 jaar bestaat, door de jaren heen

<sup>49</sup> Bron: "Een Gedurfd Bod, Nederland zet in op de brandstofcel" D. van der Hoeven. 2001

commercialisatie van het ontwerp. Uiteindelijk blijkt ECN continu de kosten van het project voor te moeten schieten en de partners kibbelen over de eigendomsrechten van de verworven kennis. Financiering en eigendomsrechten van kennis zijn al snel een probleem voor het continueren van het project, maar het project loopt eerder vast op technologische hindernissen. De opschaling van een brandstofcel van twee kilowatt naar tien kilowatt blijkt aanzienlijk moeilijker dan verwacht.

Rond de brandstofcel, de 'stack', staat veel randapparatuur. Deze zorgt voor essentiële taken als geleiding en omvorming van de opgewekte elektrische stroom. Deze randapparatuur wordt 'balance of plant' genoemd. Juist deze randapparatuur, de kosten en de omvang ervan vormt het grootste probleem bij de opschaling naar tien kilowatt.

**K. van der Klein, directeur ECN** (citaat uit: "Een Gedurfd Bod, Nederland zet in op de brandstofcel" D. van der Hoeven. 2001):

*"We hadden veel nagedacht over de brandstofcel zelf, maar weinig over de rest. Deze 'balance of plant' bleek tweemaal zo duur als begroot. Daarbij bleek het rendement van het totale systeem tegen te vallen, hooguit 40%."*

Dit komt doordat men zich slechts geconcentreerd heeft op de ontwikkeling van de brandstofcel en niet op de randapparatuur. Kortom een voorbeeld van suboptimalisatie. In de loop van 1993 kwam men tot de conclusie dat deze technologische ontwikkelingslijn niet tot een commercieel product kan en zal leiden. Al snel werd het gehele brandstofcellenprogramma daarna stop gezet.

Uit een geheel onverwachte hoek komt het besluit van de Provinciale Gelderse Elektriciteits Maatschappij (PGEM), toentertijd energiemaatschappij voor Gelderland en Flevoland, later NUON, om begin 1995 samen met het Deense Elsam een demonstratieproject te starten voor de SOFC (Solid Oxide Fuel Cell). Eén van de afgewezen typen brandstofcellen door het Brandstofcellenprogramma Nederland. De SOFC voor het demonstratieproject heeft een verwacht rendement van 50 tot 60% en een restwarmtetemperatuur van 800°C. Deze warmte wordt geleverd aan het stadsverwarmingssysteem van Duiven en Westervoort. Het betreft een installatie met een vermogen van 100 kW, dat daarmee de grootste eenheid van dit type toentertijd ter wereld was.

Na een succesvol project wordt deze SOFC brandstofcelenergiecentrale eind 2000 stil gezet.<sup>50</sup> De SOFC brandstofcel heeft in die periode zonder veel problemen gewerkt. In totaal is de brandstofcel 16.612 uur, twee keer zo veel als de prognose in bedrijf geweest sinds de start van het project in december 1997.<sup>51</sup>

<sup>50</sup> Het demonstratieproject is louter gestopt omdat de contractueel afgesproken termijn was afgelopen. De projectdeelnemers, de Nederlandse energiebedrijven Eneco, Essent, Nuon, de federatie EnergieNed en het Deense elektriciteitsproductiebedrijf Elsam, zijn tevreden over het verloop van het demonstratieproject. Aan de financiering van het project is verder bijgedragen door Novem (Agentschap van de Ministerie van EZ) en het Department of Energy van de Verenigde Staten. Alle projectdeelnemers hebben ervaring op kunnen doen met brandstofcellen om zo te kunnen beoordelen welke rol brandstofcellen in de toekomstige energievoorziening kunnen spelen. Toch zijn de projectdeelnemers van mening dat vooral Siemens het meeste voordeel bij het project heeft gehad en de kennis heeft vercommercialiseerd. Bron: "Demonstratieproject SOFC-brandstofcel afgesloten" Nieuwsbank, interactief Nederlands persbureau 12-02-2001 & "De vruchten van Westervoort. Praktijkproef brandstofcel dient hoger belang", Roggen, M. Uit het tijdschrift: Energietechniek v. 79(5) p. 254-257 (mei 2001).

<sup>51</sup> Siemens zal in 2005 bekend maken dat ze de SOFC brandstofcellen verkoopt aan verschillende marines (o.a. Italië, Griekenland en Duitsland) voor het gebruik als geluidloze voortstuwingssysteem in onderzeeboten (bron: interview Remko Knol van Siemens).

Door het demonstratieproject van Provinciale Gelderse Elektriciteits Maatschappij (PGEM) wordt het Nationale Onderzoeksprogramma (niet verwarren met VOF Brandstofcellen Nederland) rond 1995 nieuw leven ingeblazen om alsnog een commercieel product te fabriceren. Dit keer gaat het om een volledig systeem en niet alleen goed werkende componenten. Maar wanneer de kosten worden berekend van het produceren van het ontwerp is het resultaat ontmoedigend. Zelfs bij massaproductie van het ontwerp blijkt het nog twee keer duurder te zijn dan concurrerende al bestaande technologieën zoals het type van het demonstratieproject. De MCFC kan niet met elektriciteit uit het elektriciteitsnet concurreren en zeker niet met concurrerende technologieën. Een verdubbeling van de levensduur van de brandstofcel, een sterke stijging van brandstofprijzen of een verbod op schadelijke emissies had het project misschien tot een commercieel succes kunnen maken. Maar in deze periode is dit niet het geval. Wederom wordt het project in 1998 stil gelegd, dit keer voorgoed. Het ministerie van Economische Zaken trekt zich geheel terug uit het project omdat het geen toekomst ziet in de MCFC. Het wordt duidelijk dat de MCFC-technologie achterhaald is en de SOFC- en PEMFC-technologie betere resultaten boeken met rendement en kostprijs.

Dat de PEM technologie het meest succesvol is, wordt bevestigd wanneer eind 1998 NedStack wordt opgericht door enkele medewerkers van AkzoNobel. Sinds 1989 werkt AkzoNobel aan de ontwikkeling van de PEM brandstofcel. Echter, negen jaar later eind 1998 zit AkzoNobel in een overnamefase en heeft geen tijd en financiële middelen om haar PEMFC-brandstofcelprogramma voort te zetten. E. Middelman, projectleider van de PEMFC, besluit om zelfstandig door te gaan met de technologie. Met steun van AkzoNobel wordt NedStack opricht om zich op de ontwikkeling en productie van PEM-brandstofcellen te storten. Op dit moment is NedStack de enige brandstofcellenproducent in Nederland.

### **Verenigingen en platformen**

Ondertussen hebben verschillende actoren in Nederland, die zich bezighouden met waterstof en waterstoftechnologie zich verenigd in de Nederlandse Waterstof en Brandstofcellenvereniging (NWV). In juli 2002 werd de branchevereniging opgericht, in opdracht van SenterNovem. De NWV dient als forum voor het uitwisselen van kennis en informatie tussen actoren en is daardoor de netwerkorganisatie in Nederland op het gebied van waterstoftechnologie. De vereniging functioneert als centraal aanspreekpunt voor kennis en expertise op het gebied van waterstoftechnologie in Nederland voor universiteiten, kennisinstututen en bedrijven. Door het ontwikkelen en uitdragen van een strategische visie over de rol van waterstoftechnologie in de Nederlandse energiehuishouding hoopt de NWV een waterstofeconomie van de grond te krijgen. Met het oprichten van de waterstofvereniging worden de eerste stappen gezet richting een gecoördineerde aanpak naar een waterstofeconomie. Door regelmatig samen te komen op conferenties wordt informatie uitgewisseld over mogelijke ontwikkelingstrajecten.



In de woorden van E. de Nie, voorzitter van de NWV (citaat uit de Ochtenden 2003, VPRO radio):

*“Wat wij (de waterstofvereniging) toevoegen is dat iedereen voor zichzelf zit te werken en dan praten wij natuurlijk altijd graag over Shell, groot bedrijf, maar er zijn ook een heleboel kleine bedrijfjes, nieuwe bedrijfjes die nieuwe apparaten maken voor waterstof, van 10 man, 15 man, en er blijkt dus een grote behoefte te zijn om elkaar te spreken. En dat helpt omdat als onderzoekers met elkaar spreken, dat hebben wij nu ook gezien in de vereniging, dan leren ze van elkaars onderzoek. Je ziet ze meteen bij elkaar kruipen en daar wordt het onderzoek beter van. De waterstofvereniging is een ideale instantie waar onderzoekers elkaar ontmoeten zodat ze niet allebei tegelijkertijd een wiel gaan lopen uitvinden.”*

Niet alleen op nationaal maar ook op Europees niveau lijken actoren zich te organiseren, ondanks de tegenvallende Europese investeringen.<sup>52</sup> In juni 2003 publiceerde en presenteerde een groep belanghebbenden en deskundigen op het vlak van waterstof en brandstofceltechnologieën in Europa, de zogenaamde “high-level group”, haar visieverslag. Deze groep is aangesteld door de Europese Commissie en bestaat, naast Commissaris van Energie en Transport Loyola de Palacio en Commissaris van Onderzoek Philippe Busquin, uit negentien prominente stakeholders, voornamelijk uit de industrie.<sup>53</sup>

De belangrijkste doelstelling van dit verslag bestond uit een visie van de rol die waterstof en brandstofcellen zouden kunnen spelen in de komende 20 tot 30 jaar. In het rapport wordt aanbevolen een technologieplatform op te richten voor energiewinning uit waterstof en brandstofceltechnologie.<sup>54</sup> Dat platform zou de basis moeten vormen voor een debat over de toekomst van energie in Europa tussen Europese overheden en bedrijven. Ontwikkeling van waterstoftechnologie zou ook de afhankelijkheid van de EU van de olie-import moeten verminderen. Volgens de commissaris van Energie en Transport Loyola de Palacio is de doelstelling in 2020 twintig procent van de auto's op nieuwe energiebronnen te laten rijden.

Het Europese Waterstof- en Brandstofcel Technologie Platform (Hydrogen and Fuelcell Platform, HFP) werd op 10 oktober 2002 opgericht. Leden van het platform zijn praktisch alle grote Europese autofabrikanten, Europese en internationale energieleveranciers en alle grote

<sup>52</sup> De belofte van twee miljard euro werd later teruggetrokken, althans de twee miljard euro werd verdeeld tussen de ontwikkeling van allerlei duurzame technologieën en niet alleen voor de ontwikkeling van waterstoftechnologie. Dit is niet in goede aarde is gevallen binnen de waterstofwereld.

<sup>53</sup> Naast het parlementslid van IJsland vallen onder de stakeholders o.a. de volgende ondernemingen: Siemens-Westinghouse, Ballard Power Systems, Rolls-Royce, Air Liquide, Vandenborre Technologies, Renault, Daimler-Chrysler, Shell en Norsk Hydro.

<sup>54</sup> Europese technologieplatforms bestaan op initiatief van de Europese Commissie. Het platform heeft tot doel het samenvoegen van initiatieven en het zoeken naar hiaten en fragmentatie bij een technologie ontwikkeling. Hierdoor zal de concurrentiepositie worden versterkt van Europa (een doelstelling uit het verdrag van Lissabon) en een bijdrage leveren aan het toenemen van wetenschappelijk onderzoek. Een technologieplatform wordt in drie fasen opgericht:

Fase 1: Relevante actoren samen laten komen

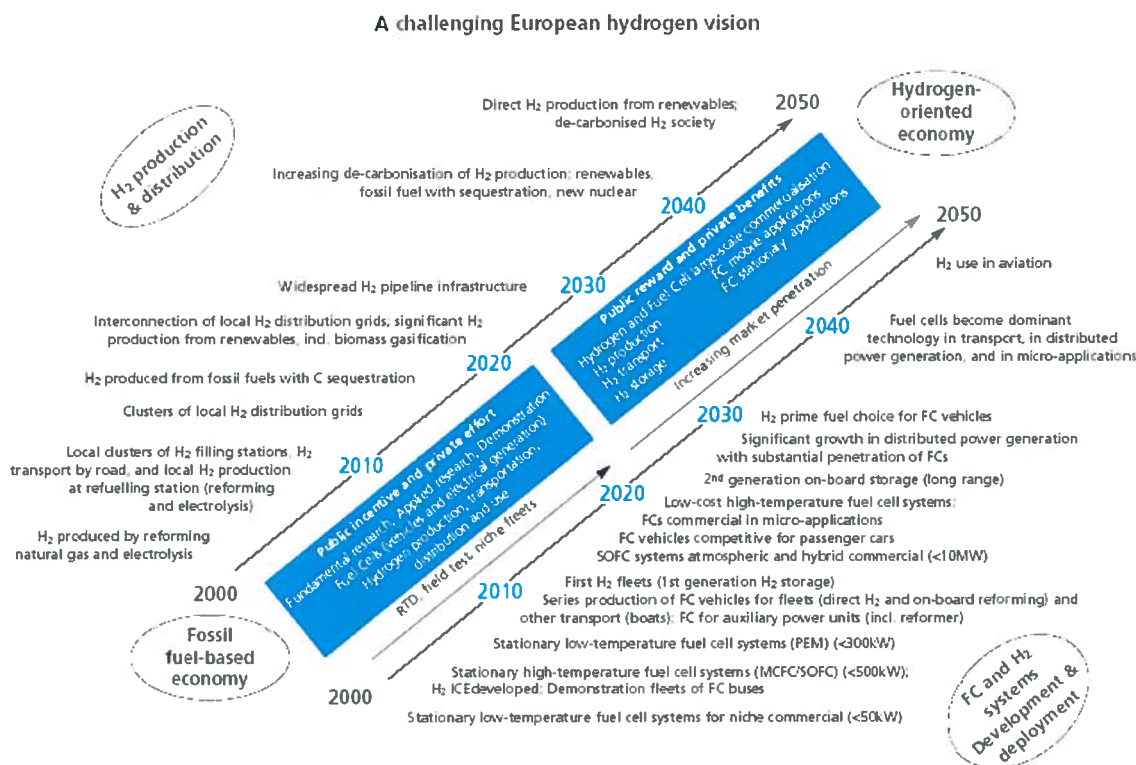
Fase 2: Relevante actoren stellen een strategische onderzoeksagenda op

Fase 3: Relevante actoren voeren de strategische onderzoeksagenda uit

Door de wijze waarop het platform is gestructureerd is de Europese Commissie niet gebonden aan de visie van het technologieplatform. De Europese Commissie is tevens niet de eigenaar van of stuurt niet het technologieplatform aan. De Europese Commissie faciliteert het platform slechts door middel van het verstrekken van subsidiebudgetten. Hierdoor wordt een ‘bottom-up approach’ nagestreefd (bron: [www.cordis.lu/technology-platforms](http://www.cordis.lu/technology-platforms))

Europese onderzoeksinstituten.<sup>55</sup> Het platform heeft de ambitie om een complete Europese waterstofeconomie in 2050 te realiseren. Hiervoor heeft ze een stappenplan opgesteld met duidelijke doelstellingen. Om die ambitie te realiseren omvat het platform alle door de EU-gefinancierde activiteiten op het vlak van waterstoftechnologie en brandstofcellen, waaronder alle nationale, regionale en lokale projecten en initiatieven. Op deze wijze zou de (op dit moment) versnipperde R&D-inspanning efficiënt en effectief kunnen worden geïntegreerd. Het HFP wordt aangestuurd door een Advisory Council, deze zorgt ervoor dat de activiteiten van het HFP coherent zijn met het beleid uitgestippeld door de EU.

Het HFP stelt zich voor een door waterstof gedomineerde energievoorziening in 2050. Hoe en waardoor deze waterstof wordt opgewekt, opgeslagen, getransporteerd en toegepast staat geheel open. Slechts een aantal concrete doelstellingen wordt nagestreefd. Door het invoeren van een ontwikkelingspad is het ook duidelijk wat de volgende stappen zouden moeten zijn naar een waterstofeconomie, zie figuur 20.



**Figuur 20: Doelstellingen en streefdata voor een volledige EU waterstofeconomie in 2050**

<sup>55</sup> De organisatie van het HFP wordt voornamelijk gevormd door grote bedrijven en onderzoeksinstituten uit de aardgaswereld, o.a. Shell, ECN, GasUnie en de industriegroep uit het waterstofwereld, te denken valt aan NedStack, Ballard Power Systems AG, AirProducts en Air Liquide. Ook zijn de grote Europese multinational industrieën vertegenwoordigd, zoals BMW, Daimler en RollsRoyce.

## **De industriële cluster en de industriële gasleveranciers**

Sinds 1998 is NedStack, als spin-off van AKZO actief in brandstofcellen. In 2005 telt het bedrijf twintig medewerkers en levert brandstofcellen en onderdelen voor brandstofcellen over de gehele wereld. De huidige ontwikkeling van PEM-brandstofcellen richt zich op het verlengen van de levensduur en het verminderen van exotische materialen zoals platina. Hierdoor halveert de kostprijs van de brandstofcel elk jaar. Deze trend heeft NedStack de afgelopen vijf jaar volgehouden en ze verwacht dezelfde trend de komende vijf jaar door te zetten. De verwachting is dat rond 2010 een kostprijs is bereikt, waarbij brandstofcellen concurrerend worden in toepassingen met geavanceerde accu's of batterijen.<sup>56</sup> De huidige brandstofcel kost ongeveer 1000 euro per kW. Tevens wordt de brandstofcel gereedgemaakt voor massaproductie, van twintig stacks in 2005 naar tweeduizend in 2006. NedStack is in Europa marktleider op het gebied van grote brandstofcellen stacks.

Het grootste project waar NedStack nu aan werkt is een vijftig megawatt energiecentrale op brandstofcellen naast de AkzoNobel-fabriek in de Botlek. In de centrale in de Botlek worden uiteindelijk tweeduizend stacks geplaatst, die een piekvermogen van tweehonderd megawatt moeten kunnen leveren. "Meestal zal dat vijftig megawatt zijn", zegt E. Middelman, directeur NedStack. "Dat is ongeveer net zo veel stroom als de kerncentrale in Dodewaard leverde. De stad Arnhem gebruikt ongeveer twee keer dat vermogen." De verwachting is dat in 2010 de centrale gereed is. De brandstofcellenenergiecentrale gebruikt het waterstofgas dat vrijkomt bij het productieproces van Akzo als input voor de energiecentrale. Begin 2007 zijn de eerste brandstofcellen operationeel geworden. Deze energiecentrale zal de grootste PEMFC-brandstofcellenenergiecentrale in de wereld worden.

Rondom NedStack hebben zich een aantal bedrijven verenigd in een zogenaamde industriële cluster. Samen met Hexion en Adjuvant hebben ze het initiatief genomen om een nationaal industriële waterstofcluster op te richten. Hexion is in 2002 gestart met het ontwikkelen en produceren van waterstofgeneratoren en opslagvaten. Adjuvant neemt het organisatorische, bestuurlijke en faciliterende deel van het samenwerkingsverband voor zijn rekening neemt. Hydrogen Network Enterprise (H2NE), zoals het industriële cluster genoemd wordt, heeft als doelstelling om de stimulerende en structurerende kracht te zijn voor de innovatie, fabricage en levering van systemen, apparaten en componenten voor de nieuwe waterstofeconomie. Het principe van een industriële waterstofcluster is geen nieuw fenomeen. In Duitsland zijn meerdere industriële waterstofsamenwerkingsverbanden. H2NE is wel uniek voor Nederland.

Hydrogen Network Enterprise (H2NE) wordt ondersteund door de gemeente Arnhem, de provincie Gelderland, de Europese Unie en de Stichting Arnhems Ondernemingscentrum AOC. Arnhem wil als eerste gemeente in Nederland overgaan op het gebruik van waterstof. Samen met de Sterke Houtman, een bewonersvereniging probeert de gemeente de eerste wijk in Nederland op waterstof te realiseren. Bovendien zijn er initiatieven om een waterstoftrolleybus te ontwikkelen. Er zijn ook verschillende hogescholen betrokken bij H2NE, aangezien een waterstofeconomie niet kan zonder in de waterstoftechniek opgeleide mensen.

---

<sup>56</sup> Stationair moet de brandstofcel (in stationaire toepassingen SOFC) concurrerend worden met ofwel dieselgeneratoren of andere energieopwekkende technologieën. Batterijen en accu's zijn relatief duur per energiedichtheid waardoor waterstoftechnologie eerder met deze technologieën kan concurreren dan bijvoorbeeld met dieselgeneratoren. Daarbij is de PEM brandstofcel geschikt voor mobiele toepassingen en niet zozeer stationaire toepassingen.

Het H2NE geeft een beeld hoe relatief kleine innovatieve ondernemers samenwerken om een kans te benutten om een marktaandeel te bemachtigen in een mogelijk opkomende waterstofmarkt. Juist door het samenwerken staan de verschillende ondernemingen sterker en hebben ze voordeel van kennisoverdracht en kennisgeneratie.<sup>57</sup>

Een andere bedrijfstak die profiteert van de groeiende belangstelling in waterstof zijn de industriële gasleveranciers. Deze groep van producenten van industriële gassen realiseert de dagelijkse omzet uit het produceren en verhandelen van onder andere waterstofgas. Tot deze groep behoren bedrijven zoals Linde Gas, Air Liquide, Air Products en Hoek Loos. Grote afnemers zijn de staal-, glas- en hightech electronicabedrijven, maar ook de voedingsmiddelenindustrie die waterstof gebruikt om bepaalde onverzadigde oliën en vetten te hydrogeneren of harden. De industriële gassenmarkt is goed voor een omzet van 550 miljard kubieke meter waterstof per jaar wereldwijd, met een verwachte groei van de markt van 12% per jaar. Air Liquide heeft bijvoorbeeld over 1200km aan pijpleidingen liggen die waterstof leveren aan diverse klanten in Antwerpen, Rotterdam, het Rijn- en Ruhrgebied, de Golf van Mexico en de westkust van Amerika. De grootste fabrieken in Bayport (USA) en Antwerpen produceren elk meer dan 100.000 m<sup>3</sup> waterstof per uur door middel van stoomraffinage.<sup>58</sup>

Deze groep ziet de opkomende vraag naar waterstof en alle economische kansen die daaraan verbonden zijn. Zij hebben kennis van productie, opslag, omgang en veiligheid betreffende het waterstofgas. Deze unieke positie heeft ertoe geleid dat deze groep bedrijven in ongeveer alle commissies of overlegplatformen aanwezig zijn waar sprake is van waterstof.

Commissies zoals, de nationale strategiegroep voor de energietransitie en de Europese Hydrogen Technologie Platform.<sup>59</sup> Behalve het op de voet volgen van alle activiteiten op waterstofgebied, zijn deze groep actoren ook actief bezig met projecten zoals het van kennis en kunde aan het CUTE-project (de waterstofbus in Amsterdam) door Hoek Loos.

Een ander project dat HoekLoos uitgevoerd is om een bejaardenhuis in Groningen van warmte en elektriciteit te voorzien door middel van waterstof en een brandstofcel. Het project werd gestaakt toen er geen geïnteresseerden werden gevonden om een brandstofcel te leveren aan het project. Om de kosten van de brandstofcel zelf te financieren was voor Hoek Loos geen optie. Hoek Loos vond dat brandstofcellentechnologie te ver van hun kernactiviteit van waterstof leveren lag. Dat dit geen uitzondering is bewijzen de waterstofprototypen die deze groep ontwikkelt, zoals het prototype van een tankstation van LindeGas. Elk prototype ontwikkeld door deze groep actoren beperkt zich tot het leveren of opslaan van waterstofgas en niet het omzetten van waterstof in energie. Door gevestigde belangen en de mogelijke te lopen risico lijkt het concentreren op de kerncompetenties een stelregel binnen deze groep actoren.

---

<sup>57</sup> Uit een voorlopige uitkomst van HyWays, een Europees onderzoek naar deze industrie en de kansen voor Europese landen bij een opkomende waterstofeconomie, komt naar voren dat Nederland in het meest pessimistische scenario een verlies van 18.000 arbeidsplaatsen en in het meest optimistische scenario een winst kan hebben van 19.000 arbeidsplaatsen. Industrieën die zullen lijden onder de waterstofeconomie zijn voornamelijk motorvoertuigen en retail & detailhandsdiensten. Aan de andere kant wordt een groei verwacht in de volgende sectoren: rubber en plastic, metalen onderdelen, apparaten en machines, waterstofproductie en elektrische apparaten.

<sup>58</sup> Voor uitleg over stoomraffinage, zie hoofdstuk 5.2.

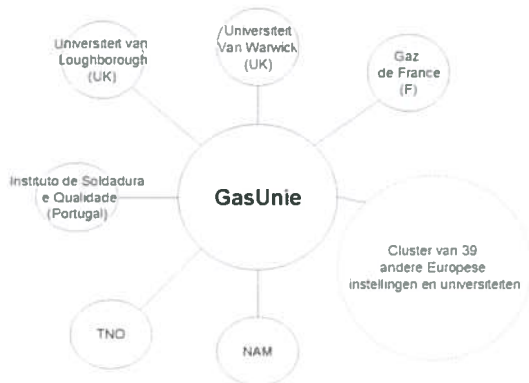
<sup>59</sup> Voorbeelden zijn: 3<sup>de</sup> en 4<sup>de</sup> Nederlandse waterstof conferentie, VU-project naar 10 toekomstbeelden over waterstof, Conferentie SMO "Commercialisering van het waterstofideaal". Op Europees niveau zijn vooral Linde Gas (de overkoepelde organisatie van Hoek Loos) en Air Liquide actief. Deze actoren verschijnen op ongeveer alle conferenties over waterstof. Ze zijn vaak dagvoorzitter of geven een presentatie. Voorbeelden: directeur van HoekLoos was dagvoorzitter op de 3<sup>de</sup> Nederlandse waterstof conferentie 23 november 2004, Air Liquide gaf een presentatie op de European Hydrogen Energy Conference 2-5 september 2003.

## Onderzoeksproject: waterstof door aardgasleidingen

Waterstofontwikkelingen worden niet louter vanuit nieuwe, kleine en innovatieve bedrijven gestuurd. Actoren uit de aardgaswereld nemen een leidende maatschappelijke positie in waterstoftechnologie ontwikkelingen. Voorbeelden hiervan zijn; voorzitter van het Europees Hydrogen Technologie Platform (Shell in 2004) of financiers van onderzoek naar waterstof, o.a. GasUnie en Shell bij NWO-ACTS.

In Nederland is de GasUnie geïnteresseerd in waterstof. GasUnie onderzoekt in Europees verband de mogelijkheid om waterstofgas door de aardgasleidingen te kunnen transporteren, althans dat is het einddoel. Voorlopig onderzoekt de GasUnie de mogelijkheid om een grotere hoeveelheid waterstofgas met het aardgas te mengen dan nu het geval is. De reden daarvoor is dat op deze wijze de gedragingen van procentuele waterstofgas- en aardgascombinaties bestudeerd kunnen worden. Het is de GasUnie reeds bekend dat waterstofgas metalen pijpleidingen snel doet roesten. Het hierboven beschreven onderzoek wordt het NATURALHY-project genoemd. Het project analyseert hoe de bestaande gasinfrastructuur zo effectiever kan worden benut. Aangezien de eigenschappen van aardgas en waterstof sterk verschillen, richt het onderzoek zich op veiligheid van transport, vervoer en gebruik.<sup>60</sup>

Het ligt in de bedoeling op de lange termijn, enkele tientallen jaren, aardgas als energiebron door waterstof te vervangen. Dit is de verwachting ECN en GasUnie. Het NATURALHY-onderzoek zal vijf jaar duren en heeft een budget van €17 miljoen. Aan het onderzoek nemen negenendertig Europese instellingen deel, waaronder gasmaatschappijen, onderzoeksbureaus en universiteiten, zie onderstaande figuur. Vanuit Nederland zijn TNO, Shell Hydrogen en NEN erbij betrokken.



**Figuur 21: NATURALHY-project structuur**

Het NATURALHY-initiatief ligt in het verlengde van het manifest Duurzaam Gasinzet, getekend door alle gas- en energiebedrijven. Het noorden van Nederland wil, waar de aardgasvelden liggen, zich verder ontwikkelen als toonaangevende energieregio, een 'energy valley'.

Volgens ECN past het NATURALHY-project ook in een breder Europese context. ECN neemt waar dat Europese landen kennis en onderzoek specifiek richten op nationale (gebruik van) energiebronnen, zo ook met waterstofkennis en waterstofontwikkelingen. Zo heeft Frankrijk veel kennis en ervaring op het gebied van kernenergie. Franse waterstofontwikkelingen zijn sterk gekoppeld aan kernenergie. Duitsland heeft aan de andere kant veel kennis en ervaring met steenkool en windenergie. Duitse onderzoek richt zich veelal op de 'schone' vergassing van steenkool om waterstof te kunnen produceren en het koppelen

<sup>60</sup> Dat juist deze aspecten belangrijk worden bevonden in de aardgaswereld wordt uitgewerkt in hoofdstuk 3.1

van waterstof aan windenergie. ECN realiseert dat Nederland een unieke positie in Europa heeft dankzij haar natuurlijke aardgasbronnen. Zodoende is ECN van mening dat Nederland zich moet specialiseren op de koppeling tussen aardgas en waterstof.<sup>61</sup> Daardoor versterkt Nederland haar identiteit als aardgasland (strategisch positioneren, Schaeffer).

### **Onderzoeksproject: waterstof uit biomassa**

In Nederland is in de afgelopen vijf jaar naar schatting acht miljoen euro geïnvesteerd in het vergassen van biomassa in superkritiek water.<sup>62</sup> Nederland heeft daarmee internationaal een sterke kennispositie opgebouwd. Nederlands onderzoek naar het vergassen van biomassa onderscheidt zich internationaal door zich bezig te houden met het totale proces.<sup>63</sup>

In het kader van het Novem-programma Nieuw Energie Onderzoek (NEO) is een onderzoek uitgevoerd naar de status en het toekomstperspectief van het energieonderzoekgebied: vergassing van biomassa in superkritiek water. Het rapport is geschreven door BTG en SPARQLE met medewerking en bijdragen van Universiteit Twente, ECN en TNO-MEP (gepubliceerd april 2005).

J. Penninger, oud medewerker uit de kolenindustrie is sinds het begin van het Ecologie, Economie en Technologie (EET) subsidie programma (1996) al bezig door middel van superkritiek water biomassa in brandbare gassen om te zetten. Biomassa wordt beschouwd als zeer jonge steenkool waarbij het als het onder hoge druk in aanraking komt met stoom vergast, net als steenkool. De eerste experimenten met dit principe werden uitgevoerd bij wijnboeren in Frankrijk.

#### **Interview: J. Penninger, directeur SPARQLE**

*“Van de natte biomassa uit de wijngaarden probeerden we toentertijd een brandbaar gas te produceren (red. Winegas-programma). Het principe werkte maar het proces kon niet continue worden doorgevoerd. Elke keer moesten we de installatie schoonmaken, uitbikken wegens aangekoekte reststoffen.”*

SPARQLE heeft sindsdien een project samen met BTG en met een composteerbedrijf in Rotterdam gedaan om tuinafval van de glastuinbouwers in de Randstad om te zetten naar een brandbaar gas. Het composteerbedrijf voorzag het krimpen de composteringsmarkt in de toekomst en wenste van energiewinning haar nieuwe bedrijfsvoering te maken. De doelstelling van het project was dat de installatie economisch rendabel wordt en in de toekomst zonder subsidies. Toevalligerwijs was de samenstelling van het gas nogal waterstofrijk, waardoor SPARQLE en BTG konden aankloppen bij SenterNovem voor subsidie. De brandbare gassen kunnen zo gefilterd worden dat alleen methaan (synthetisch aardgas) eruit komt of alleen waterstof. Het eindresultaat is volledig afhankelijk van de klantvraag of in dit geval van de subsidieverstrekker. Sindsdien zijn SPARQLE en BTG aangemerkt als innovatieve onderzoeksbedrijven binnen de waterstofindustrie.

<sup>61</sup> bron: gehouden interview met K. van der Klein, directeur ECN

<sup>62</sup> Het superkritiek water vergassingsproces wordt uitgevoerd bij hoge druk (~300 bar), relatief milde temperatuur (400 – 700 °C) en richt zich vooral op de conversie van natte voedingen (typisch 70-95% water). Het is een alternatief voor voedingen die nu veelal via vergisting (deels) worden omgezet. In tegenstelling tot vergisting kan het SCW proces echter de volledige voeding omzetten (geen reststroom). Vanwege de procescondities wordt de biomassa/reststroom voornamelijk omgezet in methaan, waterstof en kooldioxide. Het product gas komt beschikbaar op hoge druk, zodat (kostbare) compressie meestal achterwege kan blijven. De CO<sub>2</sub> kan afgescheiden worden in geconcentreerde vorm. Dit biedt mogelijkheden voor hergebruik of permanente opslag (negatieve CO<sub>2</sub> emissie).

<sup>63</sup> Bron: SenterNovem internetsite

**Interview: J. Penninger, directeur SPARQLE**

*“de focus van SPARQLE is gericht op ontwikkelen van technologie voor de productie van waterstof en andere gassen, in het bijzonder uit natte biomassastromen, door conversie in superkritiek water. Maar als je me het een paar jaar geleden had gevraagd dan had de nadruk op brandbare gassen gelegen en niet zozeer waterstof.”*

Biomassa vergassen met behulp van superkritisch water is niet de gangbare methode volgens ECN. In februari 2004 meldt ECN dat ze geslaagd zijn een synthetisch aardgas te maken uit snippers van beukenhout. In tegenstelling tot het superkritieke water proces verloopt dit proces ten eerste niet met natte biomassa en worden niet zulke hoge druk en temperaturen gebruikt. Het ECN claimt daarmee een wereldprimeur te hebben gescoord. De technieken die SPARQLE en BTG gebruiken worden als ‘exotisch’ gezien door ECN. ECN geeft meer de voorkeur aan de traditionele en meer bekende methoden van vergassing. Dit verschil in werkwijze vormt een barrière tussen deze twee actoren waardoor samenwerking tussen de twee niet altijd even soepel verloopt.

**Onderzoeksproject: waterstof uit micro-organisme**

Waterstof uit biomassa kan niet alleen door vergassing maar ook door fermentatie van organische verbindingen door micro-organismen. Daarbij wordt de zonlicht rechtstreeks benut als energiebron door fotosynthetische bacteriën of algen. Biologische waterstof lijkt met name geschikt voor relatief kleinschalige, decentrale productiesystemen, geïntegreerd met bijvoorbeeld land- en tuinbouw activiteiten of afvalverwerking. Het netwerk van instanties die deze technologie onderzoeken, zijn verenigd in het Biohydrogen Platform. Biohydrogen houdt zich voornamelijk bezig met een verschillend aantal technieken, zoals verschillende soorten fermentatieprocessen, foto-bioreactors en proces intergratie. Met deze technieken worden verschillende projecten opgezet en uitgewerkt.

Het platform benadrukt dat de technologie het de winning van CO<sub>2</sub>-neutrale waterstof mogelijk maakt.<sup>64</sup> De groep beweert dat bij een inzet van 50% van de in Nederland beschikbare organische reststromen (totaal 5,3 miljoen ton/jaar) en met het toepassen van een brandstofcel met een rendement van 50% kunnen 600.000 huishoudens van elektriciteit worden voorzien.

Het Biohydrogen platform in Nederland richt zich volledig op de productie van waterstof uit biomassa. Het platform is opgericht door Novem. Reden om het platform op te richten komt van een wens en verwachting vanuit het Internationale Energie Association (IEA). In 2000 is door Novem het initiatief genomen om de deelname van Nederland mogelijk te maken aan de IEA Hydrogen Implementing Agreement Annex 15 gewijd aan Photobiological Hydrogen Production.<sup>65</sup> Deze annex is gericht op biologische waterstofproductie door micro-organismen. Deelname aan de internationale uitwisseling in IEA-verband geeft de mogelijkheid om op de hoogte te blijven van de actuele ontwikkelingen in internationaal onderzoek en de technologische ‘state-of-the-art’.<sup>66</sup>

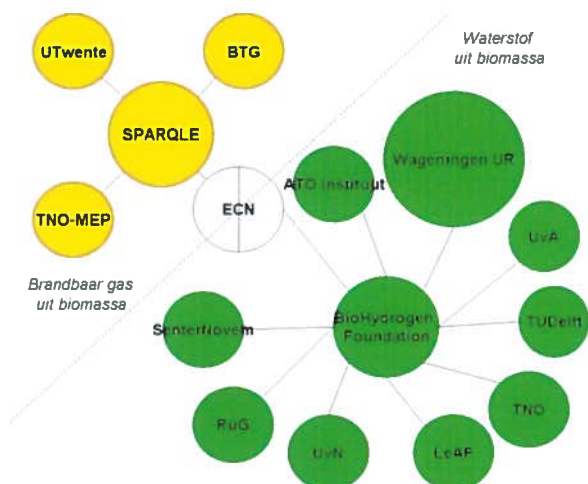
Opvallend is de grote groep actoren en de dichtheid van het netwerk waarin ze verkeren. Ze krijgen steun vanuit SenterNovem en de Europese Unie door middel van Raamwerk

<sup>64</sup> Rapport: Verkenningen van de mogelijkheden van een Nederlandse contactgroep biologische H<sub>2</sub>-productie. ECN 2002

<sup>65</sup> [www.eren.doe.gov/hydrogen/iea/iea\\_research.html](http://www.eren.doe.gov/hydrogen/iea/iea_research.html)

<sup>66</sup> Deelname aan IEA activiteiten is alleen mogelijk voor landen en niet voor individuele instituten, vandaar dat Novem deze taak op zich had genomen.

programma's (zogenaamde: *Framework Programs*). Het platform bestaat uit ongeveer alle grote onderzoeksinstanties die zich bezighouden met biomassa, zie onderstaande figuur. Een andere opvallend detail is dat de bovengenoemde groep dat superkritieke water ontwikkeld niet wordt genoemd en geen lid is van dit platform. De reden waarom dit zo is komt doordat het proces van superkritiek water een brandbaar gas oplevert, niet uitsluitend op gericht is om waterstof te genereren en geen gebruik maakt van fermentatie van biomassa (zie Schaeffer, strategische positioneren). Verder heeft het Biohydrogen platform de zeer specifieke doelstelling om de technologie te koppelen aan een brandstofcel en het zeker niet te benutten voor verbranding.



**Figuur 22:** Ondanks dat ECN in eerste instantie op gespannen voet stond met (de technologie van) SPARQLE vormt ECN tegenwoordig de scheidingslijn tussen de twee biomassa stromingen. Links van de lijn is de onderzoeksgroep die zich richt op natte biomassa en rechts van de lijn is droge biomassa de bron.

Waterstof uit biomassa kan worden geproduceerd in bepaalde typen bioreactoren, zoals in ontwikkeling bij TNO. De meeste vormen van deze wijze van waterstofproductie zijn nog in de ontwikkelingsfase. Opvallend is dat deze optie zich richt op de ontwikkeling van de brandstofcel. De reden daartoe komt doordat brandstofcellen die op methaan kunnen werken van een ander type zijn dan brandstofcellen die op pure waterstof werken (resp. SOFC vs PEMFC). Hierdoor ligt de economische toekomst van de verschillende processen vast aan de ontwikkeling van de brandstofcel in kwestie.

Bij het ontwikkelen van deze processen wordt uitsluitend gekeken naar droge biomassa stromen. Natte biomassa en reststromen zijn minder geschikt omdat het transport en het verwijderen van water uit deze stromen veel energie kost, waardoor de netto CO<sub>2</sub>-reductie beperkt of zelfs negatief is. Biohydrogen erkent wel dat de beschikbare hoeveelheid natte biomassa(rest)stromen en residuen zo groot is dat het de moeite waard is deze stromen in te zetten voor duurzame energieproductie.<sup>67</sup> Opmerkelijk feit binnen de gehele biomassa-stroming is de benodigde hoeveelheden biomassa niet in Nederland te verkrijgen is. Dit betekent dat biomassa geïmporteerd wordt. De verwachting is dan ook dat waterstof- of biogasproductiesystemen voornamelijk decentraal gevestigd worden met een beperkte schaalgrootte.<sup>68</sup>

<sup>67</sup> Bron: Bio-methaan en Bio-hydrogen, Status and perspectives of biological methane and hydrogen production Edited by J.H. Reith, R.H. Wijffels and H. Barten, 2003 *Dutch Biological Hydrogen Foundation* ISBN: 90-9017165-7

<sup>68</sup> Energiebalans: bij het verplaatsen van een energiebron wordt energie verbruikt. De totale energie wat een energiebron oplevert vergeleken met hoeveel energie het kost om de energiebron op de bestemming te krijgen,



### *Biologische waterstofproductie*

In de natuur wordt waterstof op grote schaal gebruikt als een mobiele drager voor energie van een organisme naar een ander. De biokatalysatoren om waterstof te produceren en te consumeren in deze organismen zijn enzymen met de naam *hydrogenasen*. Sinds 1979 wordt onderzoek gedaan naar deze hydrogenasen en de laatste tijd hebben 'spectaculaire' ontwikkelingen plaatsgevonden binnen het vakgebied, aldus het Biohydrogen Platform. De actieve centra uit hydrogenasen heeft dezelfde eigenschappen als de kostbare platina-katalysator uit brandstofcellen of wat wordt gebruikt voor elektrolyse. Het Biohydrogen Platform verwacht dat binnen afzienbare termijn, ongeveer 20 jaar deze platina-katalysatoren vervangen kunnen worden door katalysatoren op basis van de actieve centra uit hydrogenasen.<sup>69</sup>

Kortom deze optie om op directe wijze waterstof uit een natuurlijke proces te produceren behoort tot de lange termijn opties. De korte termijn doelstellingen voor deze optie liggen voornamelijk in het fundamenteel onderzoek. Begrip over de werking van hydrogenasen is essentieel voor de latere toepassing ervan.

## **5.6 Samenvatting**

De eigenschappen van waterstof en hoe deze kunnen worden toegepast zijn wetenschappelijk bekend. Pas sinds de afgelopen kwart eeuw zijn ontwikkelingen gaande om waterstof praktisch toepasbaar te maken. Knelpunten daarbij zijn: de economische productie van waterstof, de opslag van waterstof en de omzetting van waterstof door middel van een brandstofcel.

De productie van waterstof kan op velerlei wijze. Tegenwoordig is de meest economische wijze om waterstof te produceren, het meest milieu-onvriendelijkst, namelijk via stoomraffinage. Met stoomraffinage wordt waterstofgas geproduceerd uit aardgas. Deze techniek wordt op grote schaal toegepast door de industriële producenten van waterstofgas. Nadeel van dit proces is dat naast waterstofgas ook koolstofdioxide wordt geproduceerd. Kortom een bekend, betrouwbaar en economische wijze om waterstof te produceren.

Het op een praktische wijze opslaan van waterstofgas vormt de huidige wetenschappelijke uitdaging. Theoretisch is het mogelijk om waterstofgas op een aantal verschillende manieren op te slaan. De zoektocht naar een praktische wijze vormt de ruggengraat van het onderzoeksprogramma NWO-ACTS.

Wat duidelijk naar voren komt is dat waterstof uit allerlei energiebronnen kan worden gemaakt en dat waterstof op allerlei wijze kan worden opgeslagen. Dit maakt het mogelijk om op flexibele wijze energiesystemen in te richten. Dit is een volledig nieuw ontwerp-principe binnen de energiewereld.

---

vervolgens om te zetten naar energie wordt de energiebalans genoemd. Alleen energiebronnen met een positieve energiebalans, met andere woorden die meer energie leveren als ze kosten, zijn energetisch de moeite waard.

<sup>69</sup> Hoewel de structuur van een aantal katalytische sites in hydrogenasen inmiddels bekend is, is de logica erachter en het werkingsmechanisme nog volledig onbegrepen, zowel door biochemici als chemici. Verder is nog veel ontwikkeling nodig op het grensvlak van biochemie, chemie en materiaalkunde. Bijvoorbeeld voor de hechting van de katalysator aan het elektrodeoppervlak en de bescherming van de katalysator door omringing met stabiele organische verbinding. Deze verbinding kan tevens andere functies krijgen, zoals het tegenhouden van CO uit het toegevoerde gas.

De omzetting van waterstof in energie kan ook op een aantal verschillende wijzen. De meest in het oogspringende methode is de brandstofcel. De combinatie van waterstof met een brandstofcel kent een aantal unieke positieve eigenschappen die een groter voordeel kunnen bieden dan meer gebruikelijke technologieën, zoals de verbrandingsmotor. De voordelen van de brandstofcel in vergelijking met de verbrandingsmotor zijn: efficiënter, geruisloos, onderhoudsvriendelijk, zelfs onderhoudsvrij, en emissievrij, zuiver water niet meegerekend. Deze positieve eigenschappen maken dat de ontwikkeling van de brandstofcel van belang is voor de doorbraak van waterstof.

Deze voordelen van de brandstofcel waren voldoende om een nationaal onderzoeks- en ontwikkelingsprogramma begin jaren '80 op te richten. Het nationale brandstofcel ontwikkelingsprogramma vindt verrassend genoeg haar oorsprong in het meer efficiënter gebruik van aardgas. Sinds de keuze in 1983 van het ontwikkelingsprogramma om te investeren in de ontwikkeling van de MCFC, begint in Nederland brandstofceltechnologie werkelijk door te dringen. Pakweg 15 jaar later wordt duidelijk dat de MCFC-technologie achterhaald is. De SOFC en PEMFC blijken betere resultaten te boeken zowel met rendement als de kostprijs. Ondanks dat de Nederlandse overheid heeft geïnvesteerd in de ontwikkeling van het 'verkeerde' type brandstofcel, is daardoor wel het kenniscentrum ECN ontstaan. Het ECN zal uitgroeien tot Europees onderzoekscentrum op het gebied van waterstoftechnologie.

De Nederlandse commerciële wereld kent een ander verhaal wat betreft de ontwikkeling van de brandstofcel. Rond eind jaren '90 pakt AkzoNobel de ontwikkeling van de PEMFC op. Anno 2006 is NedStack, afgescheiden van AkzoNobel, Europees marktleider in de ontwikkeling en productie van brandstofcellen. Rondom het succes van NedStack scharen zich een aantal andere ondernemingen die zich richten op de productie, distributie en gebruik van waterstof. Het is de eerste Nederlandse industriële waterstofcluster. Daarmee loopt Nederland in pas met ontwikkelingen in andere Europese landen, waar industriële waterstofclusters als paddenstoelen uit de grond schieten.

Rond 2002 wordt het Nederlandse Waterstof en Brandstofcellenvereniging (NWV) opgericht. SenterNovem, agentschap van EZ had daartoe aangezet. De NWV is de enige overkoepelende organisatie in Nederland op het gebied van waterstoftechnologie en dient als zodoende als netwerk en als forum voor het uitwisselen van kennis en informatie. Met het oprichten van de waterstofvereniging worden de eerste stappen gezet richting een gecoördineerde aanpak vanuit de industrie, maar ook vanuit de wetenschap. Op Europees niveau vindt de oprichting plaats van de Hydrogen Technology Platform (HTP). Het platform omvat alle EU-gefinancierde activiteiten op het vlak van waterstof- en brandstofcellenonderzoek.

Een bestaande bedrijfstak dat profiteert van de opkomende belangstelling in waterstof zijn de industriële gasleveranciers. Deze groep van bestaande internationale waterstofproducenten realiseert hun dagelijkse omzet uit het produceren en verhandelen van waterstofgas. Tot deze groep behoren bedrijven zoals Linde Gas, Air Liquide, Air Products en Hoek Loos. Zij produceren waterstof voor industriële toepassingen. Deze groep ziet de opkomende vraag naar waterstof en alle economische kansen die hieraan verbonden zijn. Zij hebben kennis van productie, opslag, omgang en veiligheid betreffende het waterstofgas. Dit komt doordat ze verreweg de grootste producenten zijn van het gas. Door gevestigde belangen en de mogelijke te lopen risico lijkt het concentreren op de kerncompetenties een stelregel binnen deze groep actoren. Dit houdt in dat ze zich uitsluitend concentreren tot het leveren of opslaan van waterstofgas en niet met bijvoorbeeld brandstofceltechnologie.

De GasUnie is een ander grote nationale actor dat zich mengt in waterstoftechnologie. De GasUnie onderzoekt in Europees verband de mogelijkheid om waterstofgas door de aardgasleidingen te kunnen transporteren. Daarbij zijn vanuit Nederland TNO, Shell Hydrogen en NEN betrokken. Dit is een voorbeeld van een onderzoeksproject dat wordt uitgevoerd onder de vlag van het nationale onderzoeksprogramma NWO-ACTS. Andere onderzoeksthema's zijn bijvoorbeeld hoe uit natte of droge biomassa waterstof kan worden gemaakt.

Kortom waterstoftechnologie lijkt voet aan de grond te krijgen in Nederland. Verschillende instanties en ondernemingen ontlenen hun bestaansrecht aan waterstoftechnologie en de ontwikkeling ervan. Daarnaast zijn het een groep actoren die een unieke kijk hebben op de wijze waarop waterstoftechnologie moet worden toegepast en hoe deze moet worden ontwikkeld. Daardoor lijkt het alsof waterstoftechnologie zich los te maken van de bron waaruit ze is ontstaan, aardgas en het efficiënter gebruik ervan.



## 6. Transitie naar duurzaam

### 6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt beschreven in welk gezamenlijk socio-technisch landschap de verschillende werelden zich bevinden. Bij het beschrijven van het socio-technisch landschap wordt onderzocht welke factoren invloed hebben op de verhouding tussen de verschillende werelden. Bieden deze factoren juist kansen of creëren ze barrières voor de vorming van een waterstofeconomie? Wat voor invloed hebben deze kansen en barrières op de verwachtingen van actoren in het veld en in het bijzonder uit de waterstofwereld? Het zijn namelijk de actoren die de omslag moeten bewerkstelligen. Zij kunnen gebruik maken van de kansen en mogelijkheden die veranderingen in het socio-technisch landschap bieden. Tegelijkertijd moeten zij opboksen tegen de barrières die het socio-technisch landschap opwerpt.

#### Hype van duurzaamheid

Naast technologische ontwikkelingen, die in de vorige hoofdstukken zijn beschreven, zijn met name politieke veranderingen van invloed op de ontwikkeling van drie werelden van aardgas, duurzame energie en waterstof. In Nederland zijn deze veranderingen politieke maatregelen om een duurzame samenleving van de grond te krijgen. De wens voor een duurzame samenleving is gekoppeld aan het maatschappelijke duurzaamheidsstreven. Dat dit duurzaamheidsstreven, naast liberalisering, privatisering en decentralisering niet het leidende socio-technisch landschapsfactor is binnen het aardgaswereld tonen Verbong en Geels aan. Het is echter wel het thema dat de werelden van aardgas, duurzame energie en waterstof verbindt en het thema waarop ze met elkaar in concurrentie zijn. De winnaar van de zogenaamde 'race' zal de technologie worden, die de reguliere economische wetten van kostprijs, efficiëntie en effectiviteit weet te combineren met duurzaamheid. De oorsprong van de concurrentie om het meest duurzaam te zijn, komt voort uit het verdrag van Kyoto en de daaruit voortvloeiende maatregelen.

Duurzaamheid wordt tegenwoordig gerelateerd aan het Kyoto-verdrag (1997). Kyoto is niet zomaar uit de lucht komen vallen. Achterliggend aan de Kyoto-afspraken is o.a. het VN-rapport 'Our common future', beter bekend als het Brundtland-rapport (1987)<sup>70</sup> en het rapport van de club van Rome (1972).<sup>71</sup> Onder andere door deze rapporten is de maatschappij bewust geworden van dat het milieu gevaar loopt door het handelen van de mens. Om dit handelen te beperken, is besloten om afspraken te maken over de uitstoot van bepaalde milieugevaarlijke stoffen. Sinds deze afspraken, gemaakt in Kyoto en het opstellen van het Kyoto-protocol, (2001) lijkt het tij voor het milieu te keren.

---

<sup>70</sup> Het Brundtland-rapport, officiële titel van het rapport: 'Our Common Future' (1987) is het verslag van het Wereld Commissie voor Milieu en Ontwikkeling, ingesteld door de Algemene Vergadering van de Verenigde Naties in 1983. Door dit rapport werd het begrip 'duurzame ontwikkeling' een algemeen aanvaard principe. Een duurzame ontwikkeling is een ontwikkeling die voorziet in de behoeften van de huidige generatie, zonder daarmee voor toekomstige generaties de mogelijkheid in gevaar te brengen om ook in hun behoeften te voorzien.

<sup>71</sup> Het Rapport van de Club van Rome was getiteld: 'Grenzen aan de groei' (1972). Het schetste de situatie dat, als de wereld op dezelfde voet zou doorgaan met energiegebruik en grondstoffengebruik, dat dan binnen afzienbare tijd de voorraden zouden zijn uitgeput.

Voortkomend uit de Kyoto-afspraken was de belofte van verschillende landen om koolstofdioxide terug te dringen. De hoeveelheid koolstofdioxide in de atmosfeer is in de afgelopen eeuw drastisch toegenomen. Deze toename van koolstofdioxide wordt gezien als een belangrijke oorzaak van het broeikaseffect. Kyoto legt een vermindering van de uitstoot van broeikasgassen vast. Afgesproken is dat de Nederlandse uitstoot wordt verminderd met 6% in 2012 ten opzichte van het niveau van 1990. Dat betekent in de praktijk een vermindering van 21% in vergelijking met de situatie van 2001.<sup>72</sup> Verder werd in het Kyoto-protocol vastgelegd dat de deelnemende landen ook een deel van hun reductie mogen omzetten in maatregelen in het buitenland. Sommige milieugunstige maatregelen zijn daar goedkoper te realiseren dan in eigen land. Ook kunnen landen 'lucht kopen' van andere landen, om zo reductietekorten en dus een overtreding van het verdrag te kunnen vermijden. De bossen in eigen land kan men ook laten meetellen als reductie.

Dat het broeikaseffect werkelijk door het handelen van de mens tot stand komt, wordt onderbouwd in het rapport van het klimaatpanel van de Verenigde Naties (IPCC). Op 2 februari 2007 presenteerde het klimaatpanel haar wetenschappelijke rapport over de opwarming van de aarde. Tot die tijd was het wetenschappelijk onduidelijk of dit verband überhaupt bestond. In het rapport van het IPCC wordt geconcludeerd dat met meer dan 90% zekerheid is vast te stellen dat de mens verantwoordelijk is voor het broeikaseffect in de laatste vijftig jaar.<sup>73</sup>

Het realiseren van de Kyoto-doelstellingen vraagt om een aantal maatschappelijke fundamentele veranderingen in de productie en het gebruik van energie. Om deze veranderingen te realiseren, wordt op nationaal, als ook op Europees niveau een aantal acties ondernomen. Deze zijn te verdelen in een vijftal specifieke factoren:

1. Marktpartijen formuleren hoofdroutes voor de energietransitie en de doelstelling voor duurzame energie.
2. Het wegnemen van financiële en juridische belemmeringen.
3. Het creëren van een nieuwe markt door een financiële waardering toe te kennen aan het milieu.
4. Het stimuleren van efficiënter technologieën met energiebesparende diensten en producten.
5. Innovaties en technologische ontwikkelingen stimuleren, met andere woorden specifieke innovaties ondersteunen die aansluiten bij de behoeften van de markt en de energietransitie.

---

<sup>72</sup> Met het verdrag zijn industrielanden overeengekomen om de uitstoot van broeikasgassen - o.a. koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>), methaan (CH<sub>4</sub>), lachgas (N<sub>2</sub>O) en een aantal fluorverbindingen (HFK's, PFK's en SF<sub>6</sub>) - in 2008-2012 met gemiddeld 5% te verminderen ten opzichte van het niveau in 1990. De reductiepercentages verschillen van land tot land, naarmate economische kracht - economisch zwakkere landen krijgen lagere reductiepercentages - en huidige uitstoot (en ook wat bereidwilligheid). De VS moet 7% inboeten, Japan 6% en de Europese Unie 8%. De EU heeft vervolgens de emissiereducties per lidstaat bepaald, in overleg met die lidstaten. De percentages lopen ver uiteen: Luxemburg moet zijn uitstoot met 28% verminderen terwijl Portugal zijn uitstoot met 27% mag laten stijgen. Nederland moet 6% minder uitstoten, België 7,5%.

<sup>73</sup> In het vorige IPCC-rapport uit 2001 werd nog over 'waarschijnlijk' gerept van 66% zekerheid.

## **6.2 Marktpartijen formuleren hoofdroutes voor energietransitie en doelstellingen duurzame energie**

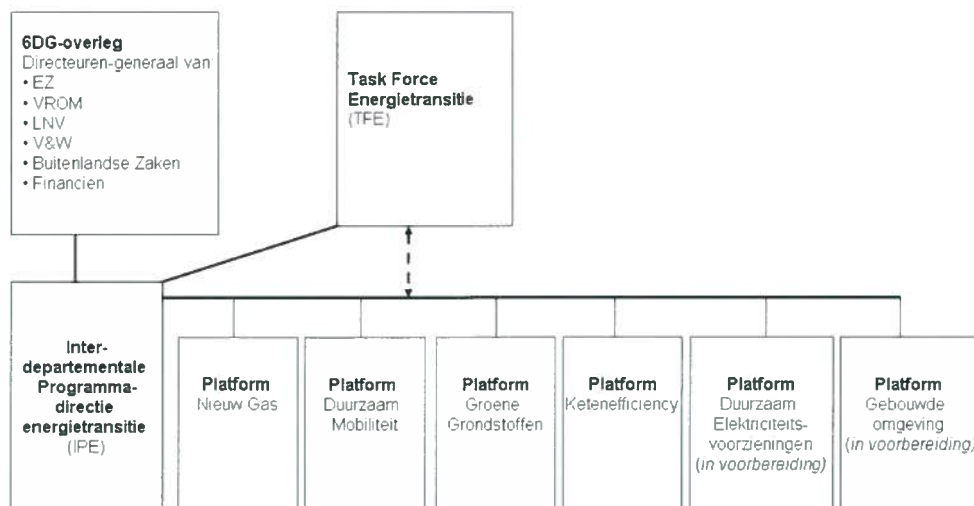
Tot ongeveer de afgelopen eeuwwisseling kende Nederland een sterk sturende nationale overheid. Toentertijd stippelde het ministerie van Economische Zaken (EZ) een plan van aanpak en ontwikkelingstraject uit voor specifieke technologie-ontwikkelingen. Uitvoerende en belanghebbende actoren werden mede door goedkeuren van EZ, erbij betrokken. Regie, uitvoering en besluiten lagen volledig in handen van het ministerie omtrent de technologie-ontwikkeling.

De omslag in het opereren van de overheid vond plaats rond de tijd van het uitkomen van het 4<sup>de</sup> Nationaal Milieu Plan (NMP4) in 2001. In het NMP4 wordt een pleidooi gehouden om een eind te maken aan het afwentelen van milieulasten op de generaties na ons en op mensen in arme landen. Deze voorgestelde duurzame samenleving zou in 2050 realiteit moeten worden. Door middel van *transitiebeleid* kan deze nieuwe samenleving worden bereikt. Deze transitie zou over verschillende beleidsterreinen en branches plaats moeten vinden. Vanwege de alles omvattende doelstelling werden verschillende ministeries onder één noemer bij elkaar gebracht. Verschillende initiatieven om deze transitie op gang te krijgen, zouden zodoende door de verschillende ministeries gebundeld kunnen worden. In de praktijk werden de verschillende transitiepaden verdeeld over de verschillende ministeries. Het ministerie van Economische Zaken kreeg de transitiepad waaronder nationale energie-infrastructuur vraagstukken vallen en zodoende de transitie van de Nederlandse energievoorziening. De vraag resteerde wie deze transitie zou uitvoeren.

Tegenwoordig is SenterNovem het uitvoerend orgaan van EZ. SenterNovem is op 1 mei 2004 ontstaan uit de fusie tussen Senter en Novem, twee agentschappen van het ministerie van Economische Zaken. SenterNovem probeert, niet alleen door directe subsidiering van projecten, maar ook door advisering, informeren, het creëren van netwerken, het organiseren van congressen en het indirect verstrekken van subsidies bij te dragen aan een duurzamere samenleving. Het Nationaal Onderzoeksprogramma Brandstofcellen is een duidelijk voorbeeld van de oude sturende overheid. Tegenwoordig creëert SenterNovem de randvoorwaarden voor de transitiepad uitgestippeld door het ministerie van EZ. SenterNovem is zodoende een intermediaire actor. Dit type actor verbindt niet alleen partijen, maar speelt zelf ook een belangrijke initiërende rol op het gebied van samenwerking en R&D. Onder de noemer van SenterNovem heeft het transitieverhaal van het Nederlandse energiehuishouden op de volgende wijze vorm gekregen, zie onderstaand figuur 23.

Het college van de zes directeuren-generaal bestuurt de energietransitie op hoofdlijnen. Deze zes directeuren-generaal vertegenwoordigen de zes departementen die samen werken in het Interdepartementale Programmadirectie Energietransitie (IPE). Het IPE is de trekker, initiator en aanjager van de energietransitie. Ze zorgt voor afstemming in het beleid en stimuleert de dialoog tussen rijksoverheid en de samenleving. Hierin werken de zes departementen samen: Economische Zaken, Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu, Verkeer en Waterstaat, Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Buitenlandse Zaken en Financiën. De Platforms Energietransitie zijn opgericht om de schakel te zijn tussen overheid en bedrijfsleven. In een Platform werken innovatieve ondernemers, vooroplopende bedrijven, vernieuwende kennisinstellingen en creatieve NGO's gezamenlijk aan centrale thema's in de energietransitie. De Platforms spelen een stimulerende rol bij het in beweging krijgen van de markt en het vinden van nieuwe wegen waarlangs duurzame initiatieven gerealiseerd kunnen worden. De Task Force is het gezicht naar buiten toe voor het IPE. Ze is ingesteld door de minister van EZ en de Staatssecretaris van VROM. In de Task Force zitten

vertegenwoordigers uit de top van het bedrijfsleven, de overheid, onderzoeksinstituten, bankwereld en NGO's. Daarbij valt te denken aan namen zoals Shell, ECN, NUON, ESSENT. Er is nog geen directe koppeling naar gelijkgestemde Europese Technologie platforms.



**Figuur 23: Organogram Energietransitie anno feb. 2007**

Een belangrijke taak van de Task Force is om voor Nederland kansrijke terreinen voor energie innovaties te identificeren en aan te geven wat er moet gebeuren om die kansen te benutten. Verder wil de Task Force het maatschappelijke draagvlak voor energietransitie versterken. Onlangs heeft de Task Force haar visieverslag gepresenteerd: “Meer met energie, kansen voor Nederland”. In dit visieverslag wordt een oproep gedaan om meer te investeren in duurzame energie, voornamelijk om een reductie van koolstofdioxide te bewerkstelligen. Onderliggende boodschap is dat de Nederlandse overheid actiever in duurzame energie moet investeren en meerdere technologische opties moet nastreven. Opvallend maakt waterstoftechnologie een goede presentatie in dit rapport. Als het aan de Task Force zou liggen rijden, eerder dan later waterstofauto's rond.

### **Kansen, barrières & verwachtingen**

Wanneer naar de kansen en barrières wordt gekeken, betekent dat het transitieverhaal op nationaal niveau voornamelijk door biomassatechnologie wordt gedomineerd, in het bijzonder biogas en biobrandstof. In tegenstelling tot biomassa kent waterstof geen eigen transitieroute of transitithema. Dit betekent dat waterstoftechnologie constant aansluiting moeten vinden bij de andere thema's in het transitieprogramma, wat belemmerend kan werken.

Opvallend detail is dat de thema's, gekozen in het nationaal transitieprogramma, niet aansluiten op wat op Europees niveau gebeurt. Nationaal wordt de verbinding gezocht met meerdere technologieën om een transitiebeleid neer te zetten naar een duurzame samenleving, onder begeleiding van de nationale overheid. Terwijl op Europees niveau marktpartijen zelf de route, de wijze waarop ze deze willen afleggen, naar een waterstofeconomie mogen bepalen.



Door de wijze waarop het gehele transitieverhaal is georganiseerd, bevestigt zowel de verwachtingen van voorstanders als tegenstanders van een waterstofeconomie. Degene die aan het voorfront staan van de discussies over energietransitie en die de ontwikkelingsroutes bepalen voor technologie ontwikkelingen, zijn juist marktpartijen die dagelijks een andere bedrijfsvoering op na houden. Dit betekent dat niet noodzakelijkerwijs gezocht wordt naar de meest effectieve wijze om een transitie naar een waterstofeconomie te bewerkstelligen, maar naar de wijze waarop elkaars belangen het minst geschaad worden of het meest worden behartigd. Grote multinationals en actoren uit het aardgasregime krijgen zo de bevestiging dat het nog zeker tot 2050 duurt voordat een waterstofeconomie realiteit wordt. Dit terwijl ze aan het voorfront actief discussiëren over ontwikkelingen en het verwezenlijken ervan. Daarbij komt het feit dat juist deze actoren innovaties en interessante technologieontwikkelingen moeten spotten, terwijl huidige technologische ontwikkelingen niet overeenkomen met hun verwachtingspatronen.

De Nederlandse energietransitie leidt, zoals het tot op heden staat beschreven, niet noodzakelijkerwijs tot een waterstofeconomie en verliest daardoor, in de ogen van actoren uit de waterstofwereld, aan geloofwaardigheid. Deze actoren zijn van mening dat het gehele transitieverhaal te theoretisch is en niet op de praktijk is gestoeld. Ze ervaren dat het lastig is om aan subsidies te komen en de vraag rijst of Nederland werkelijk een waterstofeconomie wilt. Dit verklaart ook waarom deze groep actoren liever aansluiting zoekt op Europees niveau dan op nationaal niveau. Daar liggen meer kansen dan barrières.

### **6.3 Wegnemen van financiële en juridische belemmeringen**

Bij het wegnemen van financiële belemmeringen, ten behoeve van een duurzame toekomst, kan worden gedacht aan subsidies. De MEP (milieukwaliteit van de elektriciteitsproductie) subsidie is in dit kader opgezet. De MEP is een subsidieregeling waarmee wordt beoogd de milieukwaliteit van de Nederlandse elektriciteitsproductie te verbeteren. De milieukwaliteit van de elektriciteitsproductie kan worden verbeterd door meer gebruik te maken van onuitputtelijke duurzame energiebronnen en van warmtekrachtkoppeling (WKK). De subsidie wordt gegeven, omdat deze milieuvriendelijkere manieren van elektriciteitsopwekking vooralsnog duurder zijn dan conventionele elektriciteitsopwekking met kolen-, gas- of kerncentrales. Door deze technologieën te subsidiëren, is de verwachting dat deze technologieën meer zullen worden toegepast. Technologieën die meer worden toegepast worden ook gestimuleerd om verder te ontwikkelen, waardoor hopelijk in de toekomst de kostprijs zal dalen.

De MEP-subsidieregeling is zonder vooraankondiging op 18 augustus 2006 voor nieuwe projecten stop gezet, als gevolg van het op nationaal niveau bereiken van de tussentijdse Kyoto-doelstelling. Een achterliggende reden voor het stopzetten was dat hoofdzakelijk de grote elektriciteitsproducenten, met het bijstoken van biomassa, profiteerde van de MEP-subsidie. De subsidiedrempel bleek daarnaast te hoog voor particulieren om daaraan te kunnen voldoen. In het coalitieakkoord van kabinet Balkende IV wordt de MEP heringevoerd. De nieuwe MEP is net als de voorganger bedoeld om duurzaam opgewekte elektriciteit te subsidiëren. De verwachting is wel dat een aantal wijzigingen zullen zijn aan de subsidiemaatregel. De MEP zal op het vroegst in het voorjaar van 2008 van start gaan.

Een ander financiële stimulans is de algemene fiscale stimuleringsmaatregel voor ondernemers in duurzame energie, de Energie Investeringsaftrek (EIA). De EIA is een fiscale regeling van het ministeries van Financiën en Economische Zaken. SenterNovem en de Belastingdienst voeren de EIA uit. De EIA is bedoeld voor ondernemers die willen investeren in energiebesparende technieken en de toepassing van duurzame energie in hun onderneming, bijvoorbeeld door de aanschaf van een zonnepaneel. Non-profit organisaties kunnen geen gebruik maken van deze regeling.

Naast fiscale voordelen proberen verschillende ministeries juridische belemmeringen op te heffen. Het is lastig om nieuwe wet- en regelgeving te creëren die inspelen op technologische ontwikkelingen. Om die reden worden bijvoorbeeld handboeken gecreëerd. Handboeken geven algemene richtlijnen die bijvoorbeeld de vergunningsprocedure kan verkorten, het volgend voorbeeld geeft hier een praktijk voorbeeld van:

*Windmolens worden gebouwd bij wegen, vaarwegen en bedrijventerreinen. Hoewel de windmolens zijn gecertificeerd en voldoen aan de veiligheidseisen, kan het plaatsen in openbare ruimte een risico vormen voor mens en milieu. ECN heeft om deze reden een handboek opgesteld na overleg met verschillende belanghebbende partijen. Het handboek beschrijft een uniforme methode voor een risicoanalyse van windmolens. De eerste stap is een inventarisatie van potentieel kwetsbare objecten in de nabijheid van het toekomstige windmolenpark. Het handboek onderscheidt tien verschillende soorten kwetsbare objecten en van elk soort object kan vervolgens het risico voor omwonenden en passanten worden berekend of de trefkans van een object. De berekende resultaten worden getoetst aan de veiligheidsnormen om op rationele wijze te komen tot een veilige en verantwoorde plaatsing van windmolens. Op deze wijze wordt getracht gemeenten of provincie inzicht te geven in de risico's bij het verlenen van een vergunning en daardoor tevens de doorlooptijd van vergunningsprocedures te verkorten. De betrokkenen steunen de in het handboek voorgeschreven aanpak. Het handboek richt zich voornamelijk op de risico's die ontstaan wanneer onderdelen van de windturbine naar beneden vallen, of als de hele windturbine omvalt. Inmiddels heeft ECN voor diverse projecten al meer dan twintig risicoanalyses uitgevoerd volgens de procedure van het handboek.*

### **Kansen, barrières & verwachtingen**

Het wegnemen van financiële of juridische barrières heeft in eerste instantie effect op technologieën die al op de markt zijn of die binnen een marktniche opereren. Het verlagen van deze drempels vervaagt de grenzen van deze marktniches en vergroot de mogelijkheid voor het toepassen van deze technologieën, voornamelijk voor decentrale energieopwekking technologieën, zoals WKK. Voor het aardgasregime is het, zowel een kans als een bedreiging. Waar het aardgasregime een soort monopoly had opgebouwd vanwege juridische of economische regels, wordt vanwege het verlagen van drempels duurzaam energie een realistische concurrent. Dit kan worden gezien als een duidelijke kans voor het duurzame energieregime. Terwijl aan de andere kant in de praktijk voornamelijk decentrale energieopwekking wordt gestimuleerd, dat voornamelijk bestaat uit aardgastechnologieën zoals WKK.

Hier moet echter wel een kanttekening bij worden gemaakt. De drastische wijze waarop de MEP- subsidies zijn stopgezet, wekt weinig vertrouwen bij investeerders, ondernemers en leveranciers van duurzame energie technologieën en decentrale energietechnologieën. Dit betekent dat niet zozeer de wijze waarop de financiële drempels worden verlaagd een directe belemmering vormen, als de wijze waarop ondernemers en consumenten erop kunnen vertrouwen dat deze in de toekomst zullen worden gehandhaafd.

De wijze waarop met de subsidie wordt omgegaan door de Nederlandse regering werkt belemmerend voor innovatieve of duurdere duurzame energietechnologieën op de markt. Deze wijze van opereren door de Nederlandse regering dwingt ondernemers en consumenten te kiezen voor technologieën met minder risico. De roep om een consequent subsidiebeleid met daarbij consequente stimuleringsregels groeit. De vergelijking met het Duits duurzaam energiebeleid wordt vaak getrokken. In Duitsland worden duurzame energiesubsidies voor decennia vastgesteld. Gevolg is dat Duitsland nu het grootste groeiend aandeel duurzame energie van Europa kent.

Voor waterstoftechnologie is dit aspect zwaar onderbelicht met betrekking tot leefmilieu en explosieve gassen, in het bijzonder waterstofgas. Het verlagen van de financiële en juridische drempels voor waterstof is door overheden en andere betrokken partijen nog niet opgepakt. De recente discussies over het explosiegevaar van LPG tonen dit aan. Er zijn wel projecten opgezet om de nodige standaarden, codes, wet- en regelgeving vast te stellen. Hierbij worden instanties zoals het ISO en NEN betrokken. Dit betreft het vaststellen van interne standaarden voor de industrie. Standaarden, codes, wet- en regelgeving voor de consument, ondernemer of lokale overheid staan nog in de kinderschoenen. Een handboek hoe om te gaan met waterstof zou het intreden in de markt of het opzetten van proefprojecten vergemakkelijken. Wanneer waterstoftechnologie de markt zal betreden, moet aan deze factor de nodige aandacht worden besteed, voordat het een barrière zal gaan vormen.

#### **6.4 Een financiële waardering toekennen aan het milieu**

Het Kyoto-protocol werd afgesproken door landen en niet door bedrijven of individuen. Zodoende rees de vraag hoe bedrijven en individuen aan te zetten tot het verminderen van de uitstoot van koolstofdioxide. Het antwoord daarop kwam in de vorm van een handel in de hoeveelheid emissie een bepaald bedrijf of instantie mag uitstoten. Een bedrijf of instantie mag slechts nog de hoeveelheid koolstofdioxide uitstoten waarvoor zij emissierechten heeft aangeschaft. Het deel van de rechten dat niet wordt gebruikt, d.w.z. de hoeveelheid koolstofdioxide die niet uitgestoten is, mag worden verhandeld. Emissiehandel is een bekend principe en wordt toegepast voor andere gevaarlijke stoffen, zoals methaan (CH<sub>4</sub>), lachgas (N<sub>2</sub>O), gehalogeneerde koolwaterstoffen (hfk's) en stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>).

De centrale actor in deze emissiehandel is de Nederlandse Emissie-autoriteit (NEa).<sup>74</sup> Zij heeft als bevoegd gezag de taak toezicht te houden op de emissiehandel in NO<sub>x</sub> en CO<sub>2</sub>. De NEa controleert hoeveel NO<sub>x</sub> en CO<sub>2</sub> bedrijven uitstoten. Daarnaast legt de NEa sancties op aan bedrijven die verzuimen hun tekort aan emissierechten aan te vullen. Verder keurt de emissie-autoriteit de zogenaamde monitoringsprotocollen, controleert emissiejaarrapporten en beheert het transactieregister van de emissierechten. Het initiatief om te investeren in de reductie van emissies blijft bij de onderneming in kwestie.

Door de emissiehandel is het uitstoten van koolstofdioxide niet meer vrijblijvend en worden schonere technologieën economisch aantrekkelijker. Bij een stijging van de prijs van een kubiek meter koolstofdioxide op de vrije markt wordt het investeren in nieuwere en schonere technologieën waarmee de uitstoot van koolstofdioxide teruggedrongen wordt interessanter, zie voorbeeld de tabel hieronder. Wanneer de prijs van een ton koolstofdioxide emissie stijgt, worden milieuzuiniger en vaak duurdere technologieën meer rendabel.

---

<sup>74</sup> <http://www.emissieautoriteit.nl/>

Voorbeeld van CO <sub>2</sub> -reductieprojecten (op basis van marginale reductieprijs en marktprijs)					
Prijs per ton CO <sub>2</sub>	Besparing en efficiency	Aanpassingen en switches	Commerciële opties	Technische opties	Innovatie
€15 tot €20		Fuel-switch (olie naar aardgas of overstap naar industrieel waterstof restproduct)	Nieuwe WKK	Brandstofcellen	CO <sub>2</sub> - opslag op andere locaties (bijv. diepzee)
€10 tot €15		Biobrandstoffen stoken (koolzaad)	Stadsverwarming Inkoop i.p.v. opwekking	Zonnepanelen	CO <sub>2</sub> - opslag in leeg gasveld
€5 tot €10		Upgrading stookinstallatie	Verkoop CO <sub>2</sub> voor tuinkas, frisdrank, papier, gassen	Windenergie	
€0 tot €5		Biomassa bijstoken Biobrandstoffen introduceren	Boomplant Reductie projecten in het buitenland steunen	Warmtepomp/ koude opslag	
€ -5 tot €0		Switch van stoom naar elektrische pompen			
€-10 tot €-5	Energiebesparing en gebruik van restwarmte				

*Voorbeeld gebaseerd op bron: J. Zijnsen, Energieconsultant 2004*

### **Kansen, barrières & verwachtingen**

De opkomst van de emissiehandel van koolstofdioxide is een groot stimulans voor praktisch alle schone technologieën. Zelfs aardgas profiteert van deze socio-technische ontwikkeling. Aardgas is namelijk de schoonste fossiele brandstof. De overstap van olie of steenkool naar aardgas wordt vanuit dit oogpunt economisch aantrekkelijk. De belangrijkste beperking van aardgas is, dat aardgas desondanks schonere verbranding alsnog schadelijke emissies voortbrengt. Deze beperking van aardgas werkt duurzame energietechnologieën en op den duur waterstoftechnologieën in de hand.

Het creëren van een markt door een financiële waardering toe te kennen aan emissies van schadelijke stoffen richt zich in eerste instantie op bestaande technologieën. Deze zijn betrouwbaar, voorspelbaar en economisch bewezen. Echter, door het pull-effect van de markt, zeker wanneer de prijzen van de emissie zullen stijgen, zullen de ontwikkelingen van nieuwe technologieën worden gestimuleerd.

Waterstoftechnologie is in deze socio-technische factor één van de laatste opties, omdat het een zeer hoge investering vereist, die economisch niet te verantwoorden is met de mate van reductie van koolstofdioxide. Daarnaast is het de vraag hoe waterstof is gemaakt. Met andere woorden, investeren in andere schone technologieën levert meer emissierendement op.

Deze ontwikkeling kan een belemmering vormen voor duurzame energie en waterstoftechnologie mits het zoveel mogelijk wordt uitgevoerd op Europees niveau, bijv. energiebelasting of emissiehandel. Een energiebelasting of emissiehandel wordt door de nationale regeringen, industrie en commercie gezien als een belemmering in haar economische groei. Door het zoveel mogelijk uit te voeren op Europees niveau opereert iedereen op dezelfde markt, waardoor energiebelasting- of emissiehandelontduiking zo min mogelijk zal voorkomen.

Vanuit het perspectief van actoren uit de aardgaswereld betekent deze emissiehandel op de korte termijn juist een marktvergroting. De verwachting is dat aardgasmarkt zal groeien, wat het doorzetten van bepaalde trends en technische ontwikkelingen motiveert. Daaronder valt bijvoorbeeld het bouwen van een LNG-haven in de Eemshaven of het doorontwikkelen van micro WKK-technologie. Deze socio-technisch landschapsontwikkeling bevestigt verder de verwachtingen van actoren binnen de waterstofwereld dat de transitie naar een waterstofeconomie niet alleen een idealistische is, maar ook economische motieven kent.

## **6.5 Stimuleren van energiebesparende diensten en producten**

Het stimuleren van energiebesparende diensten en producten om de markt is de vierde socio-technische landschapsfactor dat van invloed is op de verschillende energiewerelden. Het meest concrete voorstel voor het stimuleren van energiebesparende diensten en producten zijn verhandelbare energiebesparingcertificaten.

Energiebesparingscertificaten, ook wel witte certificaten genoemd gaan uit van beloning in tegenstelling tot bestraffing, zoals bij emissierechten. Als een marktpartij haar doelstelling realiseert door energiebesparende maatregelen te nemen in specifieke doelgroepen, zoals huishoudens, gebouwde omgeving, MKB, transport, etc. kan ze certificaten verdienen. De certificaten moeten worden overlegt ter voldoening van de eigen verplichting. Bij een overschot aan certificaten, dus meer bespaart dan noodzakelijk kunnen de certificaten worden verhandeld aan partijen die tekort hebben. Ook partijen zonder verplichting kunnen certificaten verdienen en vervolgens op de markt brengen.

Het idee achter dit systeem is dat het een marktwerking creëert met betrekking tot het realiseren van energiebesparende maatregelen. Het idee van verhandelbare energiebesparingcertificaten, is niet nieuw. In Engeland, Italië en Australië bestaan al dergelijke elektriciteitsverbruikinformatiesystemen. Uit een haalbaarheidsstudie die in opdracht van EZ is verricht door het bureau CEA, blijkt dat het Engelse systeem 'zeer effectief' is.<sup>75</sup> Volgens CEA kan er door de verhandelbaarheid van besparingsverplichtingen zelfs een compleet nieuwe 'electriciteitsverbruikinformatiesystemen' bedrijfstak ontstaan van bedrijven die zich specialiseren in energiediensten. Witte certificaten zijn anno 2007 nog niet ingevoerd. Het is onduidelijk wanneer deze wel worden ingevoerd.

### **Kansen, barrières & verwachtingen**

Het systeem van witte certificaten moet niet worden verward met de emissiehandel in hoofdstuk 7.4. Emissiehandel heeft tot doel het terugdringen van de schadelijke uitstoot terwijl witte certificaten tot doel heeft de efficiëntie te verhogen en daardoor het energieverbruik te verminderen. Het gevolg is wel dat beide handelssystemen bewerkstelligen dat energie op een schoner en duurzamer wijze wordt gecreëerd en verbruikt.

Jarenlang werkte de overheid vanuit het principe dat technologie maakbaar was, mits genoeg financiële middelen voor de ontwikkeling van de technologie ter beschikken zou worden gesteld. De ontwikkeling van de warmtekrachtkoppeling, het Nederlands Onderzoeksprogramma Brandstofcellen (zie hoofdstuk 5.5.1) en de stimuleringsmaatregelen voor biomassa, zonne-energie en windenergie zijn hiervan toonbeelden. De

---

<sup>75</sup> H. Scheider, J. Burgers, V. Ducos (2005) CEA, "Verhandelbaarheid Energiecertificaten: toegevoegde waarde & uitvoerbaarheid", in opdracht van ministerie van Economische Zaken

ontwikkelingsprogramma's voor deze technologieën zijn geïnitieerd door de overheid vanuit het principe om aardgas efficiënter te benutten (o.a. Verbong en Geels, van der Hoeven).

Anno 2007 is de overheid van mening dat marktpartijen moeten worden gestimuleerd tot het toepassen en het ontwikkelen van nieuwe technologieën. Maar dat het aan marktpartijen te bepalen is welke nieuwe technologieën dit zullen zijn. Witte certificaten zijn een voorbeeld van deze nieuwe manier van opereren, niet een technologie subsidiëren, maar wel efficiëntie stimuleren.

Het creëren van een markt voor energiebesparing richt zich net als het creëren van een markt voor emissiehandel in eerste instantie op bestaande technologieën. De verwachting is dat door het pull-effect van de markt, zeker wanneer de prijzen van de witte certificaten zullen stijgen, de ontwikkelingen van efficiëntere technologieën zal stimuleren. Daarnaast zal het een pull-effect hebben op de markt. Witte certificaten richten zich in eerste instantie op kleinere bedrijven, huishoudens en klein verbruikers. Groepen die niet in contact zullen komen met de emissiehandel. Dit betekent dat een geheel nieuwe groep consumenten worden gecreëerd die opeens worden afgerekend op haar energie-efficiëntie. Mensen die eerst niet werden geconfronteerd met het milieu moeten nu duurzaam worden, of worden op z'n minst gestimuleerd efficiënter energie te gaan verbruiken of te benutten.

De verwachting is dat voornamelijk bestaande technologieën uit de aardgaswereld en het duurzame energiewereld in eerste instantie van deze marktopening zullen profiteren. Te denken valt aan micro-WKK, biogascentrales, zonnepanelen en windturbines. Met de focus op energiebesparing zou waterstoftechnologie 'mee kunnen liften' op de groeiende markt voor WKK.<sup>76</sup> Deze markt richt zich op economische principes en is daardoor niet geschikt om technische niches te creëren voor innovatieve technologieën zoals waterstof of specialistische zonnecellen. Om technologische niches te faciliteren is de Energie Onderzoek Subsidie (EOS) opgezet.

## **6.6 Specifieke innovaties met subsidies ondersteunen**

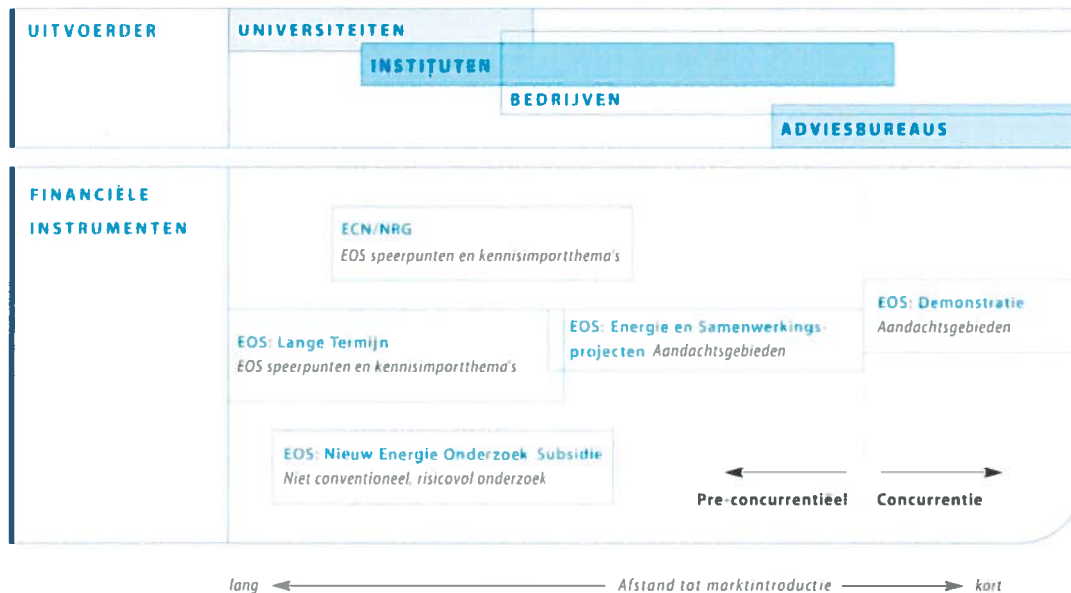
Naast het oprichten van handelssystemen voor zowel het milieu als voor besparende maatregelen, zijn er subsidies specifiek opgezet in het kader van onderzoek. Het programma Energie Onderzoek Subsidie (EOS) heeft als doelstelling de kennis over energie-efficiency en duurzame energie in Nederland uit te breiden. Voor het programma heeft het ministerie van Economische Zaken (EZ) circa twintig onderzoeksgebieden geselecteerd. Thema's waar Nederland al goed in is en goed in moet worden als ze werk wil maken van een stabiele, duurzame energiehuishouding, volgens het ministerie van EZ.<sup>77</sup>

---

<sup>76</sup> Dit aspect wordt uitgewerkt in Hoeven et al (2005) 'De commercialisering van het waterstofideaal' SMO publicatie.

<sup>77</sup> Om de geselecteerde speerpunten beter hanteerbaar te maken zijn deze gegroepeerd in vijf aandachtsgebieden: energie-efficiency in de industriële en agrarische sector, biomassa, nieuw gas/schoon fossiel, gebouwde omgeving en opwekking & netten

Niet ieder technologie is even ver ontwikkeld en elk ontwikkelingsfase kent haar eigen kennisbehoefte. Energie Onderzoek Subsidie beslaat het gehele traject van idee tot aan marktintroductie, zie figuur 24. Voor iedere ontwikkelingsfase kent ze wel een apart programma. Onder het EOS programma vallen vier regelingen die samen het traject van onderzoek tot marktintroductie beslaan.



**Figuur 24: het traject van onderzoek van onderzoek naar technologische niche tot marktniche en de positie van de verschillende onderdelen van de EOS programmasubsidies (bron: SenterNovem 2007)**

### **EOS: Nieuw Energie Onderzoek (NEO)**

Met de subsidieregeling EOS: Nieuw Energie Onderzoek (NEO) wil het ministerie van Economische Zaken energieonderzoek stimuleren dat niet-conventioneel en nieuw is en dat bijdraagt aan een schone, betrouwbare en betaalbare energiehuishouding. Het gaat hier om de hele keten, van bron, transport, tot gebruik. Projecten moeten de potentie hebben om uit te groeien tot een nieuw energieonderzoeksgebied of een nieuwe richting binnen een bestaand energieonderzoeksgebied. NEO is een subsidie dat zich richt op de eerste stap van de hierboven geschetste innovatieketen volgens SenterNovem: het uitwerken van nieuwe concepten. Voorbeelden van deze vernieuwende concepten zijn: waterkracht door middel van een waterkracht lens waardoor aanzienlijk minder vervalhoogte nodig is, ramen die zowel elektriciteit als warmte opwekken, opslag van waterstof in bakpoeder in plaats van een metaalrooster en een betaalbare reuze accu. Het meest in het oogspringende vanwege de potentiële mogelijkheden ervan: energieopwekking op het scheidingsvlak van zoet en zout water, genaamd blue energy.<sup>78</sup>

<sup>78</sup> Blue energy technologie ontwikkelt door de KEMA heeft de ID-NL prijs in 2004 gewonnen en daarmee veel publiciteit verkregen in zowel vakbladen als de landelijke pers. De belofte is dat daarmee in Nederland tien keer zoveel energie kan worden opwekt als nu gebeurt met windmolens. Elektrische modificatie van kunststoffen maakt de productie van speciale membranen zo goedkoop, dat blue energy zeer betaalbaar wordt, althans dat zijn de verwachtingen van KEMA. KEMA gaat samen met meerdere partijen een concrete toepassing daarvan ontwikkelen.

Het basisprincipe van deze energievorm is omgekeerde elektrolyse (reverse electrodialysis, RED). Energie winnen uit het verschil tussen zoet en zout water. Als twee watervolumes met een zoutconcentratieverschil aan

### **EOS: Lange Termijn (LT).**

Lange termijn (LT) subsidie is bedoeld voor onderzoek naar een toekomstige duurzame energiehuishouding in Nederland en voor kennisontwikkeling. Deze regeling geeft financiële ruimte aan onderzoekers met veelbelovende plannen die op termijn leiden tot een duurzame energiehuishouding. Het gaat om onderzoek dat de Nederlandse kennispositie versterkt en de weg vrijmaakt voor de introductie van innovatieve energietechnologieën. Daarbij kan worden gedacht aan onderzoek naar dunne-film zonnecellen, rendementsverhoging van siliciumzonnecellen en zonnecellen van organisch materiaal. Ook valt te denken aan onderzoek naar hoogwaardige grondstoffen uit biomassa, onderzoek naar bio-ethanol uit bietsuikerpulp en vergassing van natte biomassa in superkritisch water, zoals beschreven in hoofdstuk 5.5.5. Op het gebied van waterstoftechnologie wordt onderzoek uitgevoerd naar efficiency van de PEM-brandstofcel en industriële waterstofproductie met behulp van membraantechnologie.

Naast onderzoek naar concrete technologieën wordt deze regeling ook gebruikt voor onderzoek naar hoe de energietransitie moet plaatsvinden, onderzoek naar regels voor een betrouwbaar en duurzaam elektriciteitsproductie, onderzoek naar ICT voor intelligent elektriciteitsnetwerkmanagement en bijvoorbeeld duurzame projectontwikkeling gebaseerd op duurzaam bouwen en wonen in 2015.

### **EOS: Demonstratie (DEMO).**

EOS: Demonstratie (DEMO) is een subsidie voor een 'eerste' toepassing van nieuwe energietechnologieën in de omgeving waarin ze in de nabije toekomst daadwerkelijk worden toegepast. Deze regeling positioneert zich op de overgang van de technologische niche naar de marktniche. In een demonstratieproject worden nieuwe technologieën, methoden en systemen getest in een realistische gebruiksomgeving. Een succesvolle demonstratie zal gevolgd worden door marktintroductie van de technologie, methode of systeem.

Van de in totaal in 2006 toegekende 44 projecten valt slechts één in de categorie zonne-energie: de demonstratie van tien kosteneffectieve zonneboilers in de praktijk, één in de categorie windenergie: de lichtgewicht torendemper voor windturbines, twee demonstratieprojecten in de categorie waterstoftechnologie: de PEM- energiecentrale bij een fabriek van AkzoNobel -per april 2007 in gebruik- en kleinschalige waterstofproductie op basis van stoomreforming en twee demonstratieprojecten in de categorie aardgastechnologie: demonstratie micro-WKK en demonstratieproject efficiënter aardgasverbruik. Het leeuwendeel van de demonstratieprojecten, 21 projecten vallen binnen de categorie 'gebouwde omgeving'. Bij dit soort demonstratieprojecten gaat het om aan te tonen dat door middel van slim bouwen, wonen en leven energie kan worden bespaard.

Neveneffect van demonstraties is dat het publiek gewaar wordt van technologische mogelijkheden en ontwikkelingen. Door middel van publiciteit wordt het mogelijk het

---

elkaar verbonden worden, terwijl alleen de ionen van volume naar volume kunnen bewegen, ontstaat er een ionendrukverschil, ook osmotisch drukverschil genoemd. De ion-concentratie moet in beide volumes gelijk zijn en de ionen zullen zodoende van de hoge concentratie naar het lage bewegen. Membranen zijn een manier om alleen ionen en niet watermoleculen tussen de vloeistoffen te laten bewegen.

De blue energy-module van 250 kW zal na testen in het lab waarschijnlijk op een proeflocatie aan de kust worden ingezet. Gedurende een aantal maanden worden er dan testen uitgevoerd. Uiteindelijk is het de bedoeling een volledige installatie bestaande uit meerdere modules op te bouwen tot een gezamenlijk vermogen van rond de 200 MW. Deze centrales kunnen worden ingezet bij elke riviermonding (bron: KEMA & Natuurwetenschap en Techniek).



publieke draagvlak voor een bepaalde technologie-ontwikkeling te vergroten. Daarnaast kan worden ingespeeld op het voldoen van een maatschappelijke verwachtingspatroon. Dit werd duidelijk bij het opstarten van de PEM-energiecentrale bij AkzoNobel, daar werd benadrukt dat dit demonstratieproject een noodzakelijke stap is richting een waterstofeconomie.

### **Unieke Kansen Regeling (UKR).**

Een andere regeling dat wordt uitgevoerd door het programma EOS is de Unieke Kansen Regeling. Dit richt zich op het stimuleren van samenwerkingsprojecten onder leiding van Nederlandse marktpartijen. De Unieke Kansen Regeling stimuleert projecten waarin Nederlandse marktpartijen en niet-marktpartijen samenwerken aan de transitie naar een duurzame energiehuishouding. Het project moet worden uitgevoerd door een samenwerkingsverband dat bestaat uit ten minste één ondernemer en tenminste één niet-ondernemer. De nadruk bij de Unieke Kansen Regeling ligt op versnelde marktintroductie van technieken die bijdragen aan deze energietransitie. Daarbij moet een project passen binnen een van de door de Energietransitie erkende thema's, deze zijn:

- Efficiënt en groen gas; voorbeeld van projecten zijn micro-WKK, energiebesparingsprojecten, maar ook de waterstofkart.<sup>79</sup> Waterstoftoepassingen vallen onder efficiënt en groen gas.
- Ketenefficiency; voorbeeldproject: van visolie naar algen.
- Groene Grondstoffen; biofuel uit palmolie, biodiesel productiefaciliteit in Terneuzen en bioplastics
- Alternatieve motorbrandstoffen; aardgasbussen in Haarlem en IJmond, LNG als vervanger voor diesel en stadsvervoer op CNG. Onder alternatieve motorbrandstoffen valt hoofdzakelijk het rijden op aardgas.
- Duurzame Elektriciteit; voorbeeld van een project is de opwekking van elektriciteit en warmte uit de verbranding van schoon hout.

### **Kansen, barrières & verwachting**

De subsidieregeling EOS verdeelt de ontwikkeling van technologie onder in een aantal fasen, afhankelijk van de afstand tot de markt. Om elke fase op een specifieke wijze te stimuleren door middel van subsidies zijn verschillende programma's opgezet. Deze onderverdeling maakt het mogelijk om onderscheid te maken tussen onderzoek en demonstratie, en alliantievorming van actoren en concrete toepassingen.

In termen van afstand tot de markt valt het op dat duurzame energietechnologieën, voornamelijk zonne-energie, hoofdzakelijk onder zijn gebracht bij de Lange Termijn regeling. Dit houdt in dat deze technologieën nog zeer ver van de markt worden geprojecteerd. Daarentegen zitten technologieën die aardgas benutten, zoals LNG, micro-WKK en CNG, dichter op de markt bij de Demonstratieprojecten en Unieke Kansen Regeling. Biomassa en waterstof schijnen in elk deel van spectrum voor te komen, van lange termijn onderzoeksprogramma's tot concrete demonstratieprojecten. Wat opvalt binnen waterstof is dat de brandstofcellen, de PEM-brandstofcel in het bijzonder, in de demonstratiefase zit en dat waterstofopslagsystemen voornamelijk bij lange termijn onderzoek is ondergebracht. Deze inventarisatie van waar een project staat in het ontwikkelingstraject bevestigt de verwachting van actoren uit de waterstofwereld: binnenkort kan een begin worden gemaakt met de waterstofeconomie. Brandstofcellen zijn bijna gereed om de markt te betreden en het is slechts een technologische vraagstuk hoe waterstof moet worden opgeslagen.

---

<sup>79</sup> Info over de waterstofkart is te vinden op: <http://www.formulazero.nl/>

Waar sprake is van kansen en belemmeringen worden deze voornamelijk gevormd door de wijze waarop criteria voor de verschillende regelingen zijn vastgesteld en hoe streng deze worden nageleefd. Kaders voor het verlenen van subsidies blijken noodzakelijk, maar kan voor technologische innovaties belemmerend werken. In het geval van waterstoftechnologie onderzoek kan het voorkomen dat ze wordt uitgesloten van een bepaalde regeling doordat waterstof niet als een expliciete thema is benoemd. De vraag is of deze belemmering wel zo wordt ervaren door de betrokken actoren gezien de hoeveelheid waterstofprojecten.

## **6.7 Conclusie**

In dit hoofdstuk werd onderzocht welke factoren invloed hebben op de verhouding tussen de energiewerelden, of deze factoren kansen bieden of juist barrières opwerpen voor de vorming van een waterstofeconomie en welke invloed deze kansen en barrières hebben op de verwachtingen van actoren in het veld en in het bijzonder in de waterstofwereld. Dit zijn de deelvragen bij het onderzoeksvraag.

Het socio-technisch landschap waarbinnen deze drie energiewerelden opereren kenmerkt zich zowel internationaal als nationaal door een groeiend milieubewustzijn. Dit groeiende milieubewustzijn heeft zich vertaald in internationale afspraken over beperking van schadelijke emissies, c.q. de Kyoto-afspraken. De Kyoto-afspraken zetten milieubewustzijn om naar beperkende wetgeving en naar stimulerende maatregelen. Vijf majeure factoren zijn door de Nederlandse overheid in het leven geroepen om deze duurzaamheidsdoelstellingen te behalen:

1. Marktpartijen formuleren hoofdroutes voor energietransitie en doelstelling voor duurzame energie.
2. Het wegnemen van financiële en juridische belemmeringen.
3. Het creëren van een nieuwe markt door een financiële waardering toe te kennen aan het milieu.
4. Het stimuleren van efficiënter technologieën met energiebesparende diensten en producten.
5. Innovaties en technologische ontwikkelingen stimuleren met andere woorden specifieke innovaties ondersteunen die aansluiten bij de behoeften van de markt.

De eerste van deze specifieke factoren spitst zich op het activeren en verbinden van betrokken actoren. Concreet vertaalt dit in Nederland naar alle acties rondom de Energietransitie. De energietransitie is opgedeeld in een aantal thema's voor het verbinden van actoren en het toekennen van subsidies. Daarbij is waterstof niet als aparte transitietraject of thema benoemd. Met betrekking tot een waterstofeconomie leidt de energietransitie zoals het is ingericht niet noodzakelijkerwijs tot een op waterstof gebaseerde economie. Dit bevestigt de verwachtingen van actoren uit de waterstofwereld, die zich niet begrepen voelen door de overheden. Deze actoren zijn van mening dat het gehele transitieverhaal te theoretisch en niet op de praktijk is gestoeld. Deze mening wordt versterkt door het feit dat de koppeling met Europese Technologie platforms niet aanwezig is.

De tweede factor werkt drempelverlagend voor de introductie van nieuwe en toekomstige technologieën door het wegnemen van financiële en juridische belemmeringen. Deze factor doorbreekt daarmee de dominantie van bepaalde technologieën. Daarbij valt te denken aan concurreren op kostprijs of procedures die bepalen dat slechts bewezen technologieën mogen worden toegepast. Daarnaast biedt deze factor ervoor dat overheden niet ieder voor zich beleid hoeft te creëren hoe om te gaan met nieuwe technologieën. Deze factor heeft de potentie in zich om van positieve invloed te zijn op de vorming van een waterstofeconomie.

Echter, tot op heden zijn op dit vlak maar weinig activiteiten ontplooit op het gebied van waterstoftechnologie.

Factor drie legt een economische prijs op de uitstoot van vervuilende gassen. Gedachte daarachter is dat met de stijging van de prijs van emissies het economisch interessanter wordt om te investeren in schonere technologieën. Deze factor creëert zodoende een marktniche voor (toekomstige) schone technische ontwikkelingen. Op de korte termijn zal deze factor geen grote bijdrage leveren aan het mogelijk maken van een waterstofeconomie. Dit komt doordat concurrerende technologieën goedkoper zijn, zoals aardgas of duurzame energie. Wat de factor wel bewerkstelligd is dat nu niet alleen milieu-aspecten maar ook economische motieven een rol spelen in de overstap naar een waterstofeconomie.

Terwijl de emissiehandel voornamelijk gericht is op grotere productie bedrijven en internationale concerns, richt de vierde factor zich op consumenten en kleine dienstverleners. Door direct energiebesparing economisch te belonen, worden energiebesparende technologieën gestimuleerd. Echter, de focus ligt hier duidelijk op bestaande oplossingen. Het verschil met de tweede factor, het wegnemen van juridische en financiële belemmeringen, zit duidelijk in het feit dat hier niet technologieën worden gestimuleerd maar dat de toegevoegde waarde een bepaalde financiële waarde kent. Dit weerlegt de focus van de kostprijs van een technologie naar de toegevoegde waarde die de technologie kent voor het milieu. Dit is een ander wijze van redeneren. De vraag blijft of het uitvoerbaar is, of het ingevoerd zal worden en vervolgens of het enigszins van invloed zal zijn in de transitie naar een waterstofeconomie.

Laatste factor koestert, beschermt, begeleidt en selecteert innovaties vanuit het laboratorium naar de markt. Het is bij wijze van spreken de incubatiekamer voor nieuwe technologieën. Daarbij gaat het uitsluitend om de nieuwe technologieën te ontwikkelen of de koppeling tussen technologieën te stimuleren. Daardoor kunnen onderzoekers zich uitsluitend richten op het realiseren van de gestelde ontwikkelingen, zonder invloed van concurrerende technologieën of andere factoren. Opvallend is dat waterstof- en brandstoftechnologie binnen deze factor duidelijk vertegenwoordigd is. Het bevestigt tevens dat waterstof- en brandstoftechnologie zich nog in een technologische niche bevindt. Ondanks dat brandstofceltechnologie redelijk dicht tot de markt wordt geprojecteerd, moet voor de opslag van waterstof nog het nodige onderzoek worden uitgevoerd. De vraag is in hoeverre deze technische barrière als een belemmering wordt ervaren door actoren uit de waterstofwereld voor de vorming van een waterstofeconomie.

Als antwoord op de deelvragen een overzicht van de invloed van de verschillende factoren op de verschillende energiewerelden:

	<b>Aardgaswereld</b>	<b>Duurzame energiewereld</b>	<b>Waterstofwereld</b>
<b>Factor 1:</b> de energietransitie	Positief invloed. Het bevestigt de verwachtingen.	Positief invloed. Het bevestigt de verwachtingen, van met name de biomassa-actoren.	Geen positieve stimulans. Kansen worden gezocht op Europees niveau.
<b>Factor 2:</b> het wegnemen van financiële en juridische belemmeringen	Geen invloed, wel bedreigend voor marktpositie.	Direct positief invloed.	Onzeker over invloed van deze factor, maar de verwachting is wel dat het een positief invloed zal kunnen hebben.
<b>Factor 3:</b> een financiële waardering toe te kennen aan het milieu	Direct positief invloed.	Slechts bij stijgende emissieprijsen een positief invloed.	Pas bij zeer hoge emissieprijsen een positief invloed.
<b>Factor 4:</b> het stimuleren van efficiënter technologieën	De verwachting is dat het direct een positief invloed zal hebben zodra het wordt geïmplementeerd.	De verwachting is dat het direct een positief invloed zal hebben zodra het wordt geïmplementeerd.	Geen invloed, doordat waterstoftechnologie nog te veel in ontwikkeling is.
<b>Factor 5:</b> het stimuleren van innovaties en technologische ontwikkelingen	Positief invloed, waarbij voornamelijk onderzoek wordt gedaan naar productontwikkeling voor marktintroductie.	Positief invloed, waarbij voornamelijk toegepast onderzoek wordt gedaan naar de haalbaarheid van nieuwe concepten.	Positief invloed, waarbij enerzijds onderzoek wordt gedaan naar productontwikkeling voor marktintroductie en anderzijds toegepast onderzoek naar de haalbaarheid van opslagconcepten.

Achterliggende gedachte bij de vijf verschillende factoren is dat de overheid niet direct technologieontwikkelingen aanstuurt, maar dat de marktpartijen zelf in staat zijn om vorm te geven aan innovaties. Marktpartijen hebben slechts stimulans nodig om de drempel daartoe te verlagen, oftewel de mogelijke risico's te verkleinen. Daarnaast bewerkstelligen deze vijf factoren impliciet een nieuwe competitiedrang tussen de verschillende energiewerelden op het terrein van duurzaamheid en milieu.

## 7. Technologische regimes

De vorige vier hoofdstukken geven een indruk hoe divers de Nederlandse energiewereld in de praktijk is. De drie afzonderlijke energiewerelden van aardgas, duurzame energie en waterstof verschillen op veel aspecten van elkaar. Ze verschillen van technologieën, actoren, grootte en maatschappelijke invloed. Daarbij heeft elk wereld zijn eigen interne ontwikkelingen en verwachtingen over toekomstige maatschappelijke - en technologische ontwikkelingen. Daardoor zijn ze lastig met elkaar te vergelijken en te analyseren.

Het concept van technologische regimes (Van de Poel, 1998) biedt een mogelijkheid om de verschillende energiewerelden met elkaar te vergelijken. Een technologisch regime, zoals beschreven in hoofdstuk 2, is gedefinieerd als het geheel van regels die een rol spelen bij het ontwerp en de verdere ontwikkeling van een techniek en/ of technologie. Kenmerkend aan een technologisch regime is dat deze bestaat uit een groep actoren, deze actoren houden zich bezig met specifieke technologie(en), de actoren hebben een uitgesproken perceptie op andere technologische regimes en elk technologische regime heeft een kenmerkende innovatiepatroon. Aan de hand van deze kenmerken worden de verschillende energiewerelden in de vorm van een technologisch regime beschreven.

### 7.1 Aardgaswereld

#### **Actoren, verwachtingen en innovatiepatronen**

Aardgas en Nederland zijn onlosmakelijk met elkaar verbonden. Dit komt tot uiting in hoe de actoren zich in het gasgebouw hebben georganiseerd. Het gasgebouw is sinds 1963 een unieke samenwerking tussen private ondernemingen en publieke instellingen. De verdeling van de rollen in het gasgebouw is als volgt: de Nederlandse Aardgas Maatschappij (NAM; overheidsinstantie), Shell (privaat) en Esso (privaat) zijn verantwoordelijk voor de winning van aardgas. De GasUnie (overheidsinstantie) is verantwoordelijk voor de levering van het gas aan de huishoudens via energiebedrijven, zoals Essent en Eneco.

Niet alleen de typering van actoren is kenmerkend voor een technologisch regime, ook hoe innovatiepatronen zich voordoen binnen de aardgaswereld. Voorbeeld daarvan is het aanleggen van het hogedrukaardgasnetwerk begin jaren 1960. Het aanleggen was in eerste instantie een idee van Esso. De opkomst van kernenergie voedde namelijk de angst dat de kostprijs van energie aanzienlijk zou dalen. Vanuit dat perspectief was het essentieel dat het Gronings aardgas zo snel en goedkoop mogelijk bij de eindverbruiker terecht moest komen. Met een nationale campagne werd binnen zes maanden 1200 kilometer buis gelegd, dwars door bossen heen en onder wegen en kanalen door. Tegelijkertijd met het aanleggen van de aardgasleiding moest zoveel mogelijk eindverbruikers worden overtuigd om over te stappen op het Groningse aardgas. Industrie en vooral huishoudens werden door middel van reclamecampagnes duidelijk gemaakt van de voordelen van aardgas. Deze wijze van een technologie in de markt zetten lijkt op de 'missie georiënteerde innovatiepatroon' beschreven door Van de Poel (1998); innovaties worden gebaseerd op een missie geformuleerd door overheidsinstanties, in dit geval de nationale overheid die de missie stelt dat 'aardgas beschikbaar moet zijn voor ieder Nederlands huishouden'.

Tegenwoordig worden innovaties en veranderingen in de aardgaswereld voornamelijk teweeg gebracht door onafhankelijke gespecialiseerde instellingen en ondernemingen, zoals ECN, TNO en GasUnie Research. Dit is terug te zien in waar trends en ontwikkelingen rondom aardgas ontstaan en worden uitontwikkeld, zie hoofdstuk 3.2. Deze instellingen en ondernemingen hebben niets meer met de productie en levering van aardgas te maken. Ze richten zich uitsluitend op het oplossen van problemen en het (door)ontwikkelen van technologie. Deze vorm van innovatie lijkt op een '*R&D (Research & Development) afhankelijke innovatiepatroon*' (Van de Poel, 1998); innovaties beginnen gewoonlijk met nieuwe technologische beloften en verwachtingen gebaseerd op nieuwe wetenschappelijke - en technologische ideeën ontwikkelt in R&D-laboratoria en -instituten.

Kortom de aardgaswereld wordt bevolkt, gestuurd en bestuurd door voornamelijk *ontwerpers, producenten en regulatoren* (Van de Poel, 1998), zoals private partijen, als Shell en Exxon en de (Europese) overheid. De aardgaswereld wordt tegenwoordig gekenmerkt door een '*R&D (Research & Development) afhankelijke innovatiepatroon*' (Van de Poel, 1998); innovaties beginnen gewoonlijk met nieuwe technologische beloften en verwachtingen gebaseerd op nieuwe wetenschappelijke en technologische ideeën ontwikkeld in R&D laboratoria en instituten. De fundamenteën van de aardgaswereld zijn mede tot stand gekomen door een in het verleden overheidsgestuurde missiegedreven innovatiepatroon.

### **Guiding principles, (ontwerp)eisen/ regels**

Veiligheid, continu levering en prijs zijn de drie belangrijkste guiding principles binnen de aardgaswereld. Wanneer één van deze drie guiding principles niet aanwezig is, zal dit grote gevolgen hebben voor de samenleving. Gaslekken, explosies, stijgende gasprijzen en (mogelijke) leveringsproblemen zijn de laatste jaren regelmatig in de media aan de orde geweest. Binnen de aardgaswereld worden deze guiding principles vertaald naar veiliger, effectiever en efficiënter toepassen van aardgas.

Binnen de aardgaswereld is een dominante ontwerpregel aanwezig, de zogenaamde Wobbe-index. Door het bijmengen van andere gassen ontstaat een homogeen product dat kwalitatief past in de Wobbe-index. Dit wordt gedaan om ten eerste geen gevaarlijke situaties te veroorzaken (zie de guiding principles), maar ook om het aardgas gebruiksvriendelijk te maken. De Wobbe-index vormt een ontwerp-eis voor alle apparaten die aangesloten kunnen worden op het nationale aardgasnetwerk, zoals gaskachels, gasfornuizen en cv-ketels. Al deze apparaten zijn ontworpen dat ze uitsluitend overweg kunnen met aardgas wat kwalitatief binnen de Wobbe-index past. In hoofdstuk 3.1 is dit aspect verder uitgewerkt.

Kortom veiligheid, continu levering en prijs zijn de drie meest belangrijke guiding principles binnen de aardgaswereld. Daarnaast is binnen deze wereld een dominante ontwerpregel aanwezig, de zogenaamde Wobbe-index. De Wobbe-index is een kwaliteitseis voor aardgas.

### **Technologieën en niches**

Naast guiding principles en ontwerp-eisen zijn tal van technologieën in ontwikkeling binnen de aardgaswereld. Voorbeeld daarvan zijn technologieën die aardgas omzetten naar warmte en elektriciteit via WKK. Een ander voorbeeld daarvan zijn technologieën die aardgas omzetten naar beweging voor o.a. gebruik in voertuigen (CNG). Van deze technologieën is WKK-technologie doorgebroken in Nederland en daardoor uit de technologische niche, zie hoofdstuk 3.2.1. Echter, vervoer op aardgas is in Nederland amper maatschappelijk ingebed. Het principe van rijden op aardgas (CNG) is een bekend en betrouwbaar technologie. Het lijkt alsof rijden op aardgas kampt met een 'kip-ei' probleem: marktpartijen zijn niet bereid te

investeren in de benodigde infrastructuur van aardgasvulstations omdat er niet of nauwelijks gebruikers zijn, en de gebruikers schaffen geen aardgasvoertuigen aan omdat er geen infrastructuur is. Daardoor bevindt de technologie van CNG zich in een marktniche.

Een aantal trends doen zich voor binnen de aardgaswereld. Niet alle trends zijn even experimenteel. Sommige trends zijn ver doorgebroken, anderen bevinden zich in marktniches, terwijl een klein aantal zich nog in technologische niches bevinden. In de laatste categorie valt bijvoorbeeld de micro-WKK.

### **Perceptie op waterstof**

Waterstof wordt binnen de aardgaswereld gebruikt om laagcalorisch aardgas bij te mengen om te voldoen aan de Wobbe-index. Met andere woorden door middel van waterstof wordt het lage aardgas opgewaardeerd. Waterstof is vanuit deze optiek secundair aan aardgas en louter een brandbaar gas.

Mogelijke vervanging van aardgas door waterstof is pas noodzakelijk wanneer aardgas schaars wordt of wanneer het broeikaseffect een te groot probleem wordt, aldus toekomstscenario's van ECN en GasUnie. Wanneer het aardgas schaars wordt, berekend rond 2050, kan waterstof een potentiële kandidaat worden om de maatschappij van energie te voorzien. Vandaar dat wanneer iemand uit de aardgaswereld spreekt over waterstof, dan gaat het (impliciet) over de vervanging van aardgas. De noodzaak om nu te investeren in waterstof niet begrepen binnen deze wereld.

Dit is o.a. terug te zien in de wijze waarop gerapporteerd wordt over het verloop van het NATURALHY-project, hoofdstuk 5.5.4. In verschillende documenten afkomstig van het project wordt gesproken over de Wobbe-index van waterstof en dat maximaal 17% bijmenging van waterstof bij aardgas geen probleem is.<sup>80</sup> Daarnaast klinkt de aanname door van centraal nationaal distributie van waterstofgas: hoe aardgas tegenwoordig wordt gedistribueerd is de meest ideale manier om waterstof in de toekomst te transporteren. Zodoende is er eerder sprake van actoren uit de aardgaswereld die experimenteren met waterstof, dan actoren uit de waterstofwereld die bezig zijn met aardgas.

Discussies tussen actoren uit de waterstofwereld en de aardgaswereld gaan bijna altijd over de verwachte introductiedatum van waterstof.<sup>81</sup> Actoren uit de aardgaswereld roepen dat genoeg aardgas is tot wel zeker na 2050. Daarmee verwijzen ze de toekomstverwachtingen dat een waterstofeconomie over 10 jaar mogelijk en noodzakelijk is naar de prullenbak. Volgens actoren uit de aardgaswereld zal de overgang naar een economie gebaseerd op waterstof verlopen via een transitie naar een economie die hoofdzakelijk afhankelijk is van aardgas. Technologische ontwikkelingen en trends binnen het aardgasregime bevestigen dit beeld: het is en wordt steeds meer mogelijk om zowel vervoer, huishoudens als bedrijven volledig te laten opereren op aardgas.

Uit verscheidende toekomstscenario's van GasUnie, Shell, ECN en TNO, komt naar voren dat men verwacht dat de Nederlandse samenleving eerst een transitie zal maken naar een samenleving op aardgas. De toekomstscenario's beginnen over het algemeen met een uiteenzetting over de koolstofverhouding in verschillende brandstoffen. Vervolgens wordt aangetoond dat de samenleving bij elke maatschappelijke transitie overgegaan is naar een brandstof met minder koolstofverbindingen, van turf naar steenkool, van steenkool naar

---

<sup>80</sup> State-of-the-Art, Gastransport, PIT - Nieuw Gas, Q. Hoelen, Nederlandse Gasunie, augustus 2002 SenterNovem. Tevens perceptie bevestigd in interview met O. Florisson, GasUnie Research.

<sup>81</sup> Verscheidende bezochte congressen en workshops vormen dit beeld

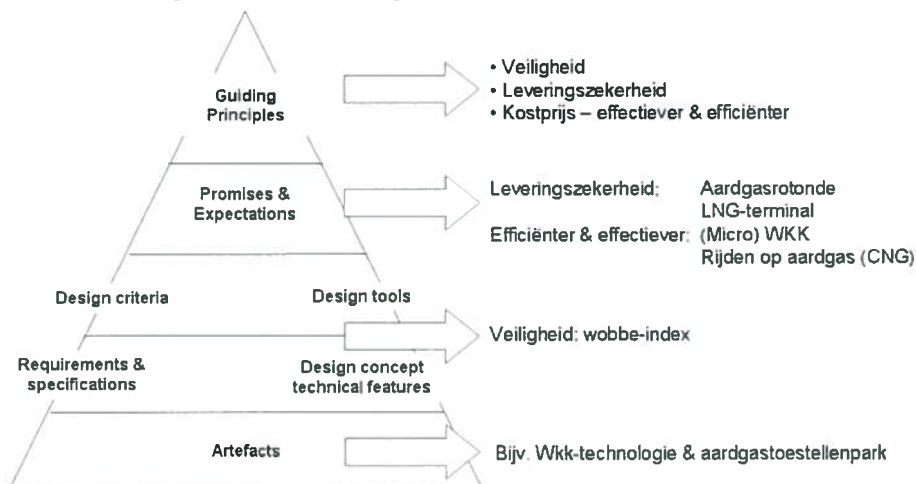
aardolie en in de nabije toekomst van aardolie naar aardgas. In dezelfde lijn wordt de waterstofeconomie gepresenteerd, als de transitie van aardgas naar waterstof.

Ander aspect wat de aardgaswereld continu aankaart is de prijs van waterstof. Deze prijs wordt gerelateerd aan de prijs van aardgas. Prijsschommelingen van fossiele brandstoffen, zowel benzine als aardgas zijn dagelijkse nieuwsfeiten. Dit aspect beheerst het gedachtegoed van de aardgaswereld. Vanuit dit perspectief is het logisch dat de prijs van waterstof constant ter discussie wordt gesteld. Waterstof wordt immers grotendeels uit aardgas geproduceerd. Daarnaast zijn de technologieën die gebruik maken van waterstof nog in concept- of ontwikkelingsfase. Hoe kan dan worden gesteld dat een waterstofeconomie een logische stap vooruit is als een meer bekend en goedkoper alternatief voorhanden is, namelijk aardgas. Kortom waterstof wordt niet serieus genomen als alternatief, hooguit als mogelijke vervanging voor wanneer aardgas schaars wordt.

Kortom de aardgaswereld kent een uitgesproken visie op de ontwikkeling en het bestaansrecht van waterstof en waterstoftechnologie; waterstof is een mogelijke vervanger van aardgas wanneer deze schaars zal worden, pas omstreeks 2050.

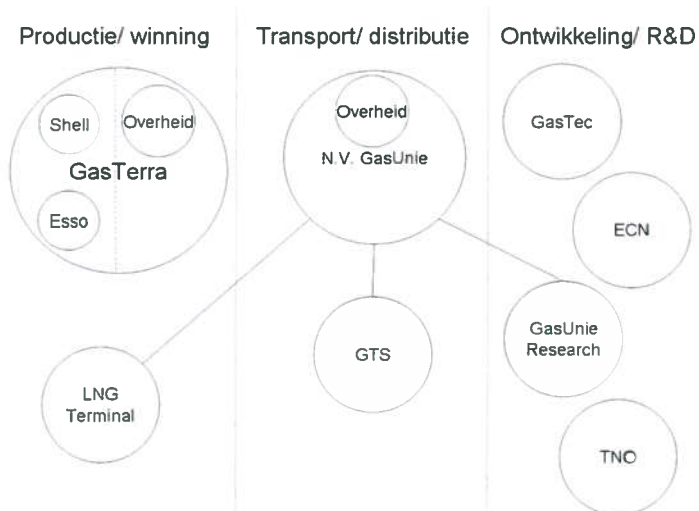
### Conclusie

Er is een specifieke groep van actoren, die op een karakteristieke wijze samenwerken, onderling afspraken maken en deze wereld vorm geven. Daarnaast bestaan er duidelijke *guiding principles* en ontwerpcriteria en -regels binnen de aardgaswereld. De aardgaswereld kent karakteristieke innovatiepatronen. De actoren vormen daarnaast een uitgesproken mening over bepaalde technologie-ontwikkelingen, in het bijzonder over waterstoftechnologie-ontwikkelingen. Gezien de verschillende unieke typeringen van de aardgaswereld kan de aardgaswereld worden gedefinieerd als een technologisch regime (Van de Poel). Kortom er kan worden gesproken over een unieke technologisch aardgasregime in Nederland, uitgebeeld in de volgende figuren.



**Figuur 25: Technologisch regime van aardgas**





**Figuur 26: Configuratie van actoren binnen het technologisch regime van aardgas**

## 7.2 Duurzame energiewerelden

### Actoren

Nederland kent grofweg een drietal verschillende duurzame energiewerelden van biomassa, van windenergie en van zonne-energie. Duurzame energie, voornamelijk wind- en zonne-energie, is grotendeels afhankelijk van externe factoren, zoals marktwerking en stimuleringsmaatregelen. Veranderingen in dit socio-technisch landschap kunnen zeer snel plaatsvinden, zie als voorbeeld de discussie rondom offshore windmolenparken.<sup>82</sup> Zonder subsidies zouden geen van deze werelden kunnen concurreren met andere energietechnologieën, zoals aardgas. Wanneer een subsidiemaatregel wegvalt of politieke steun verdwijnt, krimpt de afzetmarkt voor duurzame energie snel. Zeer weinig duurzame energietechnologieën kennen een marktniche zonder overheidssteun.<sup>83</sup> Dit betekent dat actoren binnen de duurzame energiewereld zeer flexibel moeten kunnen opereren.

In tegenstelling tot het strakke, gecentraliseerde aardgaswereld wordt binnen het duurzame energie wereld alles projectmatig aangepakt. Daardoor kan snel op het wisselende socio-technisch landschap worden ingespeeld zonder al te veel tijd en investeringen te verliezen. Dit betekent dat elk project uniek is en bestaat uit een unieke samenstelling van actoren.<sup>84</sup>

Daarnaast hebben de duurzame energiewerelden een aantal guiding principles en ontwerpcriteria gemeen; ze benaderen een probleem vanuit de oplossingsrichting genaamd Trias Energetica. Deze oplossingsrichting blijkt een terugkerend ontwerpcriteria te zijn wanneer een duurzame energie-installatie voor een klant wordt ontworpen. Dit terwijl de klant

<sup>82</sup> NRC bericht op 12 september 2005 dat CDA en VVD over de plannen twisten van een windmolenpark op zee. Dit is het zoveelste uitstel van de bouwplannen die al 5 jaar klaar liggen (bron: interview Siemens). Anno 2007 worden de eerste windmolens geplaatst.

Dit is niet alleen een kwestie van het Nederlands duurzame energieregime: Trouw meldt op 17 augustus 2005 dat de Belgische regering plotseling heeft besloten om te stoppen met bouwplannen voor 50 windmolens op zee. Dit terwijl de vergunningen al waren goedgekeurd.

<sup>83</sup> Een economische niche voor duurzame energie is bijvoorbeeld de recreatieve sector, voorbeeld hiervan zijn zonnepanelen en windturbines voor de recreatievaart en caravans.

<sup>84</sup> Een project is het geheel van activiteiten uit te voeren door meerdere specialistische groepen in een tijdelijk samenwerkingsverband dat gericht is op een duidelijk gespecificeerd resultaat dat binnen een begrensde tijd en met begrensde middelen bereikt dient te worden. 'Grondslagen van management' Keuning 1999

niet altijd voor de meest duurzame optie kiest, maar juist investeert in het zichtbaar maken aan de buitenwereld hoe duurzaam hij/zij wel niet is.

Efficiënter is een ander terugkerende ontwerpeis bij elk duurzame energietechnologie. Ontwerpcriteria daarbij is dat de duurzame energietechnologie in kwestie concurrerend moet zijn met de prijs van fossiele brandstoffen. Deze twee guiding principles en ontwerpcriteria zijn terug te vinden in elk afzonderlijke duurzame energiewereld.

Kortom actoren binnen het duurzame energiewereld werken op projectmatige basis met elkaar samen. Een van de guiding principle's is Trias Energetica. Dit betekent dat elk project uniek is en bestaat uit een unieke samenstelling van actoren. De actoren worden gedreven om zo effectief en efficiënt mogelijk energie te produceren, terwijl aan de andere kant de klant eerder de behoefte heeft om slechts duurzaamheid uit te stralen.

### **Biomassawereld**

De biomassawereld in Nederland bestaat uit een drietal stromingen. De eerste maakt gebruik van vaste droge biomassa, deze biomassa wordt voornamelijk verstoekt in energiecentrales. De tweede stroming binnen de biomassa maakt een brandbaar vloeistof uit biomassa dat als brandstof kan dienen voor voertuigen, biobrandstoffen. De derde stroming produceert een brandbaar gas uit biomassa. Elke stroming kent een dominantie van universiteiten en onderzoeksinstellingen die de technologie naar een hoger niveau probeert te tillen. Elk onderzoeksinstituut en universiteit heeft haar eigen specialisme. Ondanks het verschil in eindproduct kenmerkt de biomassawereld zich aan de hand van een R&D (Research & Development) afhankelijke innovatiepatroon. Daarmee is direct een link gelegd naar het type actor dat voornamelijk terug te vinden is in de duurzame energiewereld, namelijk onderzoekers.

In essentie hebben de driewerelden dezelfde basisverwachting; dat ze een fossiele brandstof eerst zal aanvullen en uiteindelijk in de toekomst zal vervangen. De biogaswereld gaat ervan uit dat ze kan aansluiten op het aardgasnetwerk en in de toekomst als vervanger kan dienen voor aardgas. Actoren verbonden aan biobrandstoffen zien een wereld voor zich waar aardolie vervangen wordt door biobrandstoffen. Deze twee werelden merken wel dat aansluiting op of als aanvulling dienen op het aanbod van fossiele brandstoffen lastiger is dan verwacht. Maatschappelijke en/ of politieke hindernissen, padafhankelijkheden, kip-ei problematiek en technologische aansluiting blijken grotere knelpunten dan in eerste instantie verwacht.

Het bijstoken van biomassa in energiecentrales blijkt vooralsnog het minste problematisch te zijn. Deze groep actoren heeft weinig pretentie om louter als vervanging van steenkool of aardgas in energiecentrales te dienen. Nu moet biomassa worden geïmporteerd om te voldoen aan slechts 1,2% van de energievraag in Nederland. Deze groep actoren is al een stap verder met de maatschappelijke inbedding en realiseren zich dat het lastig is om voldoende biomassa te verkrijgen voor een lage prijs om concurrerend te blijven.

De 'biomassawereld' kenmerkt zich aan de hand van een *R&D-gedreven innovatieproces* (Van de Poel, 1998). In essentie heeft de biomassawereld de verwachting dat ze fossiele brandstoffen eerst zal aanvullen en uiteindelijk zal vervangen in de toekomst. Actoren rondom de meest maatschappelijk ingebedde biomassatechnologie, het bijstoken van biomassa, realiseren zich dat het lastig is om voldoende biomassa te verkrijgen om als volledige vervanging voor fossiele brandstoffen te dienen.

## Windenergiewereld

De windenergiewereld in Nederland bestaat in principe uit twee stromingen: traditionele windturbines en urban windturbines. Traditionele windturbines worden geïmporteerd uit bijvoorbeeld Duitsland of Denemarken. Binnen Nederland vallen actoren rondom deze technologie onder de groep professionele gebruikers. Ze stellen vast wat de optimale oplossing is voor de klant of situatie. Installatie vindt plaats op basis van het 'turn key'-principe.<sup>85</sup> Het windmolenpark op zee bij Egmond dient hierbij als voorbeeld.<sup>86</sup> De traditionele windturbine wereld wordt hoofdzakelijk bevolkt door handelaren van windturbines. Deze groep ontwikkelt de traditionele windturbine verder tot een efficiënter apparaat met een hoger rendement. Dit maakt het mogelijk om kleine, verouderde, turbines te vervangen voor één groter maar efficiëntere turbine met een hogere opbrengst (repowering). Kortom binnen de traditionele windtechnologie wordt het innovatieproces voornamelijk gedreven vanuit de leverancier van de producten en slechts sporadisch vanuit de specifieke wensen van de gebruiker.

De tweede stroming in tegenstelling tot de eerste staat geheel in het teken van de klant. Ondernemingen binnen deze stroming importeren of produceren kleine windturbines voor plaatsing op daken van flatgebouwen in steden. Windturbines op een gebouw stralen een bepaald imago uit, die voor klanten aantrekkelijk kan zijn: duurzaamheid. Dit houdt in dat urban turbines zeer afhankelijk zijn van de wensen en behoeftes van klanten. In tegenstelling tot de eerste stroming kent deze stroming een meer klantgedreven innovatie patroon, terwijl ze door producenten en leveranciers wordt bevolkt.

De markt voor windturbines wordt bevolkt door *professionele gebruikers*, waarbij ontwikkelingen en innovaties voortkomen uit een *leverancier afhankelijk innovatie patroon*. Echter, het zijn uiteindelijk de professionals en gebruikers die bepalen of iets wordt aangeschaft en wat wordt aangeschaft: *user-driven*. Er zijn twee duidelijke verwachtingsstromen te identificeren, één die uitgaat van groter, efficiënter en effectiever, en de ander dat uitgaat van kleiner, op vooral stedelijke locaties en meer inpasbaar.

## Zonne-energiewereld

Sinds het ontstaan van zonne-energie als technologie, voornamelijk zonnepanelen, zijn veel verwachtingen hieraan toegedicht. Van deze verwachtingen zijn er slechts luttele waar gemaakt. Dit vanwege dat technologische ontwikkelingen achterblijven bij de uitgesproken verwachtingen. Desondanks blijft de verwachte rol voor zonne-energie, met name voor zonnepanelen beloftevol.<sup>87</sup>

Deze verwachting werd niet gedeeld door de Nederlandse regering. In 2003 was ze van mening dat geen rol was weggelegd voor zonnepanelen om te voldoen aan de beloofde reductie-eis uit het Kyoto-protocol. Zodoende werd de subsidie op de aanschaf van zonnepanelen afgeschaft. Dit had tot gevolg dat, juist in de periode van mondiale opbloei van de zonnecelwereld, de Nederlandse afzetmarkt voor zonnepanelen verdween.<sup>88</sup>

---

<sup>85</sup> 'turn key'-principe: het wordt geheel opererend opgeleverd.

<sup>86</sup> Onder de naam van Noordzeewind hebben Shell en Nuon zich verenigd om een windmolenpark op zee ter hoogte van Egmond aan Zee te bouwen. De 36 windmolens van 3MW elk worden ingekocht bij Vestas, een Deense onderneming. De windturbines worden geplaatst en vervolgens opgeleverd aan de beheersenergiemaatschappij. Beheer en onderhoud worden uitbesteed aan specialistische bedrijven.

<sup>87</sup> WBGU - Voorspelling mondiale energievoorziening tot 2050/ 2100

<sup>88</sup> Onder de mondiale opbloei van de zonne-energiewereld wordt verstaan een marktgroei van 30% in de afgelopen jaren, het oprichten van een Europees platform voor zonnecellen en het verkrijgen van toegewezen leveranciers voor silicone. Eerder werd het silicone voor zonnecellen geleverd door de reststroom van

Dit heeft geleid tot een zonne-energie wereld dat bevolkt werd door producten, leveranciers, installateurs en onderzoekers veranderde in een wereld waarin hoofdzakelijk onderzoekers waren. Tegenwoordig kenmerkt deze wereld zich aan de hand van een hoofdzakelijk R&D-gedreven innovatiepatroon. Het voorbeeld van de unieke Nederlandse configuratie van zonnepanelen geeft aan dat gebruikers invloed hadden op de innovatiepatroon binnen de zonne-energie wereld.

De Nederlandse zonne-energie wereld, in het bijzonder de zonnepanelen wereld kenmerkt zich aan de hand van een *R&D (Research & Development) afhankelijke innovatiepatroon*. Ze wordt op dit moment, met de huidige socio-technisch landschapsfactoren hoofdzakelijk bevolkt door *onderzoekers en leveranciers*. In het verleden was er sprake van een *klant-gedreven innovatieproces*.

### **Perceptie op waterstof**

In 2004 verklaarde de Europese overkoepelende vereniging voor alle duurzame energiebronnen (European Renewable Energy Council, EREC)<sup>89</sup> dat ze niet louter waterstof zal promoten als de toekomst. Haar eerste argument is dat waterstof slechts zo schoon is als de wijze waarop het wordt geproduceerd. Ten tweede is waterstof slechts een van de vele manieren om energie op te slaan of om energiepieken op te vangen. Andere manieren zijn bijvoorbeeld ‘pumped hydro’, verschillende soorten batterijen en vliegwiel.<sup>90</sup> Dit zijn allemaal bekende methoden die vaak hetzelfde of zelfs een hoger rendement hebben en zeker meer economisch te zijn dan waterstofsysteem tot nu toe. EREC waarschuwt dan ook dat door waterstof te ‘hopen’ andere technologieën naar de zijlijn worden geduwd en geen kans van slagen maken.

Daarnaast verwerpt EREC het statement dat waterstof noodzakelijk is voor de ontwikkeling van duurzame energiebronnen. Het is volgens de EREC juist dat duurzame energiebronnen noodzakelijk zijn voor het slagen van waterstof. Het lijkt EREC zodoende verstandig om ‘groene’ of ‘duurzame’ waterstof te definiëren. Dit zal in de toekomst de acceptatie van waterstof als middel tot een duurzame samenleving vergroten.

Deze visie wordt bevestigd in het gehouden interview met Prof. Dr. Sinke, sinds 1999 unitmanager Zonne-energie bij het Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) in Petten en gerenommeerde wetenschapper in de zonne-energie, stelt hij dat het nog maar de vraag is of waterstof wel bij de winnaars zal horen omdat waterstof uitgaat van een maatschappelijke breed gedragen integrale oplossing. Tegenwoordig wordt steeds meer onderzoek gedaan naar oplaadbare ‘super’ batterijen of pomp accumulatie. Dit zijn meer lokale oplossingen die makkelijker en goedkoper inpasbaar zijn.

---

computerchipsfabrikanten. Sinds begin 2005 heeft deze industrie silicone leveranciers gekregen die uitsluitend voor deze markt leveren.

<sup>89</sup> EREC is de overkoepelde instantie voor de volgende verenigingen en commissies:

- EPIA (European Photovoltaic Industry Association),
- ESHA (European Small Hydropower Association),
- ESTIF (European Solar Thermal Industry Federation),
- EUBIA (European Biomass Industry Association),
- EUREC Agency (European Renewable Energy Research Centres Agency) and
- EWEA (European Wind Energy Association)

<sup>90</sup> Overtollige elektriciteit gebruiken om water omhoog te pompen om later weer om te zetten naar elektriciteit, een bekend verschijnsel in het buitenland. Het sprekend voorbeeld hiervan is de waterkrachtcentrale bij Locarno, Zwitserland. De waterkrachtcentrale pompt 's nachts water omhoog in het stuwmeer wanneer de elektriciteitsprijs laag is en produceert elektriciteit overdag wanneer de elektriciteitsprijs hoog is.

Dhr. Sinke voorziet dat in de toekomst niet één technologie of een opslagmedium dominant zal zijn. Voor elke situatie zal afzonderlijk worden bekeken wat de meest praktische en economische oplossing is om energievraag en energieaanbod op elkaar af te stemmen. Hij wijst er ook op dat waterstof een achilleshiel kent: pas als iedereen en bijna elke technologie waterstof zal gebruiken wordt het economisch rendabel om waterstof te gebruiken. Tot die tijd zijn andere opties veel kosteffectiever. Daarnaast is waterstof een integrale oplossing, niet een lokale oplossing om energievraag en –aanbod op elkaar af te stemmen.<sup>91</sup>

In het gehouden interview met dhr. Penninger, directeur van SPARQLE, maakte hij duidelijk dat hij geen waterstofeconomie als zodanig voorziet in de nabije toekomst. Hij voorziet eerder dat waterstof bepaalde niches opvult. Zijn perceptie op waterstof is dat waterstof niet meer en niet minder is dan een brandbaar gas. Hij geloofd dat in de toekomst eerder een aardgaseconomie zal zijn dan een waterstofeconomie. Dit houdt in dat de samenleving hoofdzakelijk haar energiebehoefte haalt uit aardgas, in plaats van waterstof. Duurzame energietechnologieën zijn niet het middel om de maatschappij van betrouwbaar energie te voorzien. Deze perceptie op waterstof sluit aan bij wat ECN in verschillende rapporten verkondigd en het interview gehouden met K. van der Klein, directeur ECN.

### **Conclusie**

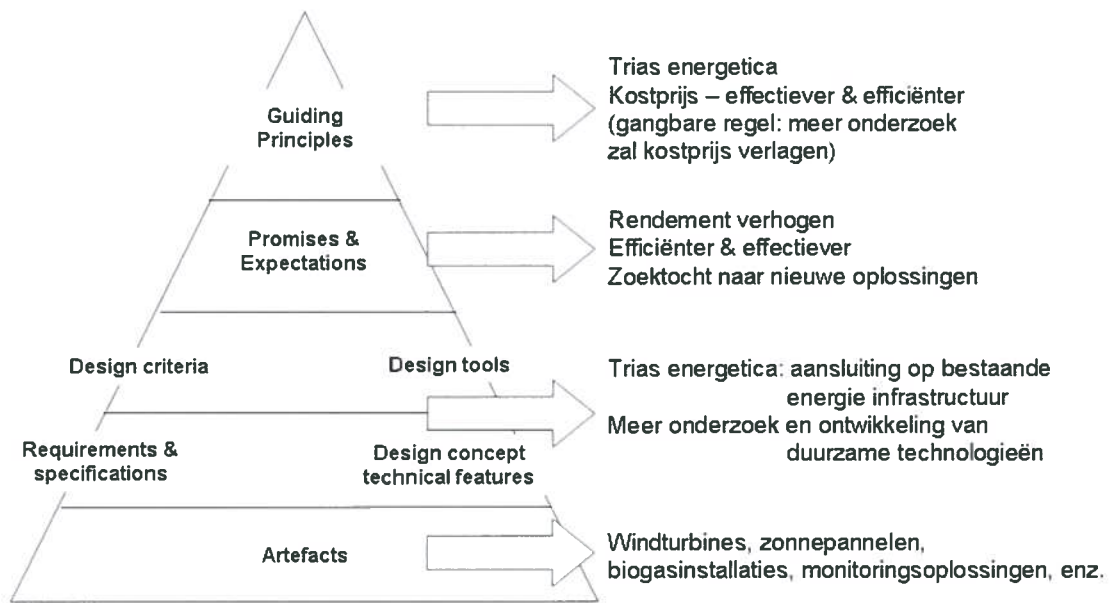
Duurzame energiewereld bestaat uit verschillende stromingen en technologieën. Ondanks dat elke technologie binnen de duurzame energie wereld haar eigen unieke groepering aan actoren, ontwerpregels en ontwikkelingen kent, kan worden gesteld dat het duurzame energiewereld een aantal algemeen geldende guiding principles, verwachtingen en zoekrichtingen heeft. Opvallend is dat de meest voorkomende innovatiepatroon de R&D (Research & Development) afhankelijke innovatie patroon is. Dit houdt bijna automatisch in dat het meest voorkomende type actor in de duurzame energiewereld de onderzoeker is. De zoektocht naar efficiënter en effectiever duurzame energietechnologieën wordt zodoende vertaald in de roep om meer fundamenteel onderzoek.

Wat ook duidelijk naar voren komt, is dat de verschillende duurzame energiewerelden zich duidelijk hebben uitgesproken tegen de massale aandacht die waterstof op dit moment krijgt. Ze wijzen erop dat duurzame energie waterstof een groter toegevoegde waarde kan geven, door het echt milieuvriendelijk te maken. Ze vinden dat daarin de kracht van waterstof moet liggen.

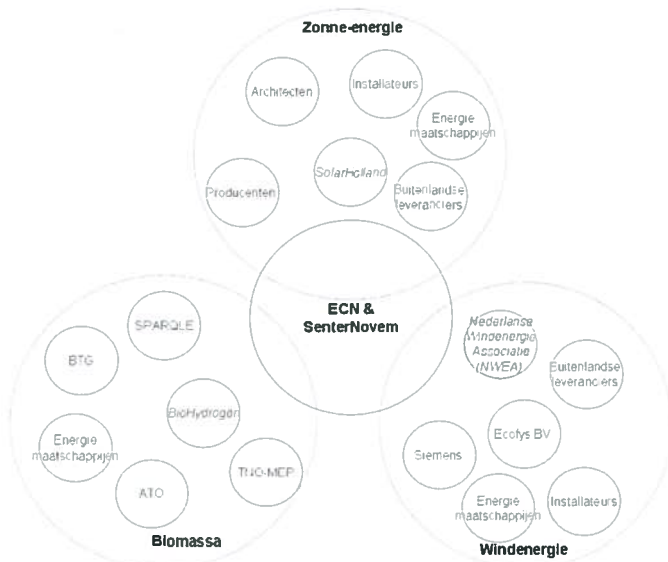
Kortom door het concept technologische regimes op deze gemengde wereld te projecteren komt een technologisch gemengd samengesteld duurzame energieregime naar voren, waarin actoren soms op gespannen voet staan en soms met elkaar samenwerken. Actoren die gedeelde guiding principles hebben, dezelfde oplossingsrichtingen kiezen, gekenmerkt worden door dezelfde innovatiepatroon en voornamelijk uit dezelfde type actor bestaat. Een technologisch regime waarin de actoren ook een gedeelde perceptie hebben op waterstof en haar rol in de toekomst.

---

<sup>91</sup> Lokale oplossingen bieden voor een lokaal energieprobleem is juist een speerpunt voor zonne-energie.



**Figuur 27: Technologisch regime van (samengestelde) duurzame energie**



**Figuur 28: voorstelling van de verzameling van verschillende werelden die het duurzame energieregime vormen**

## 7.3 Waterstofwereld

### Guiding principles & (Ontwerp) Regels

De meest dominante regel rondom waterstof is veiligheid. Waterstof is namelijk geurloos, kleurloos en zeer brandbaar. Daarbij is de snelheid waarmee de vlam van waterstof voortbeweegt het hoogst van alle gassen. Vier eigenschappen die tot zeer gevaarlijke situaties kunnen leiden. Waterstof heeft een zeer negatief imago onder het publiek.<sup>92</sup> Kortom veiligheid is een cruciale ontwerpeis voor de acceptatie door het publiek.

Een andere reden waarom veiligheid de meest dominante regel is komt doordat het nieuwe producten zijn. Nieuwe producten en technologieën moeten eerst aan het publiek worden voorgesteld en het publiek moet daar nog mee leren omgaan. Mochten hierbij ongelukken gebeuren dan zal dat de acceptatie en integratie van waterstoftechnologie in de maatschappij hinder van ondervinden.<sup>93</sup> Vandaar dat het product praktisch inherent veilig moet zijn wil het een mogelijkheid hebben op een succesvolle marktintroductie.

Naast veiligheid haken actoren aan bij het concept van Trias Energetica uit het duurzame energieregime. Verminder eerst de energiebehoefte. Zorg dan dat duurzame energie zoveel mogelijk de energievraag kan voldoen, bij voorkeur in samenspel met waterstof. Pas als laatst is het wenselijk om waterstof te maken uit fossiele brandstoffen. Echter, het Trias Energetica principe staat op gespannen voet met de kostprijs van waterstof. Voor een succesvolle marktintroductie is het essentieel dat de kostprijs van waterstof zo laag mogelijk is, volgens actoren uit de waterstofwereld en aardgaswereld. Dit betekent dat waterstof gemaakt moet worden uit de meest goedkope bron, wat aardgas is. Neveneffect van dit principe is dat technologie-ontwikkelingen worden gestuurd op de efficiëntie van de productie van waterstof. Een ander dominante ontwerpregel binnen het regime.

De zoektocht naar goedkope waterstof leidt actoren tot het verkennen van de mogelijkheden van het gebruik van reststromen uit de industrie. Waterstof komt vrij als restproduct bij veel chemische processen binnen de industrie. Vaak wordt deze waterstof geloosd of verbrand als vervanging voor aardgas. Bij het gebruik van deze reststromen kan dan uit een afvalproduct energie gehaald worden. Voorbeeld van dit principe is de sinds 2007 operationele waterstofenergiecentrale van NedStack naast een fabriek van AkzoNobel in de Botlek. Waterstofgassen die normaal gesproken vrijkomen uit het proces van AkzoNobel worden via brandstofcellen omgezet naar elektriciteit en warmte.

Wat deze groepen met elkaar bindt zijn de gedeelde guiding principles, ontwerpregels en niet zozeer de verschillende verwachtingen. Veiligheid, trias energetica en prijs van waterstof zijn de meest duidelijkste voorbeelden daarvan.

---

<sup>92</sup> Het ongeluk met de zeppelin Hindenburg is in het publieke geheugen gegrift. Uit recent historisch onderzoek blijkt dat waterstof niet de oorzaak was van het neerstorten van de zeppelin, desondanks is dit wel de perceptie van het publiek. Bain, A., en W.D. van Vorst, 'The Hindenburg tragedy revisited: the fatal flaw found', *International Journal of Hydrogen Energy*, 24 (1999).

Bain, A., en U. Schmidchen, *Afterglow of a Myth: Why and how the 'Hindenburg' burnt*, op [www.dwv-info.de/pm/hindbg/hbe.htm](http://www.dwv-info.de/pm/hindbg/hbe.htm)

<sup>93</sup> Hierbij kan worden gedacht aan het onlangs mogelijk exploderen van Nokia telefoonbatterijen (Financieel Dagblad: 'Namaakbatterij veroorzaakte explosie' 18-10-2003) of vreemde stoffen in coca-cola (Financieel Dagblad: 'Coca-Cola haalt opnieuw frisdrank terug uit België' 28-5-2001) In beide gevallen daalde (tijdelijk) de verkopen, aandelen of marktaandeel van de producenten. Echter, doordat deze producenten al langer betrouwbaar op de markt opereerde en in de maatschappij/ samenleving waren ingebed betekende deze incidenten niet het einde.

## Actoren

De wens om aardgas efficiënter te benutten is het beginpunt geweest van het Nationaal Onderzoeksprogramma Brandstofcellen, beschreven in hoofdstuk 5.5.1. Daar werden de eerste contacten gelegd tussen actoren die later de waterstofwereld vorm zouden geven. Het is tegenwoordig een wereld dat bestaat uit een verzameling van allerlei verschillende actoren die niet noodzakelijkerwijs uit de aardgaswereld afkomstig zijn. Deze verzameling is grofweg op te delen in een drietal groepen actoren: traditionele industrie, nieuwe industrie en onderzoeksgroepen.

De traditionele industrie, zoals Linde Gas, Air Liquide, Air Products en Hoek Loos heeft ervaring met waterstof en waterstoftechnologie omdat ze jarenlang het gas produceren, opslaan, transporteren en verhandelen. Deze ervaring is van onmisbare waarde in een waterstofeconomie, aldus de betrokken actoren. Bij projecten geïnitieerd door deze groep actoren is het aansluiten en distributie van waterstof perfect geregeld, zoals het concept van een waterstofstation. Echter, de meeste projecten stranden op het leveren en onderhouden van een brandstofcel. Dit komt doordat deze groep actoren de technologie van brandstofcellen niet meester zijn. Het behoort niet tot de 'core business', aldus de actoren.<sup>94</sup> Deze groep ziet een waterstofeconomie grofweg als een vergroting van haar afzetmarkt.

De nieuwe waterstofindustrie is gecentraliseerd rondom brandstofcellen, m.a.w. rondom NedStack. Deze groep actoren benadert de waterstofeconomie vanuit een geheel andere insteek. Ze beschouwen projecten vanuit een ketenbenadering, waardoor ze zowel in staat zijn de productie en distributie van waterstof te regelen en ervoor te zorgen dat deze waterstof vervolgens omgezet kan worden naar elektriciteit of warmte. Probleem bij deze groep actoren is dat ze relatief 'jong' zijn, onervaren en nog niet kapitaalkrchtig genoeg zijn om demonstratieprojecten op te starten.<sup>95</sup> Daarnaast is de ontwikkeling van de verschillende waterstofproducten en technologieën mondiaal in een sneltreinvaart terecht gekomen. Daardoor is investeren in R&D commercieel aantrekkelijker, dan het opstarten van demonstratieprojecten. Investeren in onderzoek en ontwikkeling is noodzakelijk om de concurrentie uit het buitenland voor te blijven, aldus de actoren.

De actoren uit de traditionele en de nieuwe industrie delen de mening dat een waterstofwereld tot de nabije toekomst behoort. De te bewandelen ontwikkelingspad is voor deze groep niet zozeer in lange termijn onderzoekstrajecten, maar eerder in toegepast onderzoek naar concrete toepassingen voor waterstof en waterstoftechnologie. Ze verschillen van mening over of een waterstofeconomie een centraal georganiseerde energievoorziening wordt of dat het een decentraal georganiseerde energievoorziening wordt. Over het algemeen zijn ze van mening dat het door middel van marktniches en economische gunstige oplossingen een waterstofeconomie kan worden gerealiseerd. Ze bewijzen dat een start maken aan een waterstofeconomie mogelijk is met slechts af en toe een financiële stimulans van de overheid. Dit in tegenstelling tot de volgende groep.

Onderzoeksgroepen, zoals ECN, binden meer geloofwaardigheid aan een meer overheidsgestuurde transitie naar een waterstofeconomie. Waarbij de algemene consensus binnen deze groep lijkt te zijn dat meer fundamenteel onderzoek tot betere technologie zal

---

<sup>94</sup> Uitspraak afkomstig van een vertegenwoordiger van HoekLoos tijdens het congres "commercialisering van het waterstofideaal"

<sup>95</sup> Met de komst van een brandstofcelenergiecentrale bij AkzoNobel op de Botlek in 2007 is deze constatering niet meer van toepassing.



leiden. Dit houdt tevens in dat deze groep actoren een waterstofeconomie nog niet tot de korte termijn opties rekent.<sup>96</sup>

Een niet te vergeten groep actoren is een verzameling van actoren uit zowel het aardgasregime als het duurzame energieregime om hun technologie en kennis te koppelen aan waterstoftechnologie, zoals Shell en GasUnie. Er kan worden gesteld dat deze grote multinationals over de grenzen van hun technologisch regime begonnen te kijken op de dag dat Shell besloot om Shell Hydrogen op te richten.<sup>97</sup> Shell Hydrogen opereert hoofdzakelijk op internationaal niveau als trekker in grote internationale waterstofprojecten en als voorzitter van het Europees waterstoftechnologieplatform. Op nationaal niveau experimenteert GasUnie met waterstof door het hoge druk aardgasnetwerk. Deze grote concerns zijn de kapitaalkrachtige organisaties binnen deze wereld. Ze hebben geld en middelen om demonstratieprojecten en prototypen te financieren.

Ondanks de verschillen in opvattingen over hoe de toekomstige wereld eruit zal zien werken deze groepen actoren wel met elkaar samen. Het valt op dat bij het testen van prototypen of demonstratieprojecten deze groepen niet strikt gescheiden zijn en in redelijk stabiele projectorganisaties opereren. Dit valt enerzijds te verklaren vanwege de beperktheid van het aantal actoren in de waterstofwereld. Daarnaast is slechts een klein deel van actoren kapitaalkrchtig genoeg om investeringen te plegen in demonstratieprojecten en het overgrote deel van de actoren niet. Geen van de groepen actoren laten zich door wensen en eisen van producten of klanten sturen. Demonstratieprojecten en prototypen zijn gericht op het testen van de technologie. Al deze groepen actoren kenmerken zich door een R&D gedreven innovatiepatroon. Een ander opvallend detail is dat de groep actoren veel toetreders kent maar ook veel bedrijven en instellingen die na verloop van tijd stoppen en overstappen naar andere vakgebieden. De belofte van waterstoftechnologie lonkt, maar vergt soms te veel investeringen.

### **Komst van nieuwe actoren**

De auto-industrie is de grootste drijvende kracht, zowel financieel als technologisch achter internationale waterstofontwikkelingen. Bijna alle automobielfabrikanten zijn het erover eens dat waterstoftechnologie het voorlopige einddoel is voor de ontwikkeling van de auto. Over het te volgen technologische ontwikkelingspad bestaat nogal wat onenigheid. Sommige fabrikanten praten over de doorbraak van waterstof in 2010 anderen over 2012. Maar de waterstofdroom lijkt werkelijkheid te worden doordat de stappen in de richting van deze droom economisch worden beloond.<sup>98</sup>

---

<sup>96</sup> Rapporten van ECN en andere Europese onderzoeksinstituten spreken eerder over 2030 dan over een termijn van de komende 10 jaar.

<sup>97</sup> Op de 12de World Hydrogen Energy Conference in Buenos Aires in 1998 was de conclusie van de directie van Shell dat men niet konden zeggen dat waterstof 'niet de moeite' was. Zodoende werd besloten om Shell Hydrogen op te richten. Shell Hydrogen werkt met een budget van ca. \$120 miljoen aan het realiseren van een waterstofeconomie. Ondertussen zijn de concurrenten van Shell ook in brandstofcellen en waterstoftechnologie gestapt. Tevens nemen deze actoren uit het fossiele brandstof regime een leidende positie in discussieplatforms, bijvoorbeeld als leider van het Europees Hydrogen Technologie Platform (Shell) of financieren ze onderzoek naar waterstof (GasUnie & Shell bij NWO-ACTS).

<sup>98</sup> Het toenemende vertrouwen in waterstof blijkt wordt bevestigd door hybride voertuigen en hun omzetcijfers. De afzet van de Toyota Prius is bijvoorbeeld in 2005 met 90% gestegen ten opzichte van 2004. In VS staat de gemiddelde Prius model slechts 20 uur onverkocht bij een autodealer. Daarnaast is de perceptie van de klant dat de fabrikant innovatief en toekomstgericht is, zeker ook van belang. Bron: <http://www.china.org.cn/english/index.htm>

Bij nieuwe technologieën hoort de droom van ongekende 'booming markets'. ICT-technologie heeft met internet bewezen dat in een korte periode veel geld valt te verdienen met een nieuwe technologie en nieuwe technologische toepassingen. Net als met internet is de potentiële markt voor waterstof en brandstofcellen ongekend groot. Immers, alle apparaten hebben energie nodig. Nu waterstoftechnologie op de drempel staat voor marktintroductie staan verschillende investeringsmaatschappijen, zoals Chrystalix of SHV, klaar om een stukje van deze verwachte booming market te veroveren.

Juist de mogelijkheid dat waterstof de volgende 'booming market' kan worden trekt 'venture capitalist' aan. Venture capitalisten handelen in risicodragend vermogen dat ter beschikking wordt gesteld aan niet-beursgenoteerde ondernemingen om uiteenlopende activiteiten te financieren. Als compensatie voor de tijd en het hoge risico verlangt de venture capitalist een hoog rendement op zijn investering. Een goede winstpotentie is dus een vereiste. Vandaar dat venture capitalisten op zoek zijn naar de volgende 'booming market'. Investeringsmaatschappijen, zoals Chrystalix voorzien de volgende marktniches ontstaan over de komende perioden, zie tabel 2.

**Tabel 2: verwachtingslijnen van investeringsmaatschappij Chrystalix (bron: Chrystalix 2004)**

	<b>Micro energie voor elektronica (&lt;50W)</b>	<b>Compact mobiel (50W-3kW)</b>	<b>Stationaire Energie (&gt;3kW)</b>	<b>Mobiel (10kW – 250kW)</b>
Toepassing	Laptop opladers, mobiele telefoons, digitale camera's, horloges,	Scooters, heftrucks, schoonmaakmachines, 'backup power'	'backup power', afgelegen energiesystemen, gebouwde omgeving	Bussen, vrachtwagens, militaire voertuigen, auto's, onderzeeboten
'Early market'-kansen	<b>2004 - 2007</b> Aangewakkerd door batterij problemen (bedrijfsduur) in huidige apparaten.	<b>2003 – 2005</b> Vooral waar huidige energie infrastructuur niet toereikend is. Ook aangejaagd door batterij problemen (bedrijfsduur & oplaadtijd) in huidige apparaten.	<b>2003 – 2009</b> Recente natuurrampen hebben de kwetsbaarheid van reserve systemen aangetoond.	<b>2004 – 2010</b> Nieuwe technologie geeft unieke voordelen (militair).
Beta's & Prototypen	Eerste elektronische apparaten op methanol op de markt. Waterstof voornamelijk nog in prototype fase.	Commerciële apparaten nu al beschikbaar.	Commerciële apparaten nu al beschikbaar. Echter veel nog in prototype fase.	Onderzeeboten op waterstof. Veel prototypes in de automobielindustrie. Bussen op waterstof nog in prototype fase.
'Mass Rollout'	<b>2007 – 2010</b>	<b>2005 – 2009</b>	<b>2009 – 2012</b>	<b>2010 – 2015</b>
Commerciële aandachtspunten	Schaal verkleining Hitte controle Kosten verlaging	Betrouwbaarheid Kosten verlaging	Kosten verlaging Levensduur en betrouwbaarheid Infrastructuur vraagstukken	Kosten verlaging Infrastructuur vraagstukken Wetten Betrouwbaarheid

Een veelbelovende marktniche is de markt voor batterijen en accu's. Voornamelijk draagbare toepassingen ervaren de batterij als de meest beperkende component in het product. Huidige PDA's of laptops zouden tot veel meer in staat zijn, meer toepassingen kunnen ondersteunen als de batterij een hogere werklast aan zou kunnen en een langere bedrijfsduur zou kennen. Daarbij zijn batterijen kostbaar, hebben een betrekkelijk lage bedrijfstijd in verhouding tot de oplaadtijd en ze worden gemaakt van zeer schadelijke en gevaarlijke stoffen.

Andere actoren die de batterij als bottleneck ervaren zijn de producenten van elektrische voertuigen. Producent Spijckstaal erkent dat juist de huidige actieradius de grootste bottleneck

vormt voor de elektrische voertuigen van haar People Movers, zoals ZEUS en Parkshuttle. Daarom wordt onderzocht of brandstofcellen en waterstof beter presteren dan batterijen.<sup>99</sup> Toekomstverkenner in de waterstofwereld, o.a. E. de Nie de voorzitter van de NWV, voorspelt dat de eerste commerciële waterstofvoertuigen niet uit de reguliere auto-industrie zal komen maar uit de marktniche van elektrische voertuigenproducenten. Juist doordat deze producenten bekend zijn met lichtgewicht, elektrische aangedreven specialistische voertuigen.

De twee andere regimes van aardgas en duurzame energie krijgen moeilijk vat op deze marktniches. Aardgas kan vanwege schadelijke uitlaatgassen batterijen moeilijk vervangen, zeker in een gesloten ruimte, zoals een loods waar met een heftruck wordt gereden. Het duurzame energieregime ervaart deze marktniche als een inbreuk op de ontwikkeling van haar complementaire technologieën.<sup>100</sup> Duurzame technologieën maken veelal gebruik van batterijen of accu's als tijdelijke opslagmedium om vraag en aanbod van elektriciteit met elkaar te kunnen 'matchen'. Ontwikkelingen van een 'super batterij' worden als meer beloftevol ervaren binnen dit regime.<sup>101</sup>

Een andere misschien wel belangrijkere marktniche voor brandstofcellen kan in de toekomst WKK-centrales worden. Onlangs is onderzocht wat de grootste bronnen van fijnstof zijn in Europa.<sup>102</sup> Hierbij kwam de aardgas warmtekrachtkoppelingcentrale als de grootste vervuiler, zeker de kleinere varianten zoals de micro WKK-centrale. Waterstoftechnologie in combinatie met een brandstofcel kan daarrvoor een interessant vervanging zijn. Op het moment voert ECN, Valliant en anderen proeven uit om een brandstofcel WKK mogelijk te maken. Deze marktniche kan betekenen dat brandstoftechnologie eerder dan verwacht in de huizen van consumenten terecht komt.

## Conclusie

Al voor oprichting van het Nationaal Onderzoeksprogramma Brandstofcellen (NOB) in 1986 vond in Nederland onderzoek plaats naar brandstofcellen. Echter, wel op wetenschappelijk niveau en op kleine schaal. Deze ontwikkeling van de brandstofcel was in het kader van efficiënter gebruik van aardgas. Dit was ook de beweegreden voor het oprichten van het NOB. Dit is onder andere ook terug te zien in de verkozen te ontwikkelen type brandstofcel, de MCFC. Dit type heeft aardgas nodig als toevoergas, niet waterstof. Echter, de ontwikkeling van MCFC verliep niet zo voorspoedig als men had verwacht.

Rond 2000 werd duidelijk dat de PEM en SOFC-type brandstofcellen veel beter waren dan de MCFC. In tegenstelling tot de MCFC en de SOFC werkt de PEM brandstofcel uitsluitend op waterstof. In dezelfde periode richt Shell Shell Hydrogen op. NedStack neemt de ontwikkeling en vercommercialisering van de PEM brandstofcel over van AkzoNobel. Pakweg twee jaar later werd de Nederlandse Waterstof en Brandstofcellen vereniging

---

<sup>99</sup> Project "Application of PEM fuel cells. Fuel cell people movers" door TU Delft, ECN en Spijkstaal.

<sup>100</sup> Zie hoofdstuk 5.2 over complementaire technologieën. Desondanks deze negatieve kijk op de ontwikkelingen vanuit het duurzame energieregime meldde E. de Nie, voorzitter NVW dat begin 2006 verschillende eigenaren van Spaanse windmolenparken op zoek waren naar een oplossing om energie op te slaan. De vraag was of waterstof daarvoor zou kunnen dienen. Mocht waterstof hiertoe in staat blijken te zijn, zou dat betekenen dat windmolenparken energie vraagafhankelijk zouden kunnen leveren in plaats van aanbodafhankelijk. Dit zou betekenen dat het mogelijk wordt om het hele jaar rond continu energie te leveren net als een gewone energiecentrale. Een grote bottleneck voor windenergie zou op deze wijze door waterstoftechnologie kunnen worden opgelost.

<sup>101</sup> Een van de onderzoeksprojecten binnen Nieuw Energie Onderzoeksprogramma (NEO).

<sup>102</sup> Warmtekrachtkoppeling is de grootste producent van fijnstof in Europa, de auto komt op de zevende plaats. Bron: presentatie aan de Vereniging van Milieuprofessionals (VVM) 13 april 2006 door TNO

opgericht. Op Europees niveau ontstaat in deze periode het Europees Waterstof- en Brandstofcellen Technologie Platform. Ook werden er allerlei industriële samenwerkingsverbanden en onderzoeksprojecten opgericht. Kortom een dynamische periode waarbij allerlei activiteiten ontstaan die niet meer louter in het teken staan van efficiënter benutten van aardgas, maar zich richten op waterstof. Deze periode kan worden gedefinieerd als het ontstaan van een wereld rondom waterstoftechnologie.

Ondertussen zijn talloze actoren op verschillende niveaus actief bezig met waterstof door het opzetten van een industrie, het financieren van onderzoek en ontwikkeling of het verenigen van krachten. Het groeperen van initiatieven leidt o.a. tot specifieke en voor de waterstofwereld unieke disciplinaire, culturele en institutionele kenmerken. Er kan worden gesproken over een waterstofregime in de zin van guiding principles. Maar wanneer de beschreven waterstofwereld in het concept technologische regimes (van de Poel, 1998) wordt geplaatst, dan valt het op dat het niet geheel past. De verzameling actoren kennen nog geen unieke ontwerpregels en er zijn nog geen werkelijk artefacten. Als regime bevindt het zich nog in ontwikkeling. Het is een technologisch regime dat (nog) niet op eigen benen staat, maar wel een gedeelde verwachting najaagt: een waterstofeconomie.

## 7.4 Overzicht van de technologische regimes

Door de drie verschillende werelden te beschrijven in de vorm van technologische regimes is het mogelijk om de verschillende energiewerelden naast elkaar te presenteren, zie onderstaande tabel.

Kenmerken	Aardgasregime		Duurzame energieregime		Waterstofregime
	Biomassa	Windenergie	Zonne-energie		
Type organisatiecultuur	Strak hiërarchische organisatie met beperkte marktgerichtheid, ondernemerschap en innovatie.	Projectorganisatie met wisselende samenstellingen. Elk project is uniek.	Projectorganisatie met wisselende samenstellingen. Elk project is uniek.		Projectorganisatie met vaste samenstellingen, vanwege beperkt aantal actoren. Elk project is uniek.
Type Actoren	Ontwerpers en producenten Regulatoren	Ontwerpers en producenten	Ontwerpers en producenten	Onderzoekers	Onderzoeker/ ondernemer
Guiding principles	<ul style="list-style-type: none"> <li>Centrale energievoorziening:</li> <li>Veiligheid</li> <li>Leveringszekerheid</li> <li>Kostprijs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Decentrale energievoorziening: op locatie energieopwekking</li> <li>Lokale oplossing bieden voor een lokaal energieprobleem</li> <li>Trias Energetica</li> <li>Kostprijs – investering versus rendement</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>Flexibele opstelling in de centrale -decentrale discussie</li> <li>Veiligheid</li> <li>Trias Energetica</li> <li>Kostprijs</li> </ul>
Ontwerpcriteria	Wobbe-index	Effectiever Efficiënter Zichtbaarheid voor de klant – ‘not done’ monitoringoplossingen			Efficiënter Effectiever
Innovatiepatroon	Missie georiënteerde R&D-afhankelijk	Leverancier-afhankelijk Gebruiker-afhankelijk	Was gebruiker-afhankelijk, nu R&D-afhankelijk en Leverancier-afhankelijk		R&D-afhankelijk
Stromingen/ verwachtingen/ Technologieën	LNG-terminal Aardgasrotonde	Repowering zodat met minder turbines meer energie kan worden gewonnen	Meer rendement Kostprijs verlagen - Massa productie		Waterstof uit industriële reststromen Ontwikkeling van de brandstofcel Massaproductie

<p><b>Niches</b></p>	<p>Praktisch alle technologische trends/ nieuwe ontwikkelingen binnen dit regime zijn gesitueerd in een marktische, zoals bij warmtekrachtkoppeling en vervoer.</p>	<p>Alle duurzame energie technologieën bevinden zich in een technologische niche, slechts een bevinden zich in een marktische. Daaronder vallen voornamelijk duurzame energietechnologieën die worden toegepast in de recreatiesector.</p>	<p>Praktisch alle technologische trends/ nieuwe ontwikkelingen binnen dit regime betreffen een technologische niche. Mogelijke markten zijn het vervangen van batterijen, verbrandingsmotor, stationaire en mobiele toepassingen. Geheel nieuwe mogelijkheden van het oplossen van nationale energievraagstukken.</p>
<p><b>Perceptie op waterstofeconomie</b></p>	<p>Pas rond 2050, nadat de maatschappelijke transitie naar een aardgaseconomie is voltooid.</p> <p>Waterstof is slechts een brandbaar gas.</p>	<p>Duurzame energiebronnen zijn noodzakelijk voor het slagen van waterstof. Daarbij is het nog maar de vraag of waterstof wel bij de 'winnaars' zal horen.</p> <p>Waterstoftechnologie is een energieopslagtechnologie.</p>	<p>Mogelijk om al in 2010 de eerste concrete stappen te zetten.</p> <p>Waterstof is een integrale oplossing.</p>
<p><b>Voordeel bij de energietransitie?</b></p>	<p>Alle factoren lijken in het voordeel van aardgastecnologie te werken.</p>	<p>Niet alle factoren lijken in het voordeel van duurzame energietechnologie te werken, met uitzondering voor biomassatechnologie. Biomassa lijkt het toverwoord. Zonne-energie daarentegen bevindt zich overduidelijk in een technologische niche.</p>	<p>Niet alle factoren lijken in het voordeel van waterstoftechnologie te werken. Wat wel opvalt is dat waterstoftechnologie binnen de schaal van EOS tegen het einde van de ontwikkelingslijn bevindt.</p>
<p><b>Conclusie</b></p>	<p>Gevestigde, dominante technologische regime</p>	<p>Divers, flexibel opererende technologische regime met een aantal technologieën in technologische niches en een beperkt aantal producten in marktiches.</p>	<p>Opkomende technologische regime met een nog niet uitgekristalliseerde structuur, voornamelijk opererend in technologische niches.</p>

## 7.5 Algemene conclusie

Onderzoeksvraag van deze scriptie is:

*'hoe komt een waterstofeconomie in Nederland tot stand en welke rol spelen verwachtingen bij het tot stand komen van deze waterstofeconomie?'*

Voor het beantwoorden van deze onderzoeksvraag is de situatie van de Nederlandse energiewereld beschreven. Aan de hand van deze beschrijving kan worden geconcludeerd dat het meest dominante technologisch regime binnen de Nederlandse energiewereld het technologisch regime van aardgas is. Gevolg van de dominantie van aardgas is dat aardgas het identiteitsargument bepaalt (Schaeffer, 1998).

Dit fenomeen is eerder aan bod gekomen o.a. in de uitspraken van ECN dat Nederlandse technologische ontwikkelingen zich vooral moeten richten op de koppeling tussen aardgas en waterstof. Volgens ECN is Nederland uniek in Europa wat betreft zijn nationale energiebron; Nederland moet zich positioneren als aardgasland. Juist de onderzoeksprogramma's die werken aan de koppeling tussen aardgas en waterstof worden serieus genomen. Daardoor treedt vervolgens het 'quasi-stock market' effect op, waardoor de gekozen identiteit wordt bevestigd. De wisselwerking tussen deze twee strategische positioneringsargumenten versterkt het beeld dat deze technologische richting de 'juiste' richting is voor de energietransitie. Actoren binnen het aardgasregime worden versterkt in de verwachting dat waterstof pas in 2050 een serieuze optie kan zijn. Dit brengt actoren binnen dit regime in een tweestrijd. Men is niet geneigd om in waterstof te investeren en deze investeringen die nu wel worden gedaan in waterstof als niet serieus te beschouwen. Maar deze investeringen zijn wel noodzakelijk vanwege de verwachting dat waterstof in de toekomst aardgas kan vervangen.

Deze tegenstrijdigheid lijkt op het derde strategische positioneringargument van Schaeffer. Actoren zijn uitsluitend bereid meer in een latere generatie technologie te investeren dan in een huidige technologie. Dit is onder andere terug te zien in de wijze waarop het Nederlands Brandstofcel Onderzoeksprogramma in 1985 tot haar onderzoeksprogramma is gekomen. Men wenste te investeren in een nog niet uitontwikkelde brandstofceltechnologie MCFC in plaats van de meer uitontwikkelde technologie van SOFC en PEM verder te ontwikkelen.

Het ontwikkelen van waterstoftechnologie wordt interessanter gevonden dan het doorontwikkelen van duurzame energietechnologieën of de daaraan gekoppelde energieopslagtechnologieën. Het 'slachtoffer' van deze strategische positionering lijkt het technologisch regime van duurzame energie te worden. Dit is tevens een mogelijke verklaring voor de hype rondom waterstoftechnologie.

Vervolgens is beschreven welke factoren invloed hebben op de verhoudingen binnen de energiewereld en in het bijzonder welke invloed deze factoren hebben op het opkomende technologische regime van waterstof. Bieden deze factoren juist kansen of barrières voor de vorming van een waterstofeconomie? Welke invloed hebben deze kansen en barrières op de verwachtingen van actoren in het veld en in het bijzonder in de waterstofwereld? De nationale overheid heeft bij het streven naar een duurzame samenleving (een socio-technisch landschapsfactor) verschillende instrumenten geoperationaliseerd om duurzame ontwikkelingen te stimuleren. De door de overheid in het leven geroepen factoren zijn bedoeld om niet meer direct technologieontwikkelingen aan te sturen, maar dat de marktpartijen zelf vorm te geven aan innovaties. Sommige factoren bieden meer kansen voor een technologisch regime dan andere. Uit de beschrijving kan worden geconcludeerd dat de technologische regimes over het algemeen verschuiven naar schonere, meer milieuvriendelijke technische oplossingen. Zodoende bewerkstelligen deze vijf factoren

impliciet een nieuwe competitiedrang tussen de verschillende energiewerelden op het terrein van duurzaamheid en milieu.

Er is sprake van een mondiale concurrentiestrijd. De winnaar van deze 'race' zal de technologie worden die de reguliere economische wetten van kostprijs, efficiëntie en effectiviteit weet te combineren met duurzaamheid. Dat de technologische regimes niet de enige zijn die invloed uitoefenen op de 'race', tonen de verschillende initiatieven van de Nederlandse overheid aan. Kortom er treedt een waarneembare verschuiving op van actoren richting meer milieubewuste technologieën. Deze verschuiving vindt niet geleidelijk plaats en zeker niet zonder wrijving.

Bij de beschrijving van de verschillende initiatieven, ontplooid op het gebied van waterstof- & brandstofceltechnologie in Nederland, heeft een verdere verdieping van de onderzoeksvraag plaatsgevonden. Daarbij is ook beschreven hoe deze initiatieven zich verhouden tot de technologische regimes. Uit de beschrijving kan worden geconcludeerd het technologisch regime van waterstof is ontstaan vanuit het aardgasregime en thans ervan los begint te komen. Zeker nu bepaalde waterstoftechnologieën zich in een op zichzelf staande technologische niche bevinden. Kortom waterstoftechnologie koppelt zich los van de technologie waaruit ze is ontstaan. Gevolg daarvan is de opkomst van een technologisch regime rondom deze waterstoftechnologie met zijn eigen culturele kenmerken.

Een interessant aspect dat uit het onderzoek naar voren is gekomen is hoe technologische regimes met elkaar interactie aangaan. Duidelijk is geworden dat een technisch regime zichzelf ten opzichte van de andere regimes positioneert. Zeker wanneer de interactie een nieuw en opkomend technologisch regime betreft dat zich aan het losmaken is van een dominant en gevestigd technologisch regime. Wetenschappelijk is dit aspect interessant om verder te onderzoeken en de theorie rondom technologische regimes aan te scherpen en aan te vullen.

Terugkomend op de onderzoeksvraag, kan worden geconcludeerd dat een waterstofeconomie in Nederland onlosmakelijk gekoppeld moet worden met aardgas, vanwege het identiteitsargument. Echter, onder invloed van het technologisch regime van aardgas zal waterstof slechts een alternatief worden. Om zijn eigen trends en ontwikkelingen te beschermen is het aardgasregime er mee gebaat ervoor te zorgen dat waterstof een 'curiosity', 'novelty' of een 'hopeful monstrosity' blijft (Mokyr, 1990). Een leuk technologisch 'speeltje', maar geen serieuze optie voor de nationale energievoorziening. Kortom er zal wrijving ontstaan doordat het technologisch regime van waterstof zich verder moet ontwikkelen tot een volwaardig regime, los van het technologisch regime van aardgas. Een stabiel socio-technisch landschap en stabiel regeringsbeleid in verband met lange termijn investeringen zijn noodzakelijk voor het verder ontwikkelen van waterstoftechnologie en een waterstofregime. Helaas worstelt de overheid met de invulling van haar nieuwe rol als transitie-manager. Samen met een altijd veranderend socio-technisch landschap is dat een lastige eis en kan daardoor een barrière vormen bij de vervolgstappen naar een waterstofeconomie.



## 8. Filosofische reflectie

In een waterstofeconomie wordt de consument zowel een energieverbruiker als een energieleverancier. J. Rifkin, stichter en president van de 'Foundation on Economic Trends', geeft in zijn boek "The Hydrogen Economy" dit uitgesproken beeld over de toekomst. Rifkin voorziet dat energiegebruikers een actieve rol zullen vervullen door middel van waterstoftechnologie, in plaats van de huidige passieve rol als verbruiker. De combinatie van waterstoftechnologie en computertechnologie zal het mogelijk maken om een gedecentraliseerd energienetwerk te maken in plaats van het huidige sterk gecentraliseerd energienetwerk van de VS. Rifkin definieert een gedecentraliseerd energienetwerk als een waterstofnetwerk waarop iedereen die aangesloten is waterstof kan aftappen, maar als lokaal of thuis waterstof wordt gemaakt door middel van, bijv. zonne-energie of biomassa waterstof kan terugleveren aan het netwerk. Dit is een totaal ander beeld dan het huidige hiërarchische en in éénrichting ingedeelde manier om energie te verspreiden.<sup>103</sup> Ondanks dat Rifkin nalaat te vertellen hoe deze waterstof moet worden gemaakt, laat hij doorschemeren dat fossiele brandstoffen toch wel de meest economische oplossing is voor het maken van waterstof.

Waar Rifkin een waterstofeconomie voornamelijk vanuit de gebruikerskant belichtte, doet Turner juist het omgekeerde. Turner beweert dat het noodzakelijkerwijs hebben van een waterstofeconomie er niet toe doet zonder in beschouwing te nemen hoe waterstof wordt geproduceerd. Wanneer waterstof uit fossiele brandstoffen worden gemaakt, dan heeft het per saldo geen nut om over te stappen naar een samenleving op waterstof. Waterstof moet duurzaam worden geproduceerd, wil het koolstofdioxide probleem, c.q. het broeikas-effect echt worden aangepakt.

Dat het theoretisch mogelijk is een gehele samenleving van duurzame energie te voorzien, toont Turner aan in een artikel in *Science*.<sup>104</sup> Turner, wetenschapper bij het National Renewable Energy Laboratory,<sup>105</sup> verklaart in dat artikel dat het mogelijk is om Amerika geheel van energie te voorzien uit zonne-energie. Alle overtollige, niet direct bruikbare opgewekte energie wordt omgezet in waterstof. Deze opgebouwde waterstofvoorraad kan dan 's nachts worden aangesproken om aan de nationale energiebehoefte te voldoen. Daarnaast is waterstof makkelijker over grote afstanden te transporteren dan elektriciteit. Van de verschillende technieken om energie op te slaan, is waterstof de enige technische oplossing om energie zowel op te slaan als te vervoeren, aldus Turner.<sup>106</sup>

Aan de andere kant van het spectrum ziet Prof. D. Sanborn Scott een waterstofeconomie als een samenleving dat haar energie voornamelijk uit kernenergie haalt en slechts een beetje uit duurzame energiebronnen. Prof. D. Sanborn Scott is onder andere oprichter van het instituut Integratie van Energiesystemen in Canada en vice-president van de Internationale Vereniging voor Waterstof Energie. De definities en uitkomsten van de analyse van Scott liggen vaak aan

---

<sup>103</sup> Met 'éénrichting' wordt verwezen dat energiestromen uitsluitend van de bron naar de verbruiker gaan.

<sup>104</sup> *Science* 30 July 1999:Vol. 285. no. 5428, pp. 687 - 689

<sup>105</sup> Het NREL is één van de onderzoekslaboratoria van het Ministerie van Energie in de V.S. [www.nrel.gov](http://www.nrel.gov)

<sup>106</sup> In latere artikelen blijft Turner duidelijk maken dat wind- en zonne-energie de enige mogelijkheden zijn voor een werkelijke duurzame waterstofeconomie. Verschillende andere technieken om waterstof te maken worden aangevallen, zoals biomassa, steenkool, aardgas en kernenergie. De motivatie voor zijn aanvallen op deze andere technieken is dat in de ontwikkeling van de technologieën relatief veel meer wordt geïnvesteerd, terwijl het niet een grote bijdrage levert aan een duurzame, schone toekomst. *Science* 13 August 2004:Vol. 305. no. 5686, pp. 972 - 974 & *Science* 20 August 1999:Vol. 285. no. 5431, p. 1209

de basis van bijvoorbeeld rapporten van ECN.<sup>107</sup> Volgens Scott is waterstof de enige integrale oplossing voor een energiesysteem voor de toekomst. Dit definieert hij vanuit de term geleverde diensten, zie hoofdstuk 5.3. Scott is van mening dat fossiele brandstoffen als technologie geheel op zijn retour is en dat deze inderdaad terug zal vechten met nog zuiniger en schoner technologieën. Juist daardoor is het onverstandig, volgens Scott, om een waterstofeconomie te laten baseren op fossiele brandstoffen of duurzame energiebronnen. Waterstof moet in de meest ideale situatie uit duurzame energiebronnen worden gewonnen. Deze zijn echter kostbaar en niet overal toepasbaar, ook niet biomassa.<sup>108</sup> Als enige uitweg uit deze impasse ziet Scott kernenergie als tijdelijke oplossing. Als eenmaal het pad is ingeslagen om waterstof uit fossiele brandstoffen te halen wordt het zeer lastig het te verlaten. Dit is een vorm van padafhankelijkheid. Waterstof en fossiele brandstoffen zullen met elkaar moeten concurreren. Waar Scott verschilt van Rifkin en Turner, is dat hij zich toelegt op hoe een waterstofeconomie niet alleen een toekomstverhaal is, maar hoe het een hedendaagsverhaal kan worden.

Zowel internationaal als nationaal wordt veel gesproken over een waterstofeconomie. De drie toekomstscenario's van Rifkin, Turner en Scott vormen slechts een indicatie van de vele verschillende scenario's over wat een waterstofeconomie kan zijn en hoe deze moet worden gerealiseerd. Ze vertegenwoordigen wel de drie denkrichtingen waarop een waterstofeconomie moet worden gebaseerd: fossiele brandstoffen, duurzame energie of kernenergie. De wetenschappers W. McDowel en M. Eames (2006) hebben een inventarisatie gemaakt van deze toekomstbeelden. Daaruit blijkt de diversiteit van visies op wat een waterstofeconomie nu werkelijk is, wat het nu precies behelst en op welke energiebron het nu moet worden gebaseerd. Uit deze inventarisatie volgt dat de visies van Rifkin en Turner onder utopische toekomstvisies kunnen worden geschaard en dat de visie Scott als een technisch scenario kan worden gedefinieerd. Technische scenario's kenmerken zich dat ze vaak sociale en culturele elementen negeren en zich uitsluitend richten op een beperkt aantal technische opties. Utopische toekomstvisies zijn vaak bedoeld om aan te tonen dat het juist maatschappelijk gewenst is, zonder een analytische of technische onderbouwing hoe dit te bereiken. In dit afsluitende hoofdstuk zal een analyse worden gegeven of een waterstofeconomie inderdaad niet meer is dan een utopie of een technische verwachting. Een filosofische reflectie op het onderwerp kan mogelijk nieuwe inzichten opleveren.

## **8.1 Hoe utopisch is een waterstofeconomie?**

Een utopie is volgens Van Dale: niet meer dan een niet te verwezenlijken ideaal, droombeeld of een ontwerp voor een ideale toestand.<sup>109</sup> De begrippen 'utopie' en 'utopisch' worden in het alledaagse taalgebruik gebruikt om uiteenlopende onrealistische idealen en verlangens te benoemen. Omdat het begrip daarmee elk onderscheidend kenmerk dreigt te verliezen, reserveert H. Achterhuis de genoemde begrippen voor een specifiek historische genre. Achterhuis definieert een utopie als: een toekomstvisie die zich richt op een *totale* hervorming van de *samenleving* op basis van de vooronderstelling dat dit geheel *maakbaar* is. In zijn boek 'De erfenis van de utopie' geeft hij aan dat utopieën gelezen moeten worden als een kritiek op de huidige maatschappij.

---

<sup>107</sup> ECN: Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN), het grootste onderzoeksinstituut in Nederland op energiegebied. [www.ecn.nl](http://www.ecn.nl)

<sup>108</sup> Het verbranden of vergassen van biomassa levert namelijk voor de mens schadelijke uitstoot op en het verbouwen van biomassa legt een claim op vers schoon water, net als olie een ander zeer schaars product.

<sup>109</sup> Van Dale groot woordenboek van de Nederlandse taal, 14<sup>de</sup> editie

*De utopie bestaat bij de gratie van de Apocalyps, het geluk straalt des te schitterender als men het vergelijkt met rampspoed en ellende.*<sup>110</sup>

Hierbij maakt hij een onderscheid tussen een sociale utopie en een technische utopie. In een sociale utopie wordt de ideale werkelijkheid gerealiseerd, of beter gezegd afgedwongen door middel van sociale en maatschappelijke (machts)mechanismen, zoals wetten, regels, en sociale controle. Een voorbeeld van een sociale utopie is Plato's Politeia. In de technische utopie wordt pijn, verdriet en ellende met technische middelen bestreden. De techniek wordt er aangewend om (alle) verlangens van de mens te vervullen. Bij een technisch utopie valt te denken aan hoe positief en optimistisch in de jaren '60 werd gedacht over kernenergie. Er was toen zelfs sprake van een auto op kernenergie.<sup>111</sup>

Volgens Achterhuis heeft de sociale utopie haar tijd gehad. Wat de technische utopie betreft is Achterhuis positiever. De technische utopie is duidelijk minder gevaarlijk, maar ons technologische vooruitgangsstreven is volgens hem niet gediend met een technische utopie als maatschappelijk ideaal. Dit kan tot nieuwe vormen van schaarste leiden. Zijn conclusie is dat we ons moeten richten naar de idealen van de technische utopie zonder deze evenwel expliciet als utopie uit te werken.

Achterhuis evaluatie van de utopie loopt uit op een pleidooi voor een moralisering van de dingen. Wanneer we erkennen dat de mens mede gedreven wordt door driften en dat onze technologische cultuur een hybride samenspel is van mensen en technologieën, dan ligt het voor de hand moreel gedrag te bevorderen door morele regels in onze techniek te implementeren.

Andere pogingen moreel gedrag te bevorderen door het morele bewustzijn te verhogen halen weinig tot niets uit, bijvoorbeeld door voorlichtingscampagnes. Achterhuis wijst daarbij op onderzoek dat aantoonde dat de mate van milieubewustzijn nauwelijks van invloed is op het gedrag. Moralisering van de techniek is volgens hem daarentegen even eenvoudig als doeltreffend. De auteur noemt als voorbeeld de Amsterdamse metro, ontworpen vanuit de utopische logica van de jaren zestig, als enige ter wereld open ingangen kende. Het gevolg daarvan was dat slechte neigingen vrij spel kregen en zwartrijden de norm werd. Waar kostbare voorlichtingscampagnes faalden, nam na plaatsing van eenvoudige klaphekjes het zwartrijden van 35% naar 15% af (Achterhuis, 1998).

### **Bruikbaarheid van de benadering van H. Achterhuis**

Ten eerste past het beeld van een waterstofeconomie binnen de 'utopie' definitie van Achterhuis. Een waterstofeconomie is een toekomstvisie dat zich richt op een *totale* hervorming van de *samenleving* op basis van de vooronderstelling dat dit geheel *maakbaar* is. Zeker als de voorspelling van Rifkin voor ogen wordt gehaald. Alle actoren, beschreven in de vorige hoofdstukken spreken over een integrale maatschappelijke energieoplossing. Daarnaast is een waterstofeconomie, volgens de indeling van Achterhuis duidelijk een technische utopie. In zijn boek 'De erfenis van de utopie' geeft Achterhuis aan dat utopieën gelezen moeten worden als een kritiek op de huidige maatschappij. Kenmerkend voor waterstofutopieën is dat deze kritiek in de vorm van de dystopie wordt beschreven. De dystopie van de waterstofeconomie is de uitwerking van het broeikas-effect, fijnstof en alle nadelige gevolgen van fossiele brandstoffen. Uniek aan de waterstofutopie is dat het dystopisch beeld van een opgewarmde aarde het negatieve imago van fossiele brandstoffen versterkt en de grote

<sup>110</sup> Blz. 90

<sup>111</sup> De Ford Nucleon is een concept voertuig van Ford uit 1958 gebaseerd op de ongekende energie belofte van kernenergie. Zie voor meer informatie: [http://media.ford.com/article\\_display.cfm?article\\_id=3359](http://media.ford.com/article_display.cfm?article_id=3359)

drijfveer achter de technologisch en maatschappelijke ontwikkeling is. Dit dystopisch denkbeeld is de grondslag achter de socio-technische factoren, zoals beschreven in hoofdstuk 6. Dit ondermijnt het strikte onderscheid dat Achterhuis maakt tussen sociale en technische utopieën.

Kenmerkend voor de utopische benadering is de verwachting dat de overgang plaatsvindt als *een totale revolutie*. Achter de redenering van de totale revolutie schuilt de verwachting dat een nieuwe techniek ons hele leven positief ingrijpend zal veranderen. Zodra de eerste commerciële waterstofauto of stationaire toepassing voor consumenten op de markt verschijnt, zal iedereen massaal 'de overstap' maken. Bij wijze van spreken; de waterstofeconomie heeft zulke positieve effecten dat de samenleving niet anders kan dan massaal hiervoor kiezen. Dit idee van totale revolutie, het voortdurende hopen dat morgen alles anders zal zijn dan gisteren, is altijd een prominent motief geweest in het denken over de toekomst. Deze vorm van redeneren over de komende waterstofeconomie is vooral terug te vinden bij actoren uit het waterstofregime. Voorspellingen voortkomend uit deze groep actoren hebben het over een waterstofeconomie binnen uiterlijk 10 tot 15 jaar. Deze groep draagt naast deze totale revolutie tevens de dystopie het meest prominent uit.

Men kan echter ook de tegenovergestelde denktrant maken, door De Wilde de veronderstelling van *sociale continuïteit* genoemd. Dit is de neiging om nieuwe technologie primair op te vatten als een verbeterde versie van bestaande technologie.<sup>112</sup> Het resultaat van deze benadering is een al even zonnig toekomstbeeld, want alle accent valt op het feit dat de nieuwe technologie oude problemen oplost. Dat nieuwe dingen ook nieuwe problemen of kansen kunnen scheppen, wordt onvoldoende onderkend. Dit denkbeeld wordt voornamelijk uitgedragen door actoren uit het aardgasregime. Het in eerste instantie overstappen naar een aardgaseconomie in plaats van een waterstofeconomie ligt volkomen in de lijn van de redenering van sociale continuïteit. Deze groep actoren wijzen ook op dat andere methoden en technieken mogelijk zijn voor het voorkomen van de dystopie, waarbij voornamelijk wordt gedacht in het verminderen of afvangen van het probleem (CO<sub>2</sub>-sequenstratie).<sup>113</sup> Voorspellingen vooruitkomend uit deze groep actoren hebben het zodoende over een geleidelijke invoering van een waterstofeconomie.

Achterhuis waarschuwt verder dat juist technische utopieën niet moet dienen als een maatschappelijk ideaal. Dit zou tot nieuwe vormen van schaarste leiden. Opvallend is dat deze schaarste in geen enkel toekomstbeschrijving wordt uitgewerkt.

Waterstoftechnologie heeft verder de belofte in zich dat het een technologie is waarmee we hetzelfde niveau van leven handhaven, zonder de 'nare' gevolgen van de huidige technologieën, zoals verspilling en vervuiling. R. de Wilde noemt dit de *technologische fix* van utopieën. Het moraliseren van technologie is een principe wat terug te vinden is in de beweegreden voor het creëren van een waterstofeconomie. De huidige

---

<sup>112</sup> Voorbeelden van een verbeterde versie van bestaande technologie zijn: de spoorweg zag men eerst als een verbeterde vaarweg, de auto als een verbeterde koets en de stofzuiger als een goedkope dienstmeid.

<sup>113</sup> Het opvangen en opslaan van koolstofdioxide wordt CO<sub>2</sub>-sequenstratie genoemd. Hierbij kan worden gedacht aan het opvangen van koolstofdioxide, bijvoorbeeld uit de atmosfeer, en het weer terugpompen in een leeg aardgasveld.

Voor de Nederlandse regering vormt ondergrondse opslag van CO<sub>2</sub> een cruciaal onderdeel van de toekomstige klimaatpolitiek. Het ministerie van Economische Zaken stelde al 0,5 miljoen euro beschikbaar voor een verkennende studie naar de mogelijkheid van een dergelijk CO<sub>2</sub> opslag.<sup>113</sup> Zo is onderzocht op welke plaatsen CO<sub>2</sub> in hoge concentratie en hoge druk beschikbaar komt en wat er allemaal bij komt kijken alvorens het geschikt is om door pijpleidingen te vervoeren naar de voor de hand liggende opslagplaatsen. Deze opslagplaatsen zijn lege gasvelden, kolenlagen (Limburg) en waterhoudende lagen (aquifers) bijvoorbeeld in Eemsmond en IJmond. Bron: CRUST-project (CO<sub>2</sub> re-use through Underground Storage)

voorlichtingscampagnes om de maatschappij milieubewuster en energiezuiniger te maken leveren maar beperkte resultaten op.<sup>114</sup>

Echter, het moraliseren van technologie kent ook een gevaar: met oogkleppen kijken naar een technologie. Louter de positieve aspecten worden belicht en behandeld. Door middel van het moraliseren van de technologie wordt in eerste instantie slechts aandacht gegeven aan de vormende of vermijdende kant van de technologie. Cherry (2004) toont aan dat brandstofcellen de nodige morele problemen met zich meedragen.<sup>115</sup> Exotisch metalen nodig voor de brandstofcelstacks komen vaak uit landen waar ongewenste regimes heersen en/of waar werkomstandigheden zeer slecht zijn. Het gevaar bestaat dat door de positieve effecten die dicht bij huis zijn, de negatieve effecten die ver van huis zijn ondersneeuwen, oftewel het nimby-effect.

Een ander gevaar van de utopische vorm is dat het een ééndimensionale benadering aandraagt voor de oplossing van het probleem. Binnen een utopie, maar ook in een waterstofeconomie wordt geredeneerd dat slechts één oplossing mogelijk is in het voorkomen van het probleem. Daarnaast gaat deze ééndimensionale benadering voorbij aan het feit dat een nieuwe technologie terecht komt in een wereld waar meerdere technologieën maatschappelijk ingebed zijn. In eerste instantie en in de regel zal deze nieuwe technologie in samenwerking of naast de andere technologieën worden toegepast. In praktisch elk toekomstbeeld over een waterstofeconomie wordt een wereld geschetst waar waterstof de enige of de meest dominante technologie is. Hierbij wordt voorbijgegaan aan de realiteit.

Wanneer vanuit een multi-technologisch toekomstbeeld, wordt gedacht dan komt een probleem van waterstof naar voren. Waterstof is de meest optimale oplossing, mits waterstof de dominante technologie is. In een ideale wereld waar veel verschillende waterstoftoepassingen zijn, betekent dat waterstof op een grote schaal zal worden geproduceerd, dit betekent vervolgens een lage kostprijs. Wanneer waterstof samen of naast andere technologieën moet worden gebruikt, zal waterstof op een minder grote schaal worden toegepast. Daardoor wordt waterstof relatief onrendabel, omslachtig en kostbaar, kortom niet de meest optimale oplossing. Opvallend is dat deze waarschuwing wordt uitgedragen door het duurzame energieregime. Dit regime is gewend om continue in meerdere technologische oplossingen te denken. Voorbeeld daarvan zijn projecten waarbij zonnepanelen en windturbines naast elkaar worden ingezet.

## **8.2 Hoe realistisch is de verwachting van een waterstofeconomie?**

Waar Achterhuis het begrip utopie en verwachtingen vanuit een historische analyse verklaarde, benaderen Van Lente en Rip verwachtingen vanuit een meer op de praktijk gestoelde analyse. Van Lente en Rip tonen aan in hun onderzoek naar de voortgang van membraamtechnologie dat verwachtingen en het streven om deze verwachtingen te realiseren een leidraad vormen bij technologie-ontwikkelingen.<sup>116</sup>

In de opkomende wereld van membraamtechnologie wordt het duidelijk dat actoren hun activiteiten coördineren aan de hand van wat ze verwachten wat ze moeten doen en wat ze verwachten dat andere actoren zullen doen. Door deze activiteiten positioneren actoren zichzelf strategisch ten opzichte van de andere. Wat telt is niet hoe ze de wereld zien, of hoe

---

<sup>114</sup> Energieverbruik, emissie en afval blijft stijgen, CBS 2006

<sup>115</sup> Cherry, R.S. (2004) A Hydrogen Utopia?, International Journal of Hydrogen Energy 29 (2004) 125 – 129

<sup>116</sup> Lente, H. van, en A. Rip, 1998. Expectations in technological developments: an example of prospective structures to be filled in by agency

ze het duidelijk maken, maar dat ze van elkaar weten wat ze moeten verwachten. Aan de hand van de verwachtingen vullen actoren hun wereldbeeld in. Dit bepalen ze o.a. door gezamenlijke verwachtingslijnen uit te stippelen tijdens congressen. Van Lente en Rip constateerden dat deze diffuse samenwerking tot de groei en opkomst leidde van een nieuwe tak in de wetenschap, de membraantechnologie.

Deze verwachtingen worden in eerste instantie geuit op conferenties en congressen maar ook in teksten. Vaak worden deze verwachtingen in een vorm van een *toekomstverhaal*, waarin de technologie, zichzelf en anderen een specifieke rol worden toegekend. In de meeste situaties heeft niet één bepaalde actor een monopolie op een verwachtingsverhaal. Anderen zullen gebruik maken van hetzelfde toekomstverhaal, erop aanvullen en het aanpassen. Er zullen altijd kenmerkende elementen in de verschillende verwachtingen uitspringen. Deze elementen worden, verbonden in een repertoire, gebruikt door actoren om de mogelijkheden te bepalen, actoren te positioneren en om acties en interacties op gang te brengen. Omdat gedeelde verwachtingen en daarmee repertoires zowel mogelijkheden als beperkingen van betrokken actoren vastleggen, vormen ze een structuur voor toekomstige actie. Deze nog-niet-werkelijk-bestaande-structuren, maar al wel aansturende en rolverdelende verwachtingen, worden door Van Lente en Rip (1998) prospectieve structuren genoemd.

### **Bruikbaarheid van de benadering van H. van Lente en A. Rip**

De verwachtingen die H. van Lente en A. Rip beschrijven zijn niet strikt vergelijkbaar met de utopieën van Achterhuis. Alle utopieën, sociale of technische, zijn een top-down benadering van de toekomst. Vanuit een aantal principes of verwachtingen wordt een nieuwe wereld geprojecteerd. De verwachtingen die Van Lente en Rip hebben geconstateerd, benaderen de wereld vanuit het heden naar de toekomst. Daarnaast betreffen het vaak verwachtingen niet over grote maatschappelijk ontwikkelingen, maar over technische ontwikkelingen, zoals een doorbraak in kernfusie of de ontwikkeling van supersterke materialen. Waar deze verwachtingen en utopieën elkaar wel overlappen, is in het geloof dat de toekomst *maakbaar* is.

Vooraf bij de sturing van de waterstoftechnologie spelen verwachtingen over technische doorbraken een essentiële rol. In de inventarisatie van McDowall en Eames (2006) valt het op dat in alle rapporten dezelfde technologische barrières naar voren komen: infrastructuur, het opslaan en distributie van waterstof en de hoge kostprijs van waterstof. Deze verwachtingen over technologische barrières bepalen vervolgens de onderzoeksagenda's. Neem als voorbeeld de onderzoeksagenda van NWO-ACTS, hoofdstuk 5.1.2.

Binnen de drie technologische regimes zijn een aantal toekomstverhalen dominant. Deze toekomstverhalen uiteten zich door scherpe tegenstellingen. Voorbeelden van deze toekomstverhalen zijn:

- Een centrale of decentrale energievoorziening: zal in de toekomst sprake zijn van centrale (duurzame) energiecentrales of wordt energie in de toekomst overal lokaal opgewekt. Deze toekomstverwachting heeft invloed op of actoren juist onderzoek doen naar centrale distributie van waterstof, zoals bij het onderzoeksproject NATURALHY, hoofdstuk 5.5.4 of juist naar een meer decentrale distributie van waterstof.
- Een door de publieke sector of door private partijen geïnitieerde doorbraak van een waterstofeconomie: zal een waterstofeconomie door middel van marktniches en economische gunstige oplossingen worden bewerkstelligd of door de overheid gefinancierde onderzoeksprogramma's. Deze toekomstverwachting heeft invloed op de wijze waarop actoren zich groeperen en de wijze waarop subsidies worden toegekend.

Gebeurt dat aan de hand van technologie platforms op nationaal of Europees niveau of gebeurt dat via industriële samenwerkingsclusters?

- Een duurzame of een fossiele waterstofeconomie: zal een waterstofeconomie op fossiele brandstoffen gebaseerd zijn of moet een waterstofeconomie louter op duurzame energie gebaseerd zijn. Deze toekomstverwachting bepaalt vervolgens de onderzoeksagenda van Biohydrogen, hoofdstuk 5.5.8 of de traditionele waterstofleveranciers, hoofdstuk 5.5.3. Hier is ook de derde optie aanwezig van een kernenergie waterstofeconomie, zie toekomstverwachting van Scott.

Duidelijk mag zijn dat deze verwachtingen vorm worden gegeven in toekomstverhalen. Deze toekomstverhalen vormen een scheidslijn tussen aanhangers of tegenstanders en creëren daarmee tegelijkertijd nog-niet-werkelijk-bestaande-structuren, c.q. prospectieve structuren.

### **8.3 Conclusie**

Het beantwoorden van de onderzoeksvraag: ‘hoe komt een waterstofeconomie in Nederland tot stand en wat voor rol spelen verwachtingen bij het tot stand komen van deze waterstofeconomie?’ vanuit het geschetste filosofische kader leidt tot de volgende inzichten. Hoe Nederland komt tot een waterstofeconomie is afhankelijk van wie je het vraagt en tot welke groep actoren of technologisch regime deze behoort. Dit betekent dat een waterstofeconomie niet hetzelfde is en hoeft te zijn voor iedereen. Het begrip waterstofeconomie dient zodoende als kapstok waaraan actoren verschillende verwachtingen kunnen hangen. Dit betekent ook dat volgens sommige het veel te langzaam gaat en volgens anderen dat in de ‘verkeerde’ technologische ontwikkelingen wordt geïnvesteerd.

Gebruikmaken van de utopieanalyse is nuttig omdat het doelstellingen en verschillen bloot kan leggen. Deze doelstellingen en verschillen zijn echter niet vergelijkbaar met de verwachtingen in de theorie van Van Lente en Rip of in de theorie van technologisch regimes van Van de Poel. In de termen van McDowell (2006) zijn deze verwachting te definiëren als technisch scenario's. Verwachtingen in deze theorieën hebben de neiging om juist de sociale en culturele dimensie te negeren. Het bereiken van een gewenste toekomst wordt vaak gezien als een afweging tussen een aantal technische opties. Verwachtingen gegeneerd vanuit utopieën leggen zichzelf niet deze beperkingen op. Dit leidt soms juist tot ongebruikelijke oplossingen of innovaties. Kanttekening hierbij is dat utopieën niet als ‘grand designs’ moeten worden gezien, die als een deken over de materiële wereld ligt of vorm geven aan de technologische ontwikkelingen. Utopieën, zeker concurrerende utopieën kunnen veelmeer als een gefragmenteerd veld worden gezien waarin veel rivaliteit en wrijving plaatsvindt. Daardoor ontstaat een werkelijkheid waarbij praktijk en idee elkaar wederzijds inspireren en drijven naar mogelijke oplossingen. Daardoor dragen utopieën en verwachtingen bij aan een ‘co-constructie’ van de technologie-ontwikkeling en zodoende aan het vormen van een waterstofeconomie.

## 9. Bronnen

### Literatuurbronnen

- Achterhuis, H., 1998. De erfenis van de utopie, Ambo ISBN: 90-263-1524-4
- Akrich, M., 1992. The de-scription of technical objects, in W. Bijker and J. Law (Eds.), Shaping technology/Building society. Studies in Sociotechnical change, Cambridge (MA), MIT Press
- Beurskens, J., Kuik, G. van, 2004. Alles in de wind, Vragen en antwoorden over windenergie, Daedalus, Maastricht, ECN, Petten, ISBN 90-71580-02-4
- Bijker, W., 1990. The Social Construction of Technology, Enschede, Universiteit Twente. Hieruit: Chapter 2 King of the Road
- Bruggink, J.J.C., 2005. The next 50 years: Four European energy futures, ECN
- Callon, M., 1995. Technical conception and adoption network: lessons for the CTA practitioner, in A. Rip, T. Misa and J. Schot (Eds.), Managing technology in society. The approach of Constructive Technology Assessment, London
- CBS, 2006. Energieverbruik, emissie en afval blijft stijgen
- Cherry, R.S., 2004. A Hydrogen Utopia?, International Journal of Hydrogen Energy 29 (2004) 125 – 129
- Cornish, E., 2004. Futuring, the exploration of the future, World Future Society, USA
- Energieonderzoek Centrum Nederland, Jaarverslag 2004
- Essent N.V., 2003. Beleef 2030, 4 toekomstscenario's voor de energiewereld
- Geels, F., Kemp, R., 2000 'Transities vanuit sociotechnisch perspectief, rapport in het kader van een voorstudie naar transities, als onderdeel van het beleidsvoorbereidingsproces van het NMP-4.
- Geels, Frank W., 2004. Understanding Technological Transitions: a critical literature review and a conceptual synthesis. Gepubliceerd in Elzen, B. Geels, F.W. en Green, K. System Innovation and the transition to sustainability: Theory, Evidence and Policy, Cheltenham: Edward Elgar.
- Hoedt, M. ten, 2006. Waterstoftechnologie in het Nederlandse personenvervoer, sociotechnische scenario's als instrument voor transitiebeleid, afstudeerscriptie WWTS, Universiteit Twente.
- Hoeven D., et al, 2005. De commercialisering van het waterstofideaal, ISBN: 90-6962-220-3, Den Haag, SMO
- Hoeven, D. van der, 2001. Een gedurfd bod, Nederland zet in op de brandstofcel. Beta txt, Bergn, Nederland
- Jong, J de, 2006. The Energy Market in the Netherlands, Clingendael International Energy Programme CIEP 06/2006
- Junginger M., et al, 2004. Renewable Electricity in the Netherlands, Energy Policy 32 1053-1073, Elsevier
- Keuning D., 1999. Grondslagen van management, Wolters-Noordhoff B.V. ISBN10: 9020731262
- Latour, B., 1993. Aramis or the love for technology
- Lente, H. van, 1993. Promising Technology, the dynamics of expectations in technological development. Proefschrift, Universiteit Twente



- Lente, H. van, en A. Rip, 1998. Expectations in technological developments: an example of prospective structures to be filled in by agency, in C. Disco and B. van der Meulen (Eds.), *Getting new technologies together. Studies in making sociotechnical order*, Berlin, De Gruyter
- Lente, H. van, 1998. *The Rise of Membrane Technology: From Rhetorics to Social Reality*, *Social Studies of Science*, Vol. 28, No. 2.
- McDowall, W., Eames M., 2006. *Forecasts, scenarios, visions, backcasts and roadmaps to the hydrogen economy: A review of the hydrogen futures literature*, *Energy Policy* 34 1236-1250, Policy Studies Institute, London UK Elsevier.
- Ministerie van Economische Zaken, 2002. *Rapport: Kansen voor een biomassatransitie, Koersbepaling na de eerste etappe*
- Ministerie van Economische Zaken, 2003. *Rapport: Biomassa: de groene motor in transitie, Stand van zaken na de tweede etappe*
- Ministerie van Economische Zaken, 2004. *Rapport: Innovatie in het energiebeleid, energietransitie: stand van zaken en vervolg, 29 april 2004*
- Mokyr, J., 1990. *The Lever of Riches*, New York: Oxford University Press
- Poel, I. van de, 1998. *Changing Technologies, a comparative study of eight processes of transformation of technological regimes*, Twente University Press, Enschede, ISBN 9036511143
- Rifkin, J., 2003. *The Hydrogen Economy, the creation of the Worldwide Energy Web and the Redistribution of Power on Earth*, ISBN: 1585422541
- Rip, A., 2003. *Innovation. A Note*
- Rip, A. and Kemp, R., 1998. *Technological Change*, in Rayner, S. and E.L. Malone (eds): *Human Choice and Climate Change*, Columbus, Ohio: Battelle Press
- Roberts, K., 2003. *Hydrogen: always the bridesmaid, never the bride*, University of British Columbia, Canada
- Roelofs, E. M.G., 1996. *Vol verwachting van de brandstofcel, een onderzoek naar de verandering van verwachtingen over de brandstofcelontwikkeling op micro-niveau, afstudeerverslag WWTS van de Universiteit Twente*
- Sanborn Scott, D., 2005. *Fossil Sources: Running Out is not the Problem*, *International Journal of Hydrogen Energy* 30 1-7.
- Scheaffer, G.J., 1998. *Fuel cells for the future, a contribution to technology dynamics perspective*, proefschrift Universiteit Twente
- Scheider, H., Burgers, J., Ducos, V., 2005. *Verhandelbaarheid Energiecertificaten: toegevoegde waarde & uitvoerbaarheid, CEA in opdracht van ministerie van Economische Zaken*
- Schot, J.W., 1998. *The usefulness of evolutionary models for explaining innovations. The case of the Netherlands in the Nineteenth Century*, *History of Technology*, 14 (1998) 173-200.
- Schot, J.W. et al. (red.), 2000. *Techniek in Nederland in de twintigste eeuw. Deel 2: Delftstoffen, Energie en Chemie*. Zutphen: Walburg Pers
- SenterNovem, 2004. *Waterstofinnovatie in Nederland, een overzicht*. Uitgaven van SenterNovem & ministerie van Economische Zaken
- Turner, J.A., 1999. *A realizable renewable energy future*, *Science* 285
- Verbong, G., Berkers, E. en Taanman, M., 2005. *Op weg naar de markt, de geschiedenis van ECN 1976-200*, ECN
- Verbong G., Geels F., 2006. *The ongoing energy transitions: lessons from a socio-technical, Multi-level analysis of the Dutch Electricity system 1960-2004*, *Energy Policy*, Elsevier Ltd.

- Verslag synthesebijeenkomst van project Transitie management EZ, 16 november 2001
- WBGU, 2004. World in Transition, Toward Sustainable Energy Systems ISBN: 1-84407-882-9
- Wetenschappelijk Instituut voor het CDA, 2005. Kantelingen, Keuzes voor Duurzaamheid, energie op de drempel van transitie ISBN 90-7449-300-9
- Wilde, R. de, 2000. De Voorspellers, een kritiek op de toekomst industrie, De Balie ISBN: 90-6617-201-0
- Wilson, D. en Purushothaman, R., 2003. Dreaming with BRICs: the path to 2050, Goldman Sachs, 1 oktober 2003, [www.gs.com](http://www.gs.com)

### Toekomstscenario's

- Shell
- GasUnie
- ECN
- TNO
- EREC
- Ecofys

### Internetbronnen

- [www.hynet.info](http://www.hynet.info)  
Europese Waterstof Netwerk
- [www.hyways.de](http://www.hyways.de)  
Project voor de Europese waterstof 'roadmap'
- [www.hyweb.de](http://www.hyweb.de)  
Algemene waterstof en brandstofcellen informatie
- [www.waterstof.info](http://www.waterstof.info)  
kennisbank van artikelen en presentaties over de toepassing van waterstof
- [www.waterstof.org](http://www.waterstof.org)  
algemene en educatieve informatie over waterstof
- [www.waterstofvereniging.nl](http://www.waterstofvereniging.nl)  
Nederlandse waterstof en brandstofcellen vereniging
- [www.ecn.nl](http://www.ecn.nl)                      Homepage: Energieonderzoek Centrum Nederland
- [www.ecofys.nl](http://www.ecofys.nl)                      Homepage: Ecofys
- [www.ez.nl](http://www.ez.nl)                              Homepage: Ministerie van Economische Zaken (EZ)
- [www.hexion.nl](http://www.hexion.nl)                      Homepage: Nederlandse waterstof
- [www.nedstack.nl](http://www.nedstack.nl)                      Homepage: Nederlandse brandstofcellen ontwikkelaar en fabrikant
- [www.sbr.nl/](http://www.sbr.nl/)                              Praktische informatie over de toepassing van kleine windturbines in de woningbouw en is specifiek gericht op het ontwerp, de bouwvoorbereiding en de bouw.
- [www.senternovem.nl](http://www.senternovem.nl)                      SenterNovem, agentschap van het ministerie van EZ
- [www.urbanturbines.com](http://www.urbanturbines.com)                      Gebouwwgebonden windturbines

## Bijlage: lijst met geïnterviewden

- E. de Nie  
voorzitter van de Nederlandse Waterstof Vereniging en projectdirecteur bezig Hydrogen Network Enterprise (H2NE)
- F. Denys  
medewerker bij SenterNovem
- J. Penninger  
directeur SPARQLE
- K. van der Klein  
directeur ECN
- J. Schoonman  
hoogleraar toegepaste anorganische chemie Technische Universiteit Delft en tevens wetenschappelijk directeur van het Delfts Instituut voor Duurzame Energie (DIDE)
- R. Knol  
Siemens Nederland
- R. van de Krol  
onderzoeker toegepaste anorganische chemie Technische Universiteit Delft
- S. van der Molen  
stafmedewerker bij ECN
- W. Sinke  
staf-medewerker zonenergie bij ECN, lid van het bestuur van HollandSolar branche vereniging van de zonne-energie en lid in het European Photovoltaics Technology Research Advisory Council

