

## Hiteq

Hiteq, centrum van innovatie, wil komen tot duurzame vernieuwing. Het centrum richt zich daarbij op technische beroepen en opleidingen. Hiteq wil ondernemingen en onderwijsinstellingen met concepten, modellen en visies ondersteunen bij het richting geven aan hun strategische beleid en toepassen van innovatie. Daarvoor ontwikkelt het centrum toekomstscenario's; visies op een toekomst die mogelijk gaat ontstaan.

Domein Technologie  
Juni 2007  
Uitgave: oktober 2007

[www.hiteq.org](http://www.hiteq.org)

## Op weg naar een duurzame transportbrandstof

Drs. ing. Mathijs Vaessen



Opdrachtgever  
Hiteq, centrum van innovatie

Programmaleider Technologie  
Ir. Daan Maatman

# Op weg naar een duurzame transportbrandstof

Drs. ing. Mathijs Vaessen

Opdrachtgever  
Hiteq, centrum van innovatie

Programmaleider Technologie  
Ir. Daan Maatman

Domein: Technologie  
Juni 2007  
Uitgave: oktober 2007

[www.hiteq.org](http://www.hiteq.org)

"It is good to have an end to journey toward, but it is the journey that matters in the end."

Ursula K. Le Guin,  
schrijfster

## Hiteq

Hiteq, centrum van innovatie, wil komen tot duurzame vernieuwing. Het centrum richt zich daarbij op technische beroepen en opleidingen. Hiteq wil ondernemingen en onderwijsinstellingen met concepten, modellen en visies ondersteunen bij het richting geven aan hun strategische beleid en toepassen van innovatie. Daarvoor ontwikkelt het centrum toekomstscenario's; visies op een toekomst die mogelijk gaat ontstaan.

Hiteq doet dat door kennis te ontsluiten, te combineren en te verrijken en werkt daarbij samen met specialisten uit de wetenschap, het onderwijs en ondernemingen.

Ontwikkelingen in vernieuwingsgebieden zijn vaak niet in afgebakende domeinen te vangen. Er is samenhang en wederzijdse beïnvloeding. Om enige richting te bepalen, hanteert Hiteq vier domeinen:

- Maatschappij
- Onderneming en arbeid
- Onderwijs
- Technologie

Hiteq zoekt nadrukkelijk de verbanden tussen de domeinen, omdat de ontwikkelingen als geheel van invloed zijn op leren en werken in technische beroepen.

Deze Hiteq-publicatie valt binnen het domein Technologie.

[www.hiteq.org](http://www.hiteq.org)

Hiteq is een initiatief van Kenteq

Deze publicatie is een bewerking van een onderzoeksverslag in het kader van de Masteropleiding Natuurwetenschappen en Innovatiemanagement van de Universiteit Utrecht.

Opdrachtgever: Hiteq, centrum van innovatie

Programmaleider: ir. Daan Maatman

# Inhoudsopgave

<b>Samenvatting</b>	<b>9</b>
1.1 Probleemstelling	17
1.2 Doelstelling	18
<b>2 De huidige positie</b>	<b>19</b>
2.1 Huidige ontwikkelingen op het gebied van duurzame brandstoffen	19
2.1.1 Biobrandstoffen	19
2.1.2 Waterstof	24
2.2 De Nederlandse wegtransportsector	27
2.2.1 Nationaal Innovatie Systeem	27
2.2.2 Ontwikkelingen binnen de automotive-industrie	30
2.3 Conclusie	32
<b>3 Een toekomstbeeld</b>	<b>33</b>
3.1 Scenario biobrandstoffen	33
3.2 Scenario waterstof	35
3.3 Conclusie	37
<b>4 Het transitieproces</b>	<b>39</b>
4.1 Transitietheorie	39
4.2 Toepassing op duurzame transportbrandstoffen	43
4.3 Conclusie	45
<b>5 Kansen en bedreigingen</b>	<b>47</b>
5.1 Benodigde maatregelen	47
5.2 Kansen en bedreigingen	48
5.3 Conclusie	49
<b>6 Impact op arbeidsmarkt en onderwijs</b>	<b>51</b>
6.1 Vraag en aanbod technisch personeel	51
6.2 Ontwikkelingen in het onderwijs	55
6.2.1 Bèatechnici	55
6.2.2 Duurzame ontwikkelingen in het onderwijs	57
6.2.3 Multidisciplinair en competentiegericht opleiden	59
6.3 Conclusie	60

<b>7</b>	<b>Roadmaps voor het onderwijs</b>	<b>61</b>
7.1	Benchmark	61
7.2	Roadmaps	61
<b>8</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>67</b>
8.1	Conclusies	67
8.1.1	De eerste onderzoeksvraag	67
8.1.2	De tweede onderzoeksvraag	69
8.1.3	Afsluiting	70
8.2	Aanbevelingen	70
	<b>Bijlagen</b>	<b>75</b>
<b>1</b>	<b>Brandstofketens</b>	<b>77</b>
<b>2</b>	<b>Overzicht visies</b>	<b>81</b>
<b>3</b>	<b>Benchmark lesmateriaal duurzame transportbrandstoffen in het onderwijs</b>	<b>85</b>
	<b>Literatuur</b>	<b>89</b>
	<b>Noten</b>	<b>93</b>
	<b>Colofon</b>	<b>96</b>

## Samenvatting

### Op weg naar een duurzame transportbrandstof

*Drs. ing. Mathijs Vaessen*

De huidige maatschappij is voor een groot deel afhankelijk van fossiele brandstoffen. Deze worden gebruikt voor het transport, voor de stationaire energievoorziening en voor de opwekking van elektriciteit. Het gebruik van deze fossiele brandstoffen brengt echter een aantal grote problemen met zich mee:

- Het aanbod van de fossiele energiebronnen neemt af terwijl de vraag blijft toenemen.
- De bronnen zijn onevenwichtig verspreid, waardoor er een grote afhankelijkheid bestaat van een klein aantal olie-exporterende landen, die bovendien politiek gezien niet altijd even stabiel zijn.
- Bij de verbranding van fossiele brandstoffen komen schadelijke stoffen vrij. Deze stoffen zijn voor een groot deel schadelijk voor de volksgezondheid en ze zijn medeverantwoordelijk voor de klimaatverandering.

Deze problemen hebben ertoe geleid dat vele landen het Kyoto-protocol hebben ondertekend, dat in 2005 van kracht is geworden. Het Kyoto-protocol is een overeenkomst waarin doelstellingen zijn opgenomen over de vermindering van de CO<sub>2</sub>-uitstoot tot 2012 en het verhogen van duurzame-energiebronnen tot 2020. Om aan dit protocol te kunnen voldoen is Nederland genoodzaakt om de ontwikkeling en het gebruik van duurzame-energiebronnen voor het transport, de stationaire energievoorziening en de opwekking van elektriciteit te stimuleren.

Voor de opwekking van elektriciteit zijn meerdere opties voorhanden, zoals wind-energie, zonne-energie en biomassa. De transportsector en de stationaire sector zijn echter te sterk afhankelijk van brandstoffen. Een overgang van fossiele brandstoffen naar duurzame brandstoffen is daarom voor deze sectoren noodzakelijk. Dit onderzoek richt zich op de transitie naar duurzame brandstoffen in de transportsector. Deze transitie of overgang kan gezien worden als een structurele maatschappelijke verandering die het resultaat is van op elkaar inwerkende en elkaar versterkende ontwikkelingen op het gebied van economie, cultuur, technologie, instituties en natuur en milieu. Om een beter inzicht in deze transitie te krijgen is de volgende onderzoeksvraag geformuleerd:

- 1 Welke maatregelen zijn er in Nederland nodig om het transitieproces naar een duurzame transportbrandstof te sturen, en wat zijn de kansen en bedreigingen die hierbij ontstaan voor de Nederlandse transportsector?

Om het antwoord op deze onderzoeksvraag te verkrijgen zijn drie stappen gezet: de huidige positie, het toekomstbeeld en het transitieproces. Daarbij is een onderscheid gehanteerd tussen biobrandstoffen en waterstof; deze worden gezien als de meest potentiële brandstoffen in de transitie naar een duurzame transportbrandstof.

Het doorlopen van deze drie stappen heeft geleid tot de volgende conclusies:

#### 1 De huidige positie

Rond biobrandstoffen en waterstof zijn er op dit moment verschillende activiteiten te onderscheiden. Voor biobrandstoffen bestaat er een onderscheid tussen de huidige generatie met een beperkte duurzaamheid en een tweede generatie met een hogere duurzaamheid. De huidige initiatieven zijn vooral gericht op de productie van de eerste generatie biobrandstoffen. Op het gebied van waterstof zijn er in Nederland een aantal grote spelers gericht op industriële toepassingen. Nieuwe, kleinere spelers richten zich op nieuwe toepassingen. De Nederlandse automotive-industrie is vooral actief in de toelevering van onderdelen aan buitenlandse automerken. Nederland speelt een belangrijke rol in de olie-industrie met de raffinaderijen in de Rijnmond. Nederland kent verder een sterke infrastructuur rond de toelevering van fossiele transportbrandstoffen en de toelevering van aardgas voor stationaire toepassingen.

#### 2 Het toekomstbeeld

Uit de transportsector is het volgende toekomstbeeld naar voren gekomen: Biobrandstoffen zullen voornamelijk uit bio-ethanol en biodiesel bestaan. Een kleine nichemarkt ontstaat voor de toepassing van SNG. Een groot deel van de biobrandstoffen wordt geïmporteerd. Rond 2020 zal de tweede generatie haar intrede in de markt doen. Rond deze tijd zal ongeveer 25% van de benzine- en dieselveertuigen rijden op brandstoffen met hoge bijmengpercentages of puur bio-ethanol of biodiesel. Bio-ethanol vindt vooral toepassing in personenauto's; biodiesel vooral in bussen, vrachtauto's, landbouwmachines en gemeentevoertuigen. Waterstof zal rond 2015 commercieel inzetbaar zijn. In 2050 rijdt 40% van de voertuigen op waterstof. De voornaamste bron in de productie van waterstof is reforming van aardgas met CO<sub>2</sub>-opvang. Tussen 2030 en 2050 wordt een pijpleidinginfrastructuur aangelegd voor de distributie van waterstof. Tot die tijd worden vrachtauto's ingezet. Gebieden buiten het bereik van de pijpleiding, zoals

Noordoost-Nederland, beschikken over on-site-reforming. De opslag van waterstof in voertuigen vindt uiteindelijk plaats in de gasvormige conditie, en opslag in hydrides neemt toe. Voor de aandrijving van voertuigen op waterstof wordt vooral ingezet op de brandstofcel. Slechts een klein aandeel is weggelegd voor interne verbranding, een toepassing die uiteindelijk zal in marktaandeel zal afnemen.

#### 3 Het transitieproces

Om het transitieproces zo succesvol mogelijk te laten verlopen is een goed samenspel nodig van drie analytische instrumenten: het multi-level-model, het multi-fase-model en het multi-verandering-model. Het is vooral belangrijk dat de technologie doorgroeit van een niche via een regime naar een golfbeweging. Voor biobrandstoffen bestaat er al een goede aansluiting tussen deze drie niveaus. Voor waterstof is dit niet het geval. De doorgroei van een niche tot een regime wordt hier tegengewerkt door het bestaande regime. Dit is namelijk te veel gericht op het gebruik van conventionele brandstoffen. Systeeminnovaties zijn nodig om deze groei te stimuleren.

Om het samenspel van de drie analytische instrumenten verder te stimuleren zijn de volgende maatregelen nodig:

- financiële ondersteuning van onderzoek naar de productie van de tweede generatie biobrandstoffen;
- het opstellen van richtlijnen voor minimale duurzaamheidseisen;
- het maken van afspraken (met landen) over de import: kwaliteit en prijs;
- het opzetten van een nichemarkt voor hoge bijmengpercentages en pure bio-ethanol en biodiesel;
- aansluiting zoeken op bestaande technologieën en nieuwe technologieën ontwikkelen;
- het opbouwen van een nieuw regime rond waterstof, waarbij veiligheid een belangrijke rol krijgt;
- omschakelen van kortetermijndenken naar langetermijnvisies en langetermijndenken.

Deze maatregelen leveren nieuwe kansen en bedreigingen op voor de transportsector.

Belangrijke kansen:

- ombouw van bestaande voertuigen naar voertuigen geschikt voor brandstoffen met hoge bijmengpercentages of pure biobrandstoffen;
- procesontwikkeling voor de productie van tweedegeratie-biobrandstoffen;
- technologie-ontwikkeling voor de productie van waterstof op basis van reforming,

voor transport door middel van pijpleidingen en voor opslag van waterstof, met de kennis en ervaringen uit de industriële waterstofsector in de Rijnmond;

- toelevering van onderdelen aan de automotive-industrie voor waterstof-toepassingen, zoals de brandstofcel.

#### Bedreigingen:

- concurrentie van sterke automotive-industrie uit het buitenland.
- niet-doorgroeien van de tweede generatie biobrandstoffen door hoge investeringskosten en de overlapping met waterstof.

Een van de belangrijkste middelen die Nederland kan inzetten om de hierboven genoemde kansen te benutten en bedreigingen te minimaliseren, is kennisontwikkeling. Door tijdig in te spelen op nieuwe ontwikkelingen en de daarvoor benodigde kennis te ontwikkelen, kan Nederland vooroplopen in de transitie naar een duurzame transportbrandstof.

Het tweede gedeelte van dit onderzoek gaat daarom in op de onderzoeksvraag:

- 2 Welke (technische) kennis heeft Nederland nodig om een succesvolle transitie naar een duurzame transportbrandstof te bereiken, en wat is de impact hiervan op de huidige technische beroepen?

Om deze vraag te beantwoorden is de toekomstige vraag naar technisch personeel vergeleken met het huidige en toekomstige aanbod. De belangrijkste conclusies uit deze vergelijking:

- De vraag naar technisch personeel zal met de transitie naar een duurzame transportbrandstof verder toenemen. In de toekomst moet daarom meer aandacht komen voor multidisciplinaire opleidingen en voor het bevorderen van het aantal bètatechnici. Duurzame ontwikkelingen moeten meer aandacht krijgen in het onderwijs.
- Het aanbod van technisch personeel neemt alleen in het wo toe; het aantal technici op hbo en mbo neemt af. Het Platform Bèta Techniek werkt hard aan de doelstelling om meer technici in het onderwijs aan te trekken. Vooral in de multidisciplinaire opleidingen met een bètagedeelte neemt het aantal studenten toe.
- Jongeren blijken steeds meer interesse te hebben in duurzame ontwikkelingen. In het onderwijs wordt daarom steeds meer aandacht besteed aan duurzame ontwikkelingen. Steeds meer opleidingen proberen duurzaamheid en techniek samen te brengen in projecten. In Nederland is er echter nog weinig lesmateriaal beschikbaar over duurzame transportbrandstoffen.

Met het beantwoorden van deze twee onderzoeksvragen is een beter inzicht verkregen in het verloop van de transitie naar een duurzame transportbrandstof. De kansen en bedreigingen voor de Nederlandse transportsector en de benodigde kennisontwikkeling in Nederland zijn in kaart gebracht. Om dit transitieproces zo goed mogelijk te laten verlopen, de kansen te benutten, bedreigingen te minimaliseren en de benodigde kennis te ontwikkelen, worden ten slotte de volgende aanbevelingen gedaan:

- 1 het stimuleren van de ombouw van conventionele benzine- en dieselveertuigen tot flexifuel- en biodieselveertuigen;
- 2 het ontwikkelen van kennis voor de productie van de tweede generatie biobrandstoffen;
- 3 het creëren van draagvlak voor waterstoftechnologieën;
- 4 het ontwikkelen van kennis over waterstoftoepassingen;
- 5 Nederland verder ontwikkelen als kennisland.

# 1 Inleiding

**Je kunt er tegenwoordig niet meer omheen: de mens is schuldig aan de klimaatverandering.<sup>1</sup> De broeikasgassen in de atmosfeer zijn sinds 1750 duidelijk toegenomen als gevolg van menselijke activiteiten, aldus het IPCC-rapport, waaraan honderden wetenschappers hebben bijgedragen.<sup>2</sup> Door de toename van de concentraties broeikasgassen wordt de warmte langer vastgehouden in de atmosfeer, waardoor de aarde opwarmt. De oorzaak van deze toename ligt voor een groot deel in het gebruik van fossiele brandstoffen.**

De opwarming van de aarde brengt een aantal grote gevolgen met zich mee: de zeespiegel stijgt, waardoor belangrijke bewoonde gebieden onder water komen te staan; er komen meer temperatuurschommelingen; windpatronen veranderen; het leefmilieu voor een aantal dier- en plantensoorten wordt aangetast.

Naast de klimaatverandering zijn er nog een aantal andere toekomstige problemen die het gebruik van fossiele brandstoffen met zich meebrengt. Deze zijn:

- De fossiele energiebronnen worden schaarser en het wereldenergieverbruik neemt toe. Met andere woorden: de vraag neemt toe en het aanbod neemt af. De toename van het energieverbruik wordt vooral veroorzaakt door de economische ontwikkeling van grote landen als Brazilië, India en China.
- Het grootste deel van de gebruikte energie wordt uit fossiele bronnen gewonnen, zoals kolen, aardgas en olie. Deze bronnen zijn echter beperkt aanwezig en zijn bovendien onevenwichtig over de wereld verspreid. Er is een grote afhankelijkheid van een klein aantal olie-exporterende landen in het Midden-Oosten, die bovendien politiek gezien niet altijd even stabiel zijn. Wat betreft aardgas bestaat er op dit moment een grote en toenemende afhankelijkheid van Rusland. Al enige tijd zijn er grote belangenconflicten tussen landen en oliemaatschappijen; dit heeft al geleid tot verminderde aanvoer en tot prijsverhogingen.
- Bij de verbranding van fossiele brandstoffen komen schadelijke stoffen vrij. Deze stoffen leveren niet alleen een bijdrage aan de klimaatverandering maar zijn voor een groot deel ook schadelijk voor de volksgezondheid (luchtwegaandoeningen, hart- en vaatziekten).

Deze negatieve effecten die ontstaan bij het gebruik van fossiele brandstoffen hebben ertoe geleid dat steeds meer landen duurzame energie een belangrijke plaats geven op de politieke agenda. Zo ook Nederland. Een belangrijk gevolg hiervan is de ondertekening van het Kyoto-protocol.<sup>3</sup> Hiermee heeft de Nederlandse regering zich onder meer verplicht om de uitstoot van CO<sub>2</sub> in de periode

2008-2012 met 6% te verminderen ten opzichte van de uitstoot in 1990. Dit protocol heeft verder als doel om in 2020 de situatie te bereiken dat 10% van de totale verbruikte energie afkomstig is uit duurzame bronnen.<sup>4</sup>

Om aan dit protocol te kunnen voldoen is Nederland genooddaakt om een transitie naar een duurzame samenleving in gang te zetten. Dat wil zeggen dat er een grote structurele verandering moet plaatsvinden waarbij de huidige wereldbevolking in haar behoeften voorziet zonder de komende generaties te beperken in het voorzien in hun behoeften.<sup>5</sup>

Een belangrijke rol binnen de transitie naar een duurzame samenleving is weggelegd voor de transitie naar een duurzame energievoorziening. Recente ontwikkelingen laten zien dat de overheid hier serieus mee bezig is. In het regeerakkoord<sup>6</sup> van het kabinet-Balkenende IV wordt gestreefd naar een aandeel duurzame energie van 20% in 2020 en een reductie van de uitstoot van broeikasgassen tot 30% in 2020 ten opzichte van 1990.

Deze doelstellingen moeten ervoor zorgen dat Nederland zijn gebruik en afhankelijkheid van fossiele brandstoffen zal reduceren en het gebruik van duurzame brandstoffen zal stimuleren.

Fossiele brandstoffen hebben op dit moment een dominante rol in de energievoorziening. In de transportsector betreft dit ruwe aardolie omgezet naar benzine en diesel; voor de stationaire energievoorziening is dit aardgas.

Dit onderzoek richt zich op de transitie van fossiele brandstoffen naar duurzame brandstoffen in de transportsector.

In Europa is de transportsector voor 98% afhankelijk van fossiele brandstoffen en daarmee verantwoordelijk voor bijna een derde van de CO<sub>2</sub>-uitstoot.<sup>7</sup> De transitie naar een duurzame transportbrandstof zal dan ook verregaande gevolgen hebben voor de huidige sector, die volledig is ingericht op fossiele transportbrandstoffen. De duurzame transportbrandstoffen die op dit moment de meeste potentie hebben, zijn biobrandstoffen en waterstof. Veel huidige experimenten en pilotprojecten richten zich dan ook op de toepassing van deze brandstoffen. Tot nu toe leidt dit echter niet tot grootschalige toepassingen. De oorzaak hiervan is gelegen in de complexiteit en vooral in de afhankelijkheid van het systeem dat gedurende de afgelopen eeuw is opgebouwd rond het gebruik van olie. Deze complexiteit heeft gedurende de afgelopen eeuw geleid tot een 'lock-in'. Dit wil zeggen dat de technologie zich niet vrij kan ontwikkelen maar vast zit in een ingeslagen richting van ontwikkeling.<sup>8</sup> Rotmans spreekt ook wel van 'weeffouten'; dit zijn barrières in een systeem die verhinderen dat het systeem optimaal functioneert. Oftewel: er is te lang doorgewerkt met oude oplossingen binnen oude instituties

en spelregels. Om een transitie naar een duurzame transportbrandstof in gang te zetten en de problemen bij het gebruik van fossiele brandstoffen te verminderen, zijn daarom op korte termijn maatregelen nodig.

## 1.1 Probleemstelling

Een recente Europese maatregel is de verplichte bijmenging van 2% biobrandstoffen aan fossiele brandstoffen in 2007 en van 5,75% in 2010. Dit kan gezien worden als de eerste stap in de transitie naar een duurzame transportbrandstof. De verplichting wordt dit jaar grotendeels ingevuld door de inzet van de eerste generatie biobrandstoffen. Deze brandstoffen hebben echter een beperkte CO<sub>2</sub>-reductie en de grondstoffen hebben een relatief lage energiewaarde.

Om de transitie naar een 100% duurzame brandstof in te zetten zijn daarom andere, radicale oplossingen nodig. Als oplossing worden de tweede generatie biobrandstoffen – met een hogere CO<sub>2</sub>-reductie en hogere energiewaarde – en waterstof gezien. Toepassingen in de praktijk beperken zich nu nog vooral tot kleine gesubsidieerde projecten zonder grootschalige toepassingen. Het lijkt erop dat er weliswaar voldoende kennis aanwezig is over deze duurzame alternatieven, maar dat deze nog onvoldoende wordt benut in de vertaling naar maatschappelijke en economische waarde.

Een transitie naar een andere transportbrandstof is ook niet zomaar een verandering: het betreft een zeer complex en langdurig proces dat veel onzekerheden met zich meebrengt.<sup>9</sup> Deze onzekerheden vormen een groot blokkeermechanisme voor een succesvolle transitie. Naast blokkerende factoren zijn er echter ook factoren die een bijdrage kunnen leveren aan een succesvolle transitie. Om de vertaling naar maatschappelijke en economische waarde te kunnen maken is het daarom belangrijk om meer inzicht te krijgen in het transitieproces en in de factoren die invloed kunnen hebben op het verloop van de transitie.

Om een beter inzicht te krijgen in het transitieproces naar een duurzame transportbrandstof wordt in deze publicatie een toekomstbeeld geschetst vanuit het perspectief van de transportsector. Vergelijking van dit toekomstbeeld met de huidige situatie geeft de mogelijkheid om uitspraken te doen over de stappen die gezet moeten worden om tot een succesvolle transitie te komen.

Dit onderzoek richt zich op de rol van de Nederlandse transportsector binnen de transitie naar een duurzame transportbrandstof. Beter inzicht in het transitieproces kan belangrijke kansen genereren voor deze sector.

## 1.2 Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is om een beter inzicht te krijgen in de transitie naar een duurzame transportbrandstof en in de factoren die dit proces kunnen beïnvloeden. Dit inzicht wordt vervolgens gebruikt om de kansen en bedreigingen voor de Nederlandse transportsector in kaart te brengen. De nadruk van dit onderzoek ligt op wegtransport, omdat wegtransport verreweg het grootste aandeel fossiele brandstoffen binnen de transportsector verbruikt.

De doelstelling van het onderzoek is:

Het verkrijgen van een beter inzicht in het verloop van een succesvolle transitie naar een duurzame transportbrandstof en het in kaart brengen van de kansen en bedreigingen voor de Nederlandse wegtransportsector.

Het onderzoek bestaat uit twee onderdelen.

Het eerste deel gaat in op de volgende onderzoeksvraag:

- 1 Welke maatregelen zijn er in Nederland nodig om het transitieproces naar een duurzame transportbrandstof te sturen, en wat zijn de kansen en bedreigingen die hierbij ontstaan voor de Nederlandse transportsector?

Met het beantwoorden van deze vraag wordt een beter inzicht verkregen in de kansen en bedreigingen die bij een dergelijke transitie ontstaan. Wanneer Nederland het transitiepad inslaat zal dit invloed hebben op verschillende factoren, zoals wet- en regelgeving, infrastructuur, industrie, kennisinstituten en opleidingen.

Het tweede gedeelte gaat verder in op de benodigde kennisontwikkeling in Nederland en gaat daarmee in op de tweede onderzoeksvraag:

- 2 Welke (technische) kennis heeft Nederland nodig om een succesvolle transitie naar een duurzame transportbrandstof te bereiken, en wat is de impact hiervan op de huidige technische beroepen?

Wanneer bekend is wat voor de Nederlandse transportsector de kansen en bedreigingen zijn en wat de benodigde kennisontwikkeling is, kan de sector hier beter op inspelen. Dit zal uiteindelijk leiden tot een betere vertaling van de beschikbare kennis naar maatschappelijke en economische waarde en hiermee de transitie versterken dan wel versnellen.

## 2 De huidige positie

**In dit hoofdstuk wordt een beeld geschetst van de huidige positie van Nederland in de transitie naar een duurzame transportbrandstof. De eerste paragraaf bevat een overzicht van de huidige ontwikkelingen op het gebied van duurzame brandstoffen in Nederland. Hierin wordt een onderscheid gemaakt tussen biobrandstoffen en waterstof. Daarna volgt een overzicht van de Nederlandse transportsector zoals die nu is opgebouwd rond het gebruik van fossiele brandstoffen.**

### 2.1 Huidige ontwikkelingen op het gebied van duurzame brandstoffen

Op dit moment zijn er twee stromingen zichtbaar op het gebied van duurzame brandstoffen. De eerste stroming richt zich op de kortere termijn met de eerste generatie biobrandstoffen. Daarnaast is er een ontwikkeling in de richting van de volgende generatie biobrandstoffen en waterstof als transportbrandstof.

In deze paragraaf wordt een onderscheid gemaakt tussen biobrandstoffen (2.1.1) en waterstof (2.1.2).

#### 2.1.1 Biobrandstoffen



“Het gebruik van plantaardige olie als motorbrandstof mag tegenwoordig onbelangrijk zijn. Maar zulke producten worden in de loop der tijd net zo belangrijk als petroleum en de koolteerproducten vandaag de dag.”

Rudolf Diesel, 1912<sup>10</sup> Bron: <http://www.nndb.com>

Rudolf Diesel was er al in 1912 van overtuigd dat biodiesel een belangrijke rol als motorbrandstof zou gaan krijgen. Naast biodiesel zijn er verschillende alternatieven denkbaar die met de huidige motoren, of met behulp van een lichte aanpassing daarvan, toegepast kunnen worden als transportbrandstof.

De term ‘biobrandstof’ is vastgelegd in de Europese Richtlijn 2003/30/EC. Biobrandstof wordt daar omschreven als: een vloeibare of gasvormige transportbrandstof die gewonnen is uit biomassa. Hierbij is biomassa de biologisch afbreekbare fractie van producten, afvalstoffen en residuen van landbouw (met inbegrip van plantaardige en dierlijke stoffen), bosbouw en aanverwante bedrijfstakken, alsmede de biologisch afbreekbare fractie van industrieel en huishoudelijk afval.

Nederland werkt aan de implementatie van deze Europese Richtlijn ter stimulering van biobrandstoffen.<sup>11</sup> Volgens de Richtlijn moeten biobrandstoffen in 2005 per lidstaat een aandeel van 2% van de nationaal gebruikte transportbrandstoffen vervangen en vanaf 2010 5,75%. In 2005 was het aandeel biobrandstoffen binnen de gehele EU lager dan 1%. Slechts drie van de lidstaten bereikten een aandeel van boven de 1%. Duitsland was een van deze drie lidstaten: het bereikte een aandeel biobrandstoffen van 3,75%<sup>12</sup>, dat goed was voor tweederde aandeel van de totale hoeveelheid biobrandstoffen binnen de EU. Hiernaast had ook Zweden al in 2005 een aandeel van 2,2% biobrandstoffen. Nederland bereikte eind 2005 slechts een aandeel van 0,02% biobrandstoffen.

Als oorzaak van deze lage percentages in de meeste Europese lidstaten worden, naast de factor kosten, drie belangrijke redenen genoemd in de *Renewable Energy Road Map* (2006)<sup>13</sup> van de Europese Commissie. Ten eerste waren er in de meeste lidstaten onvoldoende ondersteunende biobrandstofproducenten om de richtlijn van 2% te halen. Ten tweede hebben de meeste brandstofproducenten te maken met een overschot aan benzine. Dit komt doordat raffinaderijen een vaste verhouding benzine-diesel leveren; door de stijgende vraag naar diesel neemt daarmee automatisch de hoeveelheid benzine toe. Het bijmengen van bio-ethanol vergroot dit probleem. De derde reden is gelegen in een gebrek aan regelgeving voor biobrandstoffen binnen de EU: met name het ontbreken van een plan om de gestelde doelen om te zetten in concrete acties binnen de lidstaten heeft geleid tot lage bijmengpercentages.

Nederland heeft na 2005 zijn beleid aangepast, om toch richting de 2% bijmenging met biobrandstoffen te gaan. Om het gebruik van biobrandstoffen te stimuleren gold in Nederland vanaf 1 januari 2006 een accijnsvrijstelling voor het bijmengen van biobrandstoffen. Hiermee werd het mogelijk om zonder prijsverhoging aan de pomp maximaal 2% biobrandstof toe te voegen aan de benzine- en dieselbrandstoffen. De regering heeft hiervoor € 70 miljoen uitgetrokken. Deze accijnsvrijstelling is per 1 januari 2007 stopgezet. Inmiddels heeft de Nederlandse regering een verplichte bijmenging van 2% in 2007 vastgelegd.

In het Besluit Biobrandstoffen Wegverkeer<sup>14</sup> zijn de regels met betrekking tot het gebruik van biobrandstoffen in het wegverkeer beschreven. Hierin staat dat iedere vergunninghouder per kalenderjaar ten minste 2% van de door hem uitgeslagen hoeveelheid ongelode lichte olie en ten minste 2% van de door hem uitgeslagen hoeveelheid gasolie aan biobrandstoffen moet bijmengen die voldoen aan de minimumeisen van duurzaamheid. De vergunninghouders mogen om aan hun verplichting te voldoen hoeveelheden biobrandstoffen onderling administratief

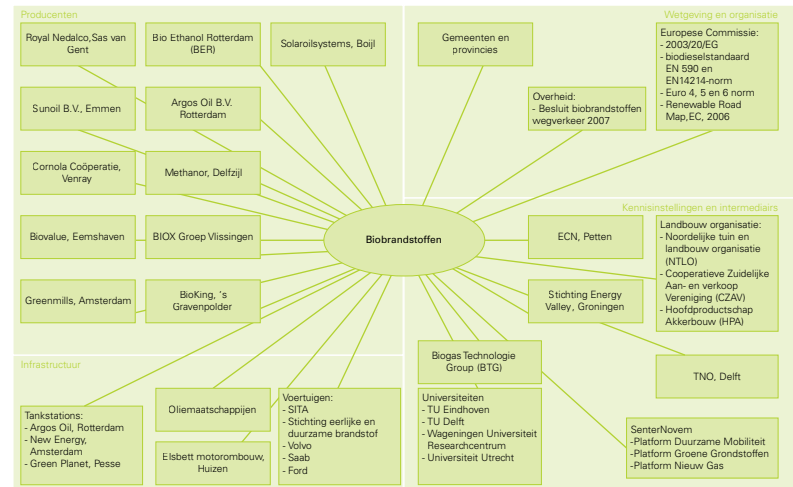


verhandelen. Voor het jaar 2008 is een bijmenging vastgelegd van 3,25% en voor 2009 een bijmenging van 4,5%. Uiteindelijk moet dit besluit leiden tot een invulling van de richtlijn van 5,75% bijmenging van biobrandstoffen in 2010. Deze percentages mogen binnen het kalenderjaar en over de regio's fluctueren. De verwachting van de Europese Commissie is dat in 2020 een aandeel van 15% biobrandstoffen mogelijk is. In de Renewable Energy Road Map beschrijft de Europese Commissie hoe de landen van de Europese Unie in 2020 een 20% lagere uitstoot moeten realiseren. Om dit te bereiken moet worden ingezet op duurzame brandstoffen en op energiebesparing. Het doel is om in 2020 20% energiebesparing en een aandeel van 20% duurzame brandstoffen te behalen. Het aandeel biobrandstoffen moet daarbij minimaal 10% bedragen. In het rapport wordt geconcludeerd dat het niet waarschijnlijk is dat de doelstelling uit Richtlijn 2003/30/EC van 5,75% biobrandstoffen in 2010 niet gehaald zal worden. De Commissie stelt daarom in het rapport voor om in de toekomstige wijziging van de Richtlijn een wettelijk minimum op te nemen van 10% biobrandstoffen in 2020.

Voor de vervanging van lichte olie en gasolie mogen volgens de Richtlijn in ieder geval de volgende brandstoffen als biobrandstof worden ingezet: bio-ethanol, biodiesel, biogas, biomethanol, biodimethylether, bioETBE, bioMTBE, synthetische biobrandstoffen, biowaterstof en PPO (zie ook bijlage 1).

Bij de biobrandstoffen wordt onderscheid gemaakt in twee generaties. Tot de eerste generatie biobrandstoffen worden de brandstoffen met een CO<sub>2</sub>-emissiereductie van maximaal 50% verstaan. Hieronder vallen de meer traditionele biobrandstoffen, zoals biodiesel uit koolzaadolie of zonnebloemolie en alcohol uit suikerbieten of maïs. De verdere ontwikkeling van biobrandstoffen moet leiden tot een tweede generatie, met een CO<sub>2</sub>-emissiereductie van rond de 90%. Tot deze tweede generatie biobrandstoffen behoren de synthetische diesels en ethanol, beide geproduceerd uit houtige biomassa. Naast een hogere CO<sub>2</sub>-emissiereductie zal deze tweede generatie biobrandstoffen ook een hogere opbrengst per hectare opleveren. De biobrandstoffen van de tweede generatie bevinden zich echter nog in de onderzoeksfase. De verwachting is dat de productie van deze brandstoffen alleen rendabel is bij grootschalige productie-units.

Figuur 1 is een sociale kaart van de biobrandstoffenmarkt in Nederland. De kaart is een overzicht van alle betrokken partijen en hun (mogelijke) rol ten opzichte van elkaar; dit beperkt zich niet tot de industrie, ook de rollen van overheid, kennisinstellingen en intermediairs zijn weergegeven.



Figuur 1: Sociale kaart van de biobrandstoffenmarkt in Nederland.

Op de sociale kaart is te zien dat er op veel verschillende gebieden ontwikkelingen zijn, niet alleen rond de productie van de biobrandstoffen: er is een groeiende infrastructuur van kennisinstellingen en intermediairs die zich bezighouden met biobrandstoffen, en ook in de wetgeving zijn er nieuwe ontwikkelingen. Een belangrijke ontwikkeling die niet uit de sociale kaart is af te leiden, is de ontwikkeling van de eerste naar de tweede generatie biobrandstoffen. De producenten en de infrastructuur zijn voornamelijk actief rond de biobrandstoffen van de eerste generatie. Dit heeft geleid tot de opening van een aantal tankstations met eerstegeneratie-biodiesels en bio-ethanol voor aangepaste voertuigen. De tweedegeneratie-biobrandstoffen bevinden zich voornamelijk nog in de onderzoeks- en ontwikkelingsfase. Met name het Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN), Biomass Technology Group B.V. (BTG) en Wageningen Universiteit & Researchcentrum (WUR) doen veel onderzoek naar deze tweedegeneratie-biobrandstoffen. Hierbij worden verschillende productieprocessen onderzocht met verschillende soorten biomassa als primaire energiebron. Daarnaast zijn een aantal grote olieproducenten actief op het gebied van onderzoek naar de productie van tweedegeneratie-biobrandstoffen. Een compleet overzicht van de spelers uit de sociale kaart is te vinden in het rapport *Op weg naar een duurzame transportbrandstof*<sup>15</sup>.

## 2.1.2 Waterstof



“(…) ik ben ervan overtuigd dat water op een dag als brandstof zal worden gebruikt, en dat waterstof (…) een onuitputtelijke bron van warmte en licht zal vormen!”

Jules Verne (1828-1905) in *The Mysterious Island*, 1874 <sup>16</sup>  
Bron: <http://www.jules-verne-club.de>

Zoals Rudolf Diesel een voorgevoel had over biodiesel, zo had Jules Verne al in 1874 een voorgevoel over de toepassing van waterstof als brandstof. Waterstof kan echter niet gewonnen worden uit natuurlijke bronnen, zoals fossiele brandstoffen of biobrandstoffen, maar moet geproduceerd worden door middel van elektrolyse of door het reformen van bijvoorbeeld aardgas. Waterstof wordt daarom niet als brandstof gezien maar als energiedrager. Omdat in dit onderzoek waterstof wordt gezien als vervanger van de huidige fossiele brandstoffen wordt hier wél de term ‘duurzame transportbrandstof’ toegepast.

Waterstof, het lichtste element op aarde, is een kleurloos, reukloos, niet-giftig gas. Onder normale omstandigheden is waterstof gasvormig en weegt 10 liter slechts 0,9 gram.<sup>17</sup> Het probleem van waterstof is dat het moeilijk op te slaan is. Voor het gasvormig opslaan van waterstof tot een beperkt volume is een zeer hoge druk nodig van 350 tot 700 bar. Waterstof kan echter ook vloeibaar opgeslagen worden. Probleem hierbij is wel dat de temperatuur waarbij waterstof vloeibaar wordt op -253 °C ligt. Het opslaan en vervoeren van waterstof kost daarom veel ruimte, energie en geld. Vooral in een klein voertuig is de ruimte voor een hogedruktank, die meestal cilindrisch van vorm is, of voor een cryogene tank, die door de isolatie zeer groot en zwaar wordt, beperkt.

Waterstof kan gebruikt worden voor de aandrijving van een brandstofcel: deze zet waterstof om in water en elektriciteit; de elektriciteit wordt vervolgens door een elektromotor omgezet in bewegingsenergie met alleen water als uitstoot. Een ander manier om waterstof als transportbrandstof in te zetten is via verbranding in een verbrandingsmotor. Met name BMW investeert al enkele jaren in deze techniek.

Waterstof wordt gezien als een zeer schone brandstof. Kanttekening hierbij is dat de energie die nodig is voor de productie van waterstof afkomstig moet zijn uit duurzame-energiebronnen. Vooralnog zijn deze bronnen onvoldoende aanwezig om op grote schaal waterstof te produceren. De transitie naar de duurzame

transportbrandstof waterstof staat daarom in verbinding met de transitie naar een duurzame energievoorziening.

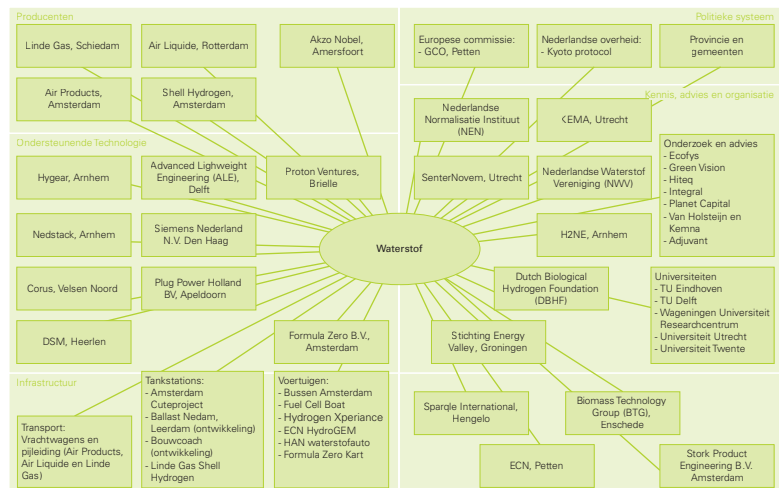
Waterstof is een belangrijk element in de productie van benzine. In het kraakproces wordt waterstof toegevoegd om de benzine te reinigen. Daarnaast wordt waterstof toegepast in verschillende chemische processen bij het bewerken van materialen. Toeleveranciers van waterstof die zich voornamelijk vooral richten op industriële toepassingen zijn Air Products, Air Liquide en Linde Gas (voorheen Hoek Loos). Omdat veel raffinaderijen in de Rijnmond liggen en een constante hoeveelheid waterstof nodig hebben, is hier een waterstofpijpleiding aangelegd. Veel visiedocumenten zien dit netwerk in Rijnmond als belangrijke schakel naar een brede toepassing van waterstof als duurzame transportbrandstof.

Nederland is actief op verschillende toepassingsgebieden van waterstof. In Arnhem is zelfs een cluster ontstaan onder de naam Hydrogen Network Enterprise (H2NE). Binnen dit cluster werken verschillende bedrijven, kennisinstellingen en de overheid met elkaar samen. Nedstack, bijvoorbeeld, een fabrikant van brandstofcelstacks, werkt samen met Silent Energy om volwaardige brandstofcelssystemen in de markt te zetten. En HyGear is actief op het gebied van reforming en gasconditionering. Ook de gemeente Arnhem is hierbij betrokken; zij heeft € 450.000 uitgetrokken voor waterstofprojecten. De Hogeschool Arnhem Nijmegen (HAN) doet onderzoek naar de toepassing van waterstof in bussen en auto's, daarnaast zijn er nog KEMA en Adjuvant BV, oprichter van H2NE en de Nederlandse Waterstof en brandstofcellen Vereniging (NWW). Bij de NWW zijn verschillende actoren betrokken die iets met waterstof te maken hebben of die de ontwikkelingen op dit gebied nauw in de gaten houden. Binnen de vereniging zijn de volgende werkgroepen actief: wetenschap en technologie, waterstofproductie en economie, toepassing en infrastructuur, veiligheid en regelgeving, maatschappij, public relations en waterstof en onderwijs.

Naast de gemeente Arnhem hebben de gemeenten Amsterdam, Enschede, Texel, Almere en Groningen al interesse getoond om activiteiten op het gebied van duurzame energie en waterstof te ontplooiën.

Er bestaat ook al een goed ontwikkelde kennisinfrastructuur op het gebied van waterstof; o.a. ECN, TNO, TU Delft en het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM) zijn hierin actief. Deze partijen, met name ECN en TNO, zijn goed vertegenwoordigd in de meest relevante Europese onderzoeksprojecten en projecten ter voorbereiding van grootschalige Europese demonstraties.

Figuur 2 is een sociale kaart van waterstof in Nederland. De kaart geeft een overzicht van de spelers en projecten op het gebied van waterstof.



Figuur 2: Sociale kaart waterstof, begin 2007.

Uit de sociale kaart blijkt dat er in Nederland al een groot aantal spelers actief zijn op het gebied van waterstof. Een aantal samenwerkingsprojecten hebben zelfs al geleid tot demonstraties.

Een belangrijk verschil bestaat er tussen de gevestigde orde van de industriële waterstofproducenten en de nieuwe, kleinere ondernemingen gericht op de toepassing van waterstof. De waterstofproducenten zijn al jaren verantwoordelijk voor de productie van waterstof voor industriële toepassingen en voor transport en opslag van waterstof. De jonge, kleinere organisaties richten zich vooral op nieuwe toepassingen van waterstof.

De waterstofproducenten leveren belangrijke kennis aan de toepassingsgerichte ondernemingen, terwijl deze weer zorgen voor nieuwe afzetmarkten. Het is daarom dus niet verassend dat de meeste samenwerkingsverbanden bestaan uit een mix van waterstofproducenten en toepassingsgerichte ondernemingen. Daarnaast spelen binnen deze samenwerkingsverbanden kennisinstellingen en het politieke systeem een belangrijke rol. In de projecten die hieruit ontstaan wordt waterstof vooral geproduceerd uit aardgas.

Veel onderzoek is gericht op nieuwe technieken zoals biomassavergassing en elektrolyse. Een compleet overzicht van de spelers uit de sociale kaart is te vinden in het rapport *Op weg naar een duurzame transportbrandstof*<sup>18</sup>.

## 2.2 De Nederlandse wegtransportsector

De transportsector is op te delen in vier deelsectoren: personenvervoer, goederenvervoer over land, scheep- en luchtvaart en dienstverlening ten behoeve van het vervoer. Van het totale verbruik aan transportbrandstoffen per jaar ligt (naar schatting in 2005<sup>19</sup>) ongeveer 74% bij het wegtransport, 18% bij binnenvaart, scheepvaart en visserij, 5,5% bij mobiele werktuigen, 2% bij de luchtvaart en 0,5% bij het treinverkeer (dieseltreinen). Het wegtransport is hiermee verreweg de grootste verbruiker van fossiele brandstoffen in de transportsector; pas ver daarna komt de scheepvaart. Dit onderzoek richt zich daarom met name op de wegtransportsector.

### 2.2.1 Nationaal Innovatie Systeem

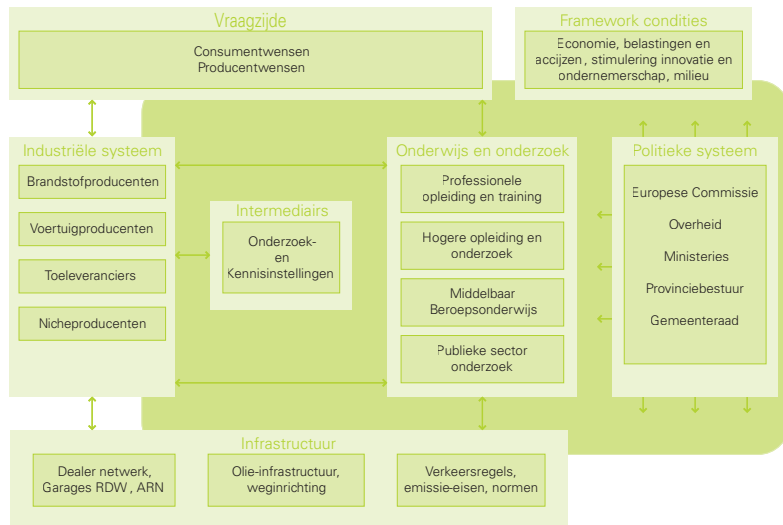
Door de jaren heen heeft de Nederlandse transportsector zich uitgebreid tot een groot en complex systeem. Binnen dit systeem op landelijk niveau zijn verschillende industrieën, subsystemen, instituties en instrumenten op verschillende niveaus met elkaar verweven tot één geheel. Alle actoren zijn op de een of andere manier met elkaar verbonden, waardoor een kleine verandering grote gevolgen kan hebben elders in het systeem. Dit hele systeem is voor een groot deel afhankelijk van één grondstof: olie. De afhankelijkheid van dit product is daarmee enorm, en voor een land als Nederland – dat zelf niet beschikt over deze bronnen – erg gevaarlijk.

Om inzicht te verkrijgen in deze complexiteit wordt gebruik gemaakt van het Nationaal Innovatie Systeem.<sup>20</sup> Hier wordt een overzicht gegeven van verschillende dimensies en hun onderlinge samenhang rond fossiele brandstoffen.

In het Nationaal Innovatie Systeem is te zien hoe de verschillende partijen met elkaar in verbinding staan. Het politieke systeem heeft de grootste invloed en staat met het hele innovatiesysteem in verbinding.

De wegtransportsector in Nederland is qua industrie ruwweg op te delen in drie subsystemen: de automotive-industrie, de olie- en gasindustrie en de infrastructuur. Per subsysteem volgt hier een kort overzicht van belangrijke Nederlandse spelers.

Wanneer vanuit het Nationaal Innovatie Systeem wordt gekeken naar de wegtransportsector ziet deze er als volgt uit (Figuur 3):



Figuur 3: Nationaal Innovatie Systeem wegtransportsector. (Kuhlman & Arnold, 2001).

### Automotive-industrie Nederland

De Nederlandse automotive-industrie is sterk gericht op de toelevering van onderdelen aan grote autofabrikanten in landen als Duitsland, Frankrijk en Zweden. Dit komt doordat Nederland zelf geen grote automerken kent. Alleen DAF is, in de jaren 50, met de massaproductie van personenauto's gestart; deze divisie is echter in 1975 weer verkocht. Naast DAF kent Nederland de vrachtauto producenten Terberg en Ginaf, de busfabrikanten VDL BOVA en VDL Berkhof en de autofabrikanten Donkervoort en Spyker Cars. Verder zijn er productie-units van Scania en Mitsubishi (Nedcar). Toeleveranciers spelen tegenwoordig een zeer belangrijke rol in de automotive-industrie. De West-Europese auto-industrie besteedt ongeveer driekwart van het werk wereldwijd uit aan toeleveranciers; die trend zal zich in de toekomst doorzetten.<sup>21</sup> De markt voor de Nederlandse automotive-industrie is voor 90% gevestigd in het buitenland. Hieronder vallen ook de wereldspelers DSM, Dow Chemical en Corus die zich vooral richten op de toelevering van grondstoffen en halfabrikaten. In totaal zijn er in Nederland ongeveer tweehonderd bedrijven die zich volledig of deels als toeleverancier van producten, processen of kennis voor de automotive-industrie inzetten.

Behalve deze toeleveranciers en voertuigproducenten zijn er in Nederland ongeveer twintig ingenieurbureaus die zich richten op onderzoek en ontwikkeling in de automotive-industrie en die hiermee een belangrijke bijdrage leveren aan de innovativiteit in de sector.<sup>22</sup>

Volgens Harm Weken van FIER, een adviesbureau voor de autobranche, telt Nederland drie- tot vierhonderd productiebedrijven voor de autosector en werken er ongeveer 38.000 mensen (mei 2006).<sup>23</sup> Het is van belang voor de Nederlandse economie dat de sector deze positie niet alleen behoudt maar ook verder weet te versterken.

Als ondersteuning aan de automotive-industrie bestaat er een netwerk rond kennisontwikkeling en kennisuitwisseling. Verschillende universiteiten bieden een voertuigtechnische opleiding aan; hieronder vallen de opleidingen van de TU Eindhoven en de TU Delft en de internationale Automotive Engineering Master georganiseerd door de Hogeschool Arnhem en Nijmegen (HAN). Daarnaast biedt de HAN een autotechnische opleiding op hbo-niveau aan. Ook Fontys in Eindhoven en de Hogeschool Rotterdam hebben een hbo-opleiding autotechniek. Daarnaast zijn er verschillende automotive-opleidingen op mbo- en vmbo-niveau. Tussen deze opleidingen en de industrie vindt kennisuitwisseling plaats. Kennisontwikkeling is er ook bij Toegepast Natuurkundig Onderzoek (TNO) in Delft en Helmond, het Competence Centre for Automotive Research (CCAR) in Eindhoven en het Koninklijk Instituut Van Ingenieurs (Kivi Niria) in Den Haag.

### Olie- en gasindustrie

De olie-industrie bestaat uit drie onderdelen: de aardolie-industrie, de chemische industrie en de rubber- en kunststofverwerkende industrie. Binnen de aardolie-industrie vinden in Nederland de meeste werkzaamheden plaats op aardolie-raffinaderijen en andere aardolieverwerkende bedrijven. In de hele aardolie-industrietak zijn in totaal slechts enige tientallen grootschalige bedrijven actief. De aardolie-industrie biedt werk aan ongeveer 9.000 personen (in 2004) en is voor het grootste deel gevestigd in het westen van het land.<sup>24</sup> Verder beschikt Nederland over een sterke aardgasindustrie, met eigen gasvelden in het noorden van het land en een infrastructuur van gasleidingen door het hele land. De gasindustrie heeft echter maar een beperkte invloed op het wegtransport. Niet meer dan enkele honderden auto's en bussen zijn aangepast voor het rijden op aardgas.

## Infrastructuur

De infrastructuur voor wegtransport bestaat uit wegen, viaducten, tunnels, bewegwijzering, verkeerslichten en -borden en tankstations. De meeste voorzieningen vallen onder de verantwoordelijkheid van Rijkswaterstaat. Tankstations zijn in de meeste gevallen eigendom van oliemaatschappijen.

### 2.2.2 Ontwikkelingen binnen de automotive-industrie

Er is op dit moment een bescheiden trend zichtbaar naar aardgas als brandstof. NGV Holland is een vereniging die het gebruik van aardgas en biogas wil stimuleren en ervoor wil zorgen dat er in Nederland meer voertuigen op aardgas gaan rijden. Het doel van NGV is hiermee de schadelijke gevolgen van emissies van autoverkeer op het milieu en de luchtkwaliteit tot een minimum te beperken.<sup>25</sup> Aardgas bestaat voor het grootste gedeelte uit methaan en is een schonere brandstof dan benzine en diesel; aardgas stoot namelijk geen fijnstof uit en ongeveer 25% minder CO<sub>2</sub>. Dit jaar (2007) bestaat er een extra laag belastingtarief voor aardgas. In Nederland moet echter nog wel de volledige motorrijtuigenbelasting betaald worden, wat in andere landen niet het geval is. De aanschaf van een voertuig op aardgas is daarmee nog duurder maar het gebruik is goedkoper in vergelijking met andere landen.<sup>26</sup>

Aardgas kan onder een hoge druk (200 bar) in een voertuig opgeslagen worden als CNG (Compressed Natural Gas) in één of meerdere cilinders. Een kubieke meter Nederlands aardgas bevat evenveel energie als een liter benzine. Het voertuig moet daarom uitgevoerd worden met compressiecilinders. Deze nemen meer ruimte in beslag dan een vergelijkbare benzinetank omdat de tank vanwege de hoge druk cilindrisch van vorm moet zijn en daardoor minder goed in beschikbare volumes geplaatst kan worden (zoals een kunststof benzinetank). Een personenauto kan ongeveer 30 m<sup>3</sup> aardgas meenemen; hiervoor is een opslagcapaciteit nodig van 150 liter.

Bij verschillende dealers kunnen al een aantal modellen op aardgas besteld worden. Zo bieden merken als Volvo, Ford, Renault en Fiat al modellen aan onder de naam 'bi-fuels'. Deze auto's kunnen zowel op benzine als op aardgas rijden. Op dit moment zijn er vijf openbare tankstations in Nederland die aardgas aanbieden.<sup>27</sup> De verwachting is dat dit aantal dit jaar oploopt tot tien.

Verder bestaat er extra belangstelling voor voertuigen die kunnen rijden op een mengsel van bio-ethanol en benzine. Verhoudingen tot 85% bio-ethanol

zijn in deze voertuigen mogelijk. In landen als Zweden en Brazilië worden deze voertuigen onder de term 'flexifuel' al veelvuldig toegepast. Verschillende merken bieden deze voertuigen sinds 2006 ook in Nederland aan.

De nieuwste ontwikkeling op dit gebied is een Saab flexifuel 100. Deze auto kan rijden op pure bio-ethanol en zal binnenkort gepresenteerd worden. Ook zijn er al automerken die aangeven of hun voertuig geschikt is voor hoge bijmengpercentages biodiesel. Daarnaast worden er biodiesel-ombouwpakketten aangeboden, bijvoorbeeld door het Duitse Elsbett Motorombouw. Deze pakketten kunnen bij een aangesloten garagebedrijf achteraf ingebouwd worden.

Veel autofabrikanten zijn ook al bezig met de ontwikkeling van een auto op waterstof. De meeste fabrikanten kiezen hierbij voor een voertuig uitgerust met een brandstofcel en gasvormige opslag van waterstof in het voertuig. Er zijn maar een paar producenten die van dit principe afwijken. Eén daarvan is BMW, dat al jaren testen uitvoert met vloeibare waterstof die in een aangepaste verbrandingsmotor door ontsteking voor de aandrijving zorgt. Ook Mazda past deze technologie toe in haar rotatiemotor.

De meeste grotere automerken hebben inmiddels minimaal één model gepresenteerd dat uitgerust is met waterstofaandrijving. Commercieel zijn deze voertuigen echter nog niet beschikbaar. In Nederland zijn, voor zover bekend, alleen ECN, TNO en de HAN bezig met de ontwikkeling van een eigen voertuig uitgerust met een brandstofcel.

Behalve voor nieuwe brandstoffen bestaat er ook veel belangstelling voor andere technologische ontwikkelingen om de uitstoot te beperken. Zo is de hybride auto de laatste jaren een bekend beeld op de weg geworden. Het aantal verkochte hybrides in Nederland is de laatste vijf jaar sterk toegenomen; onder meer Toyota, Honda en Lexus (onderdeel van Toyota) leveren al enkele jaren hybride voertuigen. Steeds meer automerken (Audi, Porsche, Citroën, GM, DaimlerChrysler, Volvo, Volkswagen) komen dit jaar of volgend jaar met hybridevarianten op de markt. Toyota verwacht voor 2007 opnieuw een groei van 40% in de afzet van hybrides. Toyota werkt ook al aan een opvolger van het hybridemodel Prius; dit zal lichter zijn, betere accu's hebben en een aansluiting voor het stroomnet.

Deze nieuwe generatie met een aansluiting voor het stroomnet wordt de 'plug-in hybride' genoemd. Door een stekker aan het stroomnet te koppelen kunnen de accu's opgeladen worden. Voor kleine ritten (40-50 km) is de plaatselijke uitstoot daarmee nul. Ook President Bush kondigde al eerder aan dat de VS

grote bedragen gaan investeren in de ontwikkeling van de plug-in hybride.<sup>28</sup> In Nederland bestaan er al initiatieven waarbij hybriderijders hun auto om kunnen laten bouwen tot een plug-in hybride.

Verder krijgen de volledig elektrische voertuigen weer meer aandacht. Zo heeft het Amerikaanse bedrijf Tesla, met financiële hulp van investeerders uit Silicon Valley (onder andere een van de oprichters van Google), in samenwerking met Lotus een elektrische sportwagen ontwikkeld, en meerdere modellen staan in de planning.

### 2.3 Conclusie

Op het gebied van duurzame transportbrandstoffen zijn er activiteiten in de productie en toepassing van biobrandstoffen en waterstof.

Binnen de biobrandstoffen is er een onderscheid te maken tussen de huidige generatie met een beperkte duurzaamheid en de tweede generatie met een hogere duurzaamheid. Veel nieuwe initiatieven ontstaan bij de productie van de eerstegeneratie-biobrandstoffen bio-ethanol en biodiesel. Toepassingen zijn vooral gericht op de verplichte bijmenging aan fossiele brandstoffen.

Op het gebied van waterstof zijn er in Nederland een aantal grote spelers actief in de productie van waterstof uit aardgas voor industriële toepassingen. Nieuwe, kleinere spelers richten zich op toepassingen in de transportsector. In verschillende demonstraties heeft de techniek zich reeds bewezen.

De wegtransportsector heeft zich in de afgelopen honderd jaar ontwikkeld tot een complex systeem rond de grondstof olie. Binnen het systeem is onderscheid te maken tussen drie subsystemen: de automotive-industrie, de olie-industrie en de infrastructuur.

Nederland is binnen de automotive-industrie vooral actief als toeleverancier voor buitenlandse automerken en in een aantal nichemarkten.

Binnen de olie-industrie zijn een aantal grote spelers actief met raffinaderijen in de Rijnmond.

Nederland kent een sterke infrastructuur rond de toelevering van fossiele transportbrandstoffen en de toelevering van aardgas voor stationaire toepassingen.

## 3 Een toekomstbeeld

**In het vooronderzoek *Op weg naar een duurzame transportbrandstof*<sup>29</sup> is een groep experts gevraagd om hun toekomstbeeld te geven voor biobrandstoffen en waterstof. In dit hoofdstuk worden de resultaten van dat onderzoek gepresenteerd.**

Om tot een gezamenlijk toekomstbeeld te komen is in het afstudeeronderzoek gebruikgemaakt van een Delphi-studie. De Delphi-studie wordt gebruikt als een procedure voor het formuleren van de meest betrouwbare overeenstemmende mening van een groep experts; dit wordt gedaan door een serie vragen samen te stellen gecombineerd met gecontroleerde feedback.<sup>30</sup>

De Delphi-studie werd ingezet om met een panel van experts een gezamenlijke visie te creëren, gebaseerd op verschillende duurzamebrandstofketens.

Het doel hiervan was om bij de verschillende groepen uit de brandstofketen een gezamenlijke visie te creëren over de gewenste invulling van de schakels. Dit zal uiteindelijk leiden tot een toekomstbeeld voor de biobrandstoffen en voor waterstof.

Een brandstofketen geeft een overzicht van de schakels tussen de productie van grondstoffen en het eindgebruik van de brandstof. De brandstofketens waarop de vragenlijsten zijn gebaseerd, zijn terug te vinden in bijlage 1.

In deze publicatie worden alleen de resultaten van de Delphi-studie gepresenteerd. Meer informatie over deze methode en de resultaten is terug te vinden in het vooronderzoek.

### 3.1 Scenario biobrandstoffen

Biobrandstoffen gaan een belangrijke rol spelen in de transitie naar een duurzame transportbrandstof. In Figuur 4 is een overzicht gegeven van de verwachte ontwikkelingen rond biobrandstoffen voor 2007, 2010 en 2020, zoals naar voren gekomen in de Delphi-studie.

	Primaire Energiebron	Omzetting naar brandstof	Transport	Opslag en distributie	Opslag en Aandrijving	Soort voertuig
2007 2% aandeel biobrandstoffen Totale transport-brandstoffen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zetmeel-houdende gewassen</li> <li>Suiker houdende gewassen</li> <li>Plantaardig materiaal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fermentatie</li> <li>Persen &amp; verestering</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tankwagen</li> <li>Vrachtschip</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tankstations met ondergrondse opslagtank</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kunststof of metalen tank</li> <li>Ottomotor</li> <li>Dieselmotor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Omgebouwde voertuigen</li> <li>Personen-auto's &amp; bussen</li> </ul>
2010 5,75% aandeel biobrandstoffen Totale transport-brandstoffen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zetmeel-houdende gewassen</li> <li>Suiker houdende gewassen</li> <li>Plantaardig materiaal</li> <li>Biomassa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fermentatie</li> <li>Persen &amp; verestering</li> <li>Anaërobe vergisting</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tankwagen</li> <li>Vrachtschip</li> <li>Aardgasleiding</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tankstations met ondergrondse opslagtank</li> <li>SNG rechtstreeks uit net of compressie-tank</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kunststof of metalen tank</li> <li>Ottomotor</li> <li>Dieselmotor</li> <li>SNG: Ottomotor met aanpassing aan tank en insputing</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Omgebouwde voertuigen als:</li> <li>Personen-auto's</li> <li>Licht vrachtverkeer</li> <li>Bussen</li> </ul>
2020 15% aandeel biobrandstoffen Totale transport-brandstoffen	<ul style="list-style-type: none"> <li>1/3 import</li> <li>Naast gewassen:</li> <li>Toename van houtige biomassa voor bio-ethanol</li> <li>Toename biomassa voor vergassing</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hydrolyse proces en fermentatie</li> <li>Vergassing en katalytisch kraakproces</li> <li>Vergassing naar synthese-gas (SNG)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tankwagen</li> <li>Vrachtschip</li> <li>Aardgasleiding</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tankstations met ondergrondse opslagtank</li> <li>SNG rechtstreeks uit net of compressie-tank</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kunststof of metalen tank</li> <li>Ottomotor</li> <li>Dieselmotor</li> <li>SNG: Ottomotor met aanpassing aan tank en insputing</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>25% Geschikt voor hoge percentages</li> <li>Personen-auto's</li> <li>Licht &amp; zwaar vrachtverkeer</li> <li>Bussen</li> </ul>

Figuur 4: Toekomstbeeld biobrandstoffen 2007, 2010, 2020. Een toelichting op deze technologieën is terug te vinden in het vooronderzoek. (Vaessen, 2007).

In het begin wordt vooral gebruikgemaakt van de eerste generatie bio-ethanol en biodiesel. Pas rond 2020 krijgen de tweedegeneratie-biobrandstoffen een commerciële toepassing. Een belangrijke reden hiervoor is dat de processen die nodig zijn voor de productie van de tweede generatie nog in ontwikkeling zijn. Omdat biobrandstoffen qua eigenschappen veel lijken op fossiele brandstoffen zijn er nauwelijks aanpassingen nodig aan het transport, de opslag en de distributie. Voertuigen op SNG (Synthetic Natural Gas) blijven beperkt tot een nichemarkt. Voor het transport kan gebruik worden gemaakt van het aardgasnet. Voor de opslag en distributie zijn echter andere systemen vereist. Voertuigen op brandstoffen met hoge bijmengpercentages, pure bio-ethanol of pure biodiesel krijgen een belangrijke rol in de transitie. Steeds meer fabrikanten zullen motoren ontwikkelen of aanpassen voor brandstoffen met hoge bijmengpercentages biobrandstof. Voor het rijden op SNG zijn aanpassingen nodig aan de opslagtank en het injectiesysteem. Wat de rol van biobrandstoffen

naast waterstof wordt, is nog onzeker; de verwachting is wel dat bio-ethanol en biodiesel in ieder geval tot na 2020 een belangrijke rol zullen spelen, vooral voor zwaar vrachtvervoer.

### 3.2 Scenario waterstof

Naast de biobrandstoffen zal ook waterstof een belangrijke rol spelen als duurzame transportbrandstof. Door een aantal technologische barrières zal de implementatie van waterstof echter nog een aantal jaren op zich laten wachten. Figuur 5 geeft een overzicht van de verwachte ontwikkelingen betreffende waterstof voor 2015, 2030 en 2050, zoals naar voren gekomen in de Delphi-studie.

	Primaire Energiebron	Omzetting naar brandstof	Transport	Opslag en distributie	Opslag en Aandrijving	Soort voertuig
2015 0-10% aandeel Waterstof Totale transport-brandstoffen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aardgas</li> <li>Steenkool</li> <li>Klein aandeel met CCS</li> <li>Wind</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Decentraal reforming aardgas</li> <li>Decentrale elektrolyse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tankwag- en vloeibaar waterstof</li> <li>Tankwag- en gasvormig waterstof</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Opslag-tanks voor vloeibaar waterstof</li> <li>Opslag-tanks voor gasvormig waterstof</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hoge druk tank</li> <li>Cyrogene tank</li> <li>Klein aandeel hydride</li> <li>Verschillende aandrijvingen voor PEM-FC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Personen-auto's</li> <li>Bussen</li> </ul>
2030 10-30% aandeel Waterstof Totale transport-brandstoffen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aardgas met CCS</li> <li>Steenkool met CCS</li> <li>Toename wind, biomassa en kernenergie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Centrale reforming aardgas en deel biogas</li> <li>Decentraal elektrolyse</li> <li>Klein deel vergassing</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tankwag- en vloeibaar waterstof</li> <li>Tankwag- en gasvormig waterstof</li> <li>Ontstaan pijpleiding-netwerk</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Opslag-tanks voor vloeibaar waterstof</li> <li>Opslag-tanks voor gasvormig waterstof</li> <li>Pijpleiding</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hoge druk tank</li> <li>Cyrogene tank</li> <li>Toename aandeel hydride</li> <li>PEM-FC</li> <li>Afnemend aandeel ICEV</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Personen-auto's</li> <li>Bussen</li> <li>Lichte opkomst licht vrachtvervoer en motoren</li> </ul>
2050 30-55% aandeel Waterstof Totale transport-brandstoffen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Afname aardgas en steenkool met CCS</li> <li>Verdere toename wind, biomassa en kern-energie</li> <li>Zonne-energie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Centrale reforming aard- en biogas blijft belangrijk</li> <li>Decentraal elektrolyse</li> <li>Centrale vergassing</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verdere uitbreiding pijpleiding-netwerk</li> <li>Tankwag- en vloeibaar waterstof</li> <li>Tankwag- en gasvormig waterstof</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Veel gebieden pijpleiding</li> <li>Opslag-tanks voor vloeibaar waterstof</li> <li>Opslag-tanks voor gasvormig waterstof</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vooral hoge druk tanks en hydrides</li> <li>Vooral PEM-FC</li> <li>ICEV beperkt tot niches</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Personen-auto's</li> <li>Bussen</li> <li>Vrachtvervoer en motoren</li> <li>Lichte opkomst vliegtuigen en schepen</li> </ul>

Figuur 5: Toekomstbeeld waterstof 2015, 2030, 2050. Een toelichting op deze technologieën is terug te vinden in het vooronderzoek. (Vaessen, 2007).



Waterstof zal naar verwachting rond 2015 commercieel inzetbaar zijn en een belangrijke rol krijgen als duurzame transportbrandstof; in het begin vooral voor bussen en personenauto's, later ook voor andere voertuigen.

De productie van waterstof vindt in ieder geval tot 2030 voor het grootste gedeelte plaats door middel van reforming van aardgas, in het begin zonder en later met CO<sub>2</sub>-opvang. Duurzame-energiebronnen en elektrolyse nemen pas rond deze periode langzaam toe.

In 2050 is er een verdere terugval van centrale energieopwekking met aardgas en steenkool met CO<sub>2</sub>-opvang en van reforming. Het aandeel duurzame-energiebronnen neemt verder toe. Naar verwachting zullen vooral centrale reforming en directe vergassing van biomassa en steenkool tot 2050 de belangrijkste omzettingsprocessen vormen.

Voor het transport ontstaat er tussen 2030 en 2050 in Nederland een pijpleidinginfrastructuur. Tot die tijd wordt waterstof vooral getransporteerd met vrachtwagens: voornamelijk in gasvormige toestand, de eerste jaren ook in vloeibare toestand. Locaties buiten het bereik van de pijpleiding maken gebruik van decentrale elektrolyse of van aanvoer van waterstof met vrachtauto's. De opslag van waterstof wordt door de uitbreiding van het pijpleidingnetwerk minder belangrijk. Tot die tijd, en voor gebieden buiten dat netwerk, wordt gebruikgemaakt van opslag in hogedruktanks en cryogene tanks. De opslag in het voertuig zal in het begin plaatsvinden in hogedruktanks en cryogene tanks; daarnaast ontstaat een beperkte toepassing van hydride opslag. Vloeibare opslag neemt na 2030 af, terwijl opslag in hydrides dan toeneemt.

Voor de aandrijving van waterstofvoertuigen wordt vooral gebruikgemaakt van de brandstofcel (PEM). Vanaf 2030 zal deze techniek als dominante technologie gelden. Het aantal waterstofverbrandingsmotoren zal in deze periode verder afnemen; na 2050 blijft de waterstofverbrandingsmotor alleen nog in gebruik bij een beperkt aantal niches.

### 3.3 Conclusie

De resultaten van de Delphi-studie geven aan dat er geen eenduidige conclusie kan worden getrokken. Wel komen er een aantal belangrijke trends naar voren. Bijlage 2 is een overzicht van de resultaten van de Delphi-studie, in vergelijking met die van andere studies: Hyways (2006) en Werkgroep Waterstof van het Platform Nieuw Gas (2006).

De belangrijkste overeenkomsten en verschillen van de Delphi-studie met deze twee studies zijn:

#### Overeenkomsten

Alle drie de studies voorzien een belangrijk aandeel van aardgas in de productie van waterstof in de beginfase. In een later stadium zal waterstof een steeds belangrijker deel gaan uitmaken van de energiemix en als transportbrandstof. Verder bestaat er een overeenkomst betreffende de pijpleidinginfrastructuur in Nederland: deze zal zich vanaf 2030 langzaam uitbreiden vanaf het Rijnmondgebied en zal in 2050 een groot deel van Nederland van waterstof kunnen voorzien. Overige gebieden maken gebruik van decentrale reforming of elektrolyse.

#### Verschillen

Wat betreft de verwachte percentages voertuigen op waterstof rond 2015, 2030 en 2050 lopen de visies enigszins uiteen. Opvallend is dat Hyways en de Werkgroep Waterstof beide vrij pessimistisch zijn voor de periode rond 2015. Voor de periode rond 2030 liggen de percentages redelijk op één lijn en voor 2050 komen Hyways en de Werkgroep Waterstof op hogere maximale waarden uit dan de Delphi-studie. Omdat de spreiding bij alle studies vrij breed is kunnen hier echter geen conclusies aan worden verbonden.

Een tweede belangrijk verschil is dat zowel de studie van Hyways als die van de Werkgroep Waterstof niet dieper ingaat op de laatste schakel; beide voorzien wel een groot aandeel voertuigen op waterstof maar gaan niet verder in op de specificaties van deze voertuigen. De Delphi-studie geeft wél invulling aan de manier van waterstofopslag in een voertuig, de manier van aandrijving op waterstof en de soort voertuigen die op waterstof zullen kunnen rijden.

## 4 Het transitieproces

**Met het toekomstbeeld uit het vorige hoofdstuk is nu bekend waar de Nederlandse transportsector heen wil op het gebied van duurzame transportbrandstoffen. Het is echter de vraag of en, zo ja, hoe Nederland dit toekomstbeeld zal kunnen bereiken. In dit hoofdstuk wordt op basis van de kennis van de huidige situatie en van het toekomstbeeld een volgende analyse uitgevoerd om een uitspraak te kunnen doen over het benodigde transitieproces. Om hier een uitspraak over te kunnen doen wordt de transitietheorie ingezet. Voor een verdere analyse van het toekomstbeeld worden drie analytische instrumenten gebruikt: het multi-level-model, het multi-fase-model en het multi-verandering-model.**

### 4.1 Transitietheorie

De oorsprong van het concept 'transitie' ligt in de biologie en de populatiedynamica. Ook binnen de economie, de innovatietheorie en complexiteitsleer en de systeemleer is 'transitie' al een lange tijd een veelgebruikt begrip. In 2001 bij de presentatie van het Vierde Nationaal Milieubeleidsplan (NMP4) heeft het concept 'transitie' echter een andere betekenis gekregen. In dit plan worden hardnekkige (toekomstige) maatschappelijke problemen gepresenteerd die met het bestaande beleid niet kunnen worden opgelost. Voor het oplossen van deze grote milieuproblemen wordt gewezen op het belang van systeeminnovaties. Dit is een langlopend maatschappelijk transformatieproces met technologische, economische, sociaal-culturele en institutionele veranderingen. Het begrip 'transitie' wordt hier gebruikt om deze brede maatschappelijke veranderingen in samenhang te beschrijven en te verklaren.

Rotmans hanteert voor het begrip 'transitie' de volgende definitie:

Een transitie is een structurele maatschappelijke verandering die het resultaat is van op elkaar inwerkende en elkaar versterkende ontwikkelingen op het gebied van economie, cultuur, technologie, instituties en natuur en milieu.<sup>31</sup>

Een transitie is daarmee een complexe verandering die betrekking heeft op veel verschillende partijen, verspreid over een lange termijn. Rotmans spreekt van een periode van tenminste één generatie (25-50 jaar).

Om een transitie te kunnen sturen zijn er de laatste jaren onder de noemer transitie management verschillende analytische instrumenten ontwikkeld. Er bestaat echter geen generiek recept voor het managen van transities.<sup>32</sup> Toch zijn er instrumenten te benoemen die een grote invloed hebben op het verloop van een transitieproces. Met name Rotmans heeft (in samenwerking met anderen) veel onderzoek gedaan naar deze instrumenten. Ook Geels heeft hier verschillende onderzoeken aan gewijd, vanuit een historisch perspectief.<sup>33</sup> Bij het analyseren van de transitiedynamiek worden veelal de volgende drie analytische instrumenten toegepast:<sup>34</sup>

- **Multi-level-model**

Binnen het multi-level-perspectief zijn drie niveaus te onderscheiden: het microniveau, ook wel 'technologische niches' genoemd, het mesoniveau of 'technologisch regime' en het macroniveau of 'technologisch landschap'.<sup>35</sup> Nieuwe technologische ontwikkelingen ontstaan op microniveau, binnen niches. In een niche kunnen nieuwe technologieën zich verder ontwikkelen zonder meteen te moeten concurreren met andere (bestaande) technologieën. Een succesvolle niche wordt opgenomen in een regime. Een regime bevindt zich op mesoniveau; hier worden regels vastgelegd waarmee menselijke activiteiten worden gestructureerd en gecoördineerd. De regimes worden overkoepeld door het landschap, het macroniveau. Veranderingen op macro- of landschapniveau vinden niet zomaar plaats: het zijn veranderingen op zeer grote schaal die betrekking hebben op de maatschappij.

Concluderend geldt voor een transitie het volgende: structurele omwentelingen kunnen slechts gerealiseerd worden als trends en ontwikkelingen op de drie verschillende niveaus – micro, meso, macro – bij elkaar aanhaken en elkaar versterken in een en dezelfde richting, zodat een spiraalwerking ontstaat.<sup>36</sup>

- **Multi-fase-model**

Een transitie kan alleen in bepaalde fasen van ontwikkeling worden bijgestuurd.<sup>37</sup> Inzicht in de verschillende fasen tijdens de transitie is daarom noodzakelijk. Een transitie bestaat niet uit één veranderingsfase die plaats moet vinden, maar uit een tijdspad waarin de innovatie verschillende transitiefasen doorloopt. Bij een succesvolle transitie leidt dit tot een S-curve. De vier achtereenvolgende fasen zijn (gebaseerd op Rotmans): de voorontwikkelingsfase, de take-off-fase, de versnellingsfase en de stabilisatiefase.<sup>38</sup>

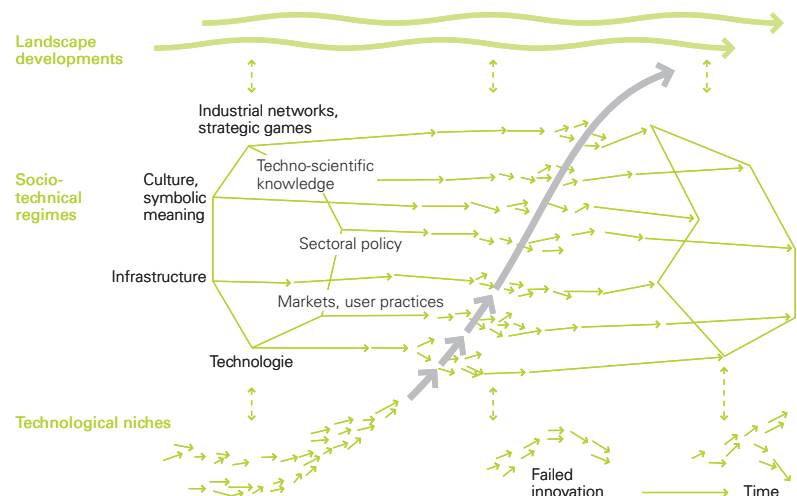
In plaats van een optimale versnelling en stabilisatie van de technologie kan zich ook een niet-optimale ontwikkeling voordoen. In dat geval kan er een 'lock-in', een 'backlash' of een 'system breakdown' ontstaan. Een lock-in vindt plaats wanneer organisaties een te grote afhankelijkheid hebben, gecreëerd door in het

verleden gemaakte keuzes; verdere optimalisatie van de technologie is dan zeer beperkt. Bij een backlash wordt er te vroeg of ondoordacht voor een nieuw pad gekozen; hierdoor worden keuzes te vroeg gemaakt, waardoor de noodzakelijke diversiteit wordt gereduceerd. Een system breakdown is een omgekeerde transitie waarbij het innovatiesysteem volledig in elkaar stort en uitsterft.<sup>39</sup>

- **Multi-verandering-model**

Bij multi-verandering gaat het om opbouw en afbraak van nieuwe en oude systemen. Binnen een transitie zijn, zoals hiervoor beschreven, ontwikkelingen noodzakelijk op drie verschillende niveaus. Vanuit verschillende niches kan een technologie doorgroeien tot een regime. Al gauw leidt dit tot de opbouw van een nieuw dominant regime. Om dit te bereiken is afbraak van het bestaande regime en opbouw van het nieuwe regime noodzakelijk.<sup>40</sup>

Uit de transitietheorie blijkt dat de juiste invulling van en een goed samenspel tussen de drie instrumenten een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan het succes van een transitie. Een succesvol transitieproces is daarmee een samenspel tussen de drie instrumenten multi-level-model, multi-fase-model en multi-verandering-model. Wanneer de drie instrumenten in een optimaal samenspel functioneren, geeft dit de transitie een beweging zoals weergegeven in Figuur 6. In de figuur zijn de drie niveaus uit het multi-level-model terug te vinden, evenals de S-curve van het multi-fase-model én de afbraak van een oud en de opbouw van een nieuw regime uit het multi-verandering-model.



Figuur 6: Optimaal samenspel tussen de drie analytische instrumenten: multi-level-model, het multi-fase-model en multi-verandering-model. (Geels 2002, p. 1263).



Het is nu duidelijk dat er een samenspel moet zijn tussen de drie analytische instrumenten. Toch blijft de transitietheorie vaag over hoe deze drie instrumenten nu specifiek hun bijdrage kunnen leveren aan de transitie naar een duurzame transportbrandstof. Om hier een antwoord op te kunnen geven worden in de volgende paragraaf de resultaten ingezet van het toekomstbeeld uit hoofdstuk 3. Deze geven namelijk inzicht in waar het proces naartoe kan gaan. Door nu de drie analytische instrumenten van de transitietheorie voor dit proces te analyseren kan een uitspraak worden gedaan over welke maatregelen bij kunnen dragen aan een succesvolle transitie naar een duurzame transportbrandstof.

#### 4.2 Toepassing op duurzame transportbrandstoffen

Bij een succesvolle transitie bestaat er een goed samenspel tussen de drie instrumenten multi-level-model, multi-fase-model en multi-verandering-model. In deze paragraaf wordt aan de hand van de informatie over de huidige ontwikkelingen rond biobrandstoffen en waterstof en het toekomstbeeld een analyse uitgevoerd naar de invulling van en het samenspel tussen de drie instrumenten.

##### - Multi-level-model

Biobrandstoffen vinden over het algemeen een betere aansluiting op het bestaande regime dan waterstof. De reden hiervoor is dat een transitie naar biobrandstoffen gepaard gaat met systeemverbeteringen, terwijl voor waterstof systeeminnovaties nodig zijn. Dit zorgt ervoor dat biobrandstoffen sneller een toepassing vinden in de markt doordat deze gebruik kunnen maken van bestaande ondersteunende technologieën. Waterstof is daarentegen afhankelijk van verschillende technologische innovaties voordat het op grote schaal kan worden toegepast. Deze innovaties zijn vooral gericht op de productie, het transport, de opslag en de brandstofcel.

Voor beide duurzame brandstoffen bestaat er een druk vanuit het landschap op het regime die wordt veroorzaakt door de klimaatverandering. Door nieuwe onderzoeken en de toenemende aandacht van de media lijkt deze druk steeds verder toe te nemen. Doordat biobrandstoffen een aansluiting hebben binnen het bestaande regime wordt deze druk omgezet in activiteiten waardoor er op nicheniveau een verplichte bijmenging komt. Bij waterstof wordt deze druk echter niet binnen het regime erkend omdat deze zich teveel richt op fossiele brandstoffen: door het ontbreken van aansluiting wordt deze druk onvoldoende omgezet in activiteiten op nicheniveau.

Voor biobrandstoffen geldt dat de drie niveaus binnen het multi-level-model succesvol op elkaar aansluiten. Dit heeft tot nu toe geleid tot veel initiatieven in de productie en toepassing van biobrandstoffen. Om eenzelfde effect voor waterstof te bereiken is het daarom belangrijk dat er snel een regime rond waterstof gevormd wordt. Bewegingen op de drie verschillende niveaus zullen dan beter op elkaar aansluiten.

#### - Multi-fase-model

Uit de huidige situatie en het toekomstbeeld blijkt dat de eerstegeneratie-biobrandstoffen zich op dit moment in de take-off-fase bevinden. De tweede generatie bevindt zich nog in de voorontwikkelingsfase. Met het verplichten van biobrandstoffen bestaat het gevaar voor een lock-in van de eerste generatie biobrandstoffen. Een vroegtijdige keuze voor een technologische optie kan namelijk leiden tot de lock-in van een mogelijk suboptimale technologie.<sup>41</sup> Omdat nu op korte termijn behoorlijke hoeveelheden bio-ethanol en biodiesel nodig zijn voor de bijmenging zijn er veel initiatieven voor nieuwe productie-units. Deze initiatieven gaan gepaard met grote investeringen die over een lange termijn terugverdiend moeten worden. Deze generatie wordt echter in de media al als suboptimale keuze beschouwd, dit als gevolg van de aanspraak op belangrijke landbouwgrond en de beperkte CO<sub>2</sub>-reductie. Onderzoek richt zich vooral op de tweede generatie. Van een lock-in van de eerste generatie biobrandstoffen lijkt daarom geen sprake. Van een backlash en een system breakdown lijkt eveneens geen sprake; hiervoor vinden de biobrandstoffen te veel aansluiting bij de bestaande technologieën gericht op fossiele brandstoffen. Doordat waterstof volgens de experts gefaseerd ingevoerd zal worden naast de tweede generatie biobrandstoffen, lijkt er geen gevaar voor een system breakdown waarin het volledige systeem ineens overschakelt van de ene naar de andere brandstof. Waterstof bevindt zich op dit moment nog in de voorontwikkelingsfase. Omdat voor waterstof veel nieuwe technologieën ontwikkeld moeten worden, die zich verspreiden over de hele brandstofketen, neemt deze fase hier veel meer tijd in beslag dan bij de biobrandstoffen. Naar verwachting van de experts uit de Delphi-studie ligt de take-off-fase van waterstof tussen 2010 en 2020. In deze periode zal waterstof commerciële toepassingen vinden in de transportsector. Rond 2030 zal waterstof volgens de experts toepassing vinden in andere transportmiddelen, waardoor de technologie in een versnelling komt. Wat de productie van waterstof betreft, zijn de experts het er grotendeels over eens dat in de eerste tientallen jaren vooral aardgas als primaire energiebron zal worden gebruikt. Hierbij is geen sprake van duurzame productie: de winning van aardgas is eindig en bij de omzetting komt CO<sub>2</sub> vrij. Echte duurzame oplossingen moeten daarom extra gestimuleerd worden, zodat er geen lock-in ontstaat voor één

suboptimale productiemethode. Een backlash kan al heel snel optreden bij een lichte tegenslag; extra aandacht voor veilige systemen is daarom heel belangrijk. Een system breakdown kan ontstaan bij de doorbraak van een nieuwe chemische of technologische oplossing voor energieopslag.

#### - Multi-verandering-model

Doordat biobrandstoffen veel aansluiting hebben op het bestaande regime is er minder sprake van afbraak en opbouw. Voor waterstof moet echter een compleet nieuw regime opgebouwd worden. Het regime dat rond fossiele brandstoffen is ontstaan, moet voor een groot deel worden afgebroken en opnieuw worden opgebouwd.

### 4.3 Conclusie

In dit hoofdstuk is een beter inzicht verkregen in de rol van de drie analytische instrumenten – het multi-level-model, het multi-fase-model en het multi-verandering-model – in het transitieproces naar een duurzame transportbrandstof. Voor beide soorten duurzame transportbrandstoffen wordt hier nog een kort overzicht gegeven.

#### Biobrandstoffen

Bewegingen binnen de drie verschillende niveaus van het multi-level-model zijn belangrijke factoren in het transitieproces:

- Op microniveau ontstaan er verschillende initiatieven voor de productie en toepassing van biobrandstoffen.
- Doordat biobrandstoffen qua eigenschappen dicht bij fossiele brandstoffen staan, kan op mesoniveau bij veel dimensies aangesloten worden op het bestaande regime.
- Op macroniveau is een belangrijke beweging te zien waarin de maatschappij steeds meer gaat beseffen dat we duurzamer met energie om moeten gaan en dat klimaatverandering een serieuze dreiging vormt.

De beweging op macroniveau zorgt voor een druk op het bestaande regime rond fossiele brandstoffen. Dit heeft geleid tot een verplicht bijmengpercentage van biobrandstoffen. Biobrandstoffen zijn door deze verplichting van de voorontwikkelingsfase doorgroeid naar de take-off-fase. Hier bestaat het gevaar voor een lock-in, een backlash of een system breakdown. Omdat nu al ingezet wordt op de ontwikkeling van de tweede generatie biobrandstoffen lijkt hier echter geen sprake van te zijn.

## Waterstof

Ook bij waterstof zijn bewegingen en aansluitingen binnen het multi-level- model van groot belang voor de transitie:

- Op microniveau zijn er al verschillende initiatieven waar te nemen. Deze beperken zich echter tot enkele kleinschalige demonstraties. De belangrijkste oorzaak hiervoor is dat er geen aansluiting is op het bestaande regime op mesoniveau.
- In dit geval is er sprake van multi-verandering. Het oude regime moet afgebroken worden om plaats te maken voor de opbouw van een nieuw regime. Pas dan kunnen bewegingen op landschapniveau (toenemende behoefte aan duurzame energie in verband met klimaatverandering) invloed uitoefenen op partijen uit het regime die ruimte vrij kunnen maken voor nieuwe nichetoeepassingen. Hierdoor kan de technologische ontwikkeling in een versnelling komen, waardoor de transitie zich snel kan doorontwikkelen.
- De verwachting is dat rond 2015 de take-off-fase bereikt wordt. Een backlash kan snel ontstaan wanneer niet goed met de veiligheid van waterstoftoepassingen wordt omgegaan. Een system breakdown kan ontstaan wanneer er een beter alternatief komt.

## 5 Kansen en bedreigingen

**De vorige drie hoofdstukken hebben inzicht gegeven in de richting die Nederland in kan slaan op het gebied van biobrandstoffen en waterstof. Een belangrijke voorwaarde is een goed samenspel tussen de drie analytische instrumenten uit de transitietheorie. Dit proces vindt echter niet vanzelf plaats; er moeten maatregelen worden genomen om het transitieproces in een bepaalde richting te sturen.**

### 5.1 Benodigde maatregelen

In de transitie is een duidelijk verschil waar te nemen tussen biobrandstoffen en waterstof.

Veel eigenschappen van biobrandstoffen zijn vergelijkbaar met die van fossiele brandstoffen. Een groot deel van het bestaande regime rond fossiele brandstoffen hoeft daarom niet afgebroken te worden; er is dus minder sprake van multi-verandering. Deze aansluiting zorgt ervoor dat bewegingen op macroniveau gemakkelijker druk kunnen uitoefenen op het regime, die vervolgens de weg vrij kan maken voor nieuwe nichemarkten.

Kennis van de huidige positie en het toekomstbeeld leert dat er vooral vraag is naar de tweede generatie biobrandstoffen en hoge bijmengpercentages of pure biobrandstoffen; hierbij gaat het vooral om bio-ethanol en biodiesel. Op dit gebied zijn daarom een aantal systeemverbeteringen nodig. Maatregelen vanuit het regime kunnen onzekerheden verminderen en belangrijke kansen creëren voor de transportsector.

Deze maatregelen richten zich op:

- 1 financiële ondersteuning van onderzoek naar de productie van de tweede generatie biobrandstoffen;
- 2 het opstellen van richtlijnen voor minimale duurzaamheidseisen;
- 3 het maken van afspraken (met landen) over de import: kwaliteit en prijs;
- 4 het opzetten van een nichemarkt voor hoge bijmengpercentages en pure bio-ethanol en biodiesel.

In tegenstelling tot de biobrandstoffen vindt waterstof op veel gebieden geen aansluiting op een bestaand regime: door een 'verstoring' in het multi-level-model kunnen bewegingen op microniveau en macroniveau geen aansluiting

vinden. Voor waterstof moet daarom een nieuw regime worden opgebouwd of aansluiting worden gezocht bij een bestaand regime. Hierbij kan worden gebruikgemaakt van een aantal dimensies uit de industriële toepassing van waterstof in de Rijnmond. Nederland heeft hiermee namelijk de kennis, ervaring en vaardigheden in huis voor de productie van waterstof door middel van reforming en voor waterstoftransport en waterstofopslag.

Rond 2015 zal waterstof toepassing vinden als transportbrandstof in verschillende auto's en bussen. In 2050 moet dit aandeel zelfs tot 40% zijn gestegen. Dit betekent dat 40% van de voertuigen geschikt moet zijn voor het rijden op waterstof en 40% van de toekomstige afzet van fossiele brandstoffen moet bestaan uit waterstof. Deze transitie zal een enorme impact hebben op de energiemarkt en de infrastructuur, en gaat gepaard met een aantal grote systeeminnovaties. Met de juiste maatregelen kan dit belangrijke kansen opleveren voor de transportsector.

Deze maatregelen zijn:

- 1 aansluiting zoeken op bestaande technologieën en nieuwe technologieën ontwikkelen;
- 2 het opbouwen van een nieuw regime rond waterstof, waarbij veiligheid een belangrijke rol krijgt;
- 3 omschakelen van kortetermijndenken naar langetermijnvisies en langetermijndenken.

## 5.2 Kansen en bedreigingen

Deze maatregelen kunnen belangrijke kansen genereren voor de Nederlandse transportsector. Daarnaast zijn er echter ook bedreigingen die zonder voldoende tegeninitiatief de overhand kunnen krijgen. De kansen en bedreigingen, afgeleid van de huidige positie en het toekomstbeeld, zijn als volgt:

### Belangrijke kansen

- Ombouw van bestaande voertuigen naar voertuigen geschikt voor brandstoffen met hoge bijmengpercentages of pure biobrandstoffen van bio-ethanol en bio-diesel;
- procesontwikkeling voor de productie van tweedegeneratie-biobrandstoffen;
- technologie-ontwikkeling voor de productie van waterstof op basis van reforming, voor transport door middel van pijpleidingen en voor opslag van waterstof, met de kennis en ervaringen uit de industriële waterstofsector in de Rijnmond;

- toelevering van onderdelen aan de automotive-industrie voor waterstof-toepassingen, zoals de brandstofcel.

### Bedreigingen

- Concurrentie van sterke automotive-industrie uit het buitenland;
- niet-doorgroeien van de tweede generatie biobrandstoffen door hoge investeringskosten en de overlapping met waterstof.

Een van de belangrijkste middelen die Nederland kan inzetten om de hierboven genoemde kansen te benutten en bedreigingen te minimaliseren, is kennisontwikkeling. Door tijdig in te spelen op nieuwe ontwikkelingen en de daarvoor benodigde kennis te ontwikkelen, kan Nederland vooroplopen in de transitie naar een duurzame transportbrandstof. De vraag is alleen: Wil Nederland vooroplopen in deze transitie?

## 5.3 Conclusie

De belangrijkste conclusie die uit de voorgaande hoofdstukken getrokken kan worden is: Als Nederland voorop wil lopen in de transitie naar een duurzame transportbrandstof, dan is op korte termijn actie nodig.

Verschillende signalen wijzen erop dat in ieder geval Europa, maar ook Nederland, een belangrijke leidende positie voor zich ziet weggelegd in de transitie naar een duurzame transportbrandstof.

Zo laat een tweetal Europese studies in een roadmap zien<sup>42</sup> dat Europa een leidende positie in de globale technologische ontwikkeling en in de toepassing van duurzame transportbrandstoffen moet innemen. Door middel van R&D en demonstraties moeten de technologieën en de commerciële toepassing van de brandstoffen in een versnelling raken.

De resultaten uit hoofdstuk 3 laten zien dat de experts uit de transportsector een leidende rol voor de Nederlandse industrie voorzien. In sommige gevallen overstijgen de ambities voor Nederland zelfs die voor de EU.

Ook de Nederlandse overheid gaat uit van een hoge ambitie. Volgens het regeerakkoord van het kabinet-Balkenende IV moet in 2020 de uitstoot van broeikasgassen met 30 procent zijn teruggebracht (ten opzichte van 1990) en moet

20 procent van de energie dan 'duurzaam' zijn. Daarnaast moet tot 2020 een jaarlijkse energiebesparing van 2 procent worden gerealiseerd.

Het georganiseerde bedrijfsleven gaf onlangs zijn kijk op de klimaatverandering. De boodschap was: "Ons land mag een gidsland zijn bij de aanpak van het klimaatprobleem." Daarmee wordt aangegeven dat de aanpak van het probleem niet tot Nederland beperkt mag blijven. Nederland moet zijn voorsprong uitbuiten en de rest van de wereld laten profiteren van wat er in Nederland aan innovaties aanwezig is en nog wordt bedacht. De voorzitter van VNO-NCW voegt hieraan toe: "We moeten dus veel nieuwe technieken ontwikkelen om energie te besparen en minder broeikasgassen te produceren. En we moeten deze technieken niet alleen voor onszelf houden, maar vooral ook in het buitenland toepassen. Het Nederlandse klimaatproject moet een exportartikel zijn."<sup>43</sup>

Het lijkt er dus op dat de eerder gestelde vraag daarmee beantwoord kan worden met: Ja, Nederland heeft de potentie om voorop te lopen in de ontwikkeling van duurzame transportbrandstoffen.

Als Nederland deze leidende rol op zich wil nemen, moeten er wel op korte termijn acties worden ondernomen. Een belangrijk actiepunt is het aanpassen van het onderwijssysteem. Er moet dan nu al geïnvesteerd worden in het onderwijs. Hoe dit er uitziet voor de ontwikkeling van biobrandstoffen en voor de ontwikkeling van waterstof wordt in de volgende twee hoofdstukken nader toegelicht en samengevat in een tweetal roadmaps voor het onderwijs.

## 6 Impact op arbeidsmarkt en onderwijs

**Dit hoofdstuk gaat in op de impact die een transitie naar een duurzame transportbrandstof heeft op de arbeidsmarkt en het onderwijs. Om inzicht te krijgen in die impact wordt gekeken naar de verwachtingen wat betreft vraag en aanbod van technisch personeel. Vervolgens wordt een aantal recente ontwikkelingen in het onderwijs in kaart gebracht die betrekking hebben op de toekomstige arbeidsvraag.**

### 6.1 Vraag en aanbod technisch personeel

Een grootschalige inzet van biobrandstoffen heeft vooral effect op de arbeidsmarkt. De ontwikkeling van biobrandstoffen zal kansen bieden voor toeleveranciers van biomassa, voor producenten van biobrandstoffen en voor de automotive-industrie. In de studie van de Biofuels Research Advisory Council (2006) wordt een groei in de Europese biobrandstoffensector verwacht van circa 424.000 arbeidsplaatsen in 2010 ten opzichte van 2000. Voor Nederland zijn nog geen cijfers bekend.

Indien Nederland overgaat tot het invoeren van een waterstofeconomie kan dat leiden tot een aanwas van circa 20.000 banen, zowel in de OEM-sector als in de toeleverende industrie, zoals berekeningen van de Nederlandse Waterstof en brandstofcellen Vereniging (NWW) laten zien.

Deze toenemende vraag naar personeel is van invloed op de arbeidsmarkt en het onderwijs in Nederland. Voor zowel biobrandstoffen als waterstof volgt hier een overzicht van de verwachte ontwikkelingen, uitgaande van het toekomstbeeld uit hoofdstuk 3. Vervolgens wordt er verder ingegaan op de vraag vanuit de markt.

### Biobrandstoffen

Een grootschalige marktintrede van biobrandstoffen heeft impact op de bestaande kennis rond onderzoek & ontwikkeling (R&D), installatie & bouw en onderhoud & reparatie. Daarnaast zal dit scenario impact hebben op een groot aantal uitvoerende beroepen. Per onderwerp volgt hier een kort overzicht van de verwachte ontwikkelingen.

### Onderzoek & ontwikkeling

- De ontwikkeling van (grootschalige) installaties voor de omzetting van gewassen en biomassa naar eerste- en tweedegeneratie-biobrandstoffen.
- Het uitvoeren van onderzoek naar de benodigde aanpassing van het motor-management, het injectiesysteem en het brandstofsysteem bij het rijden op brandstoffen met hoge bijmengpercentages biobrandstof.
- Het uitvoeren van onderzoek naar de benodigde aanpassingen aan tankwagens en ondergrondse opslagtanks voor transport en opslag van brandstoffen met hoge bijmengpercentages biobrandstof.
- Onderzoek en ontwikkeling van een installatie voor de productie van synthesesgas.
- Het uitvoeren van onderzoek naar de mogelijkheden en consequenties van het bijmengen van SNG aan het aardgasnet.
- Het ontwikkelen van tankwagens die geschikt zijn voor transport en opslag van SNG.

### Installatie & bouw

- Het bouwen van (grootschalige) installaties voor de verwerking van gewassen en biomassa tot eerste- en tweedegeneratie-biobrandstoffen.
- Het installeren van ombouw pakketten in voertuigen voor het rijden op brandstoffen met hoge bijmengpercentages biobrandstof.
- Het (om)bouwen van tankwagens en opslagtanks voor transport en opslag van brandstoffen met hoge bijmengpercentages biobrandstof.
- De bouw van anaërobe vergistinginstallaties voor de productie van SNG en de aansluiting op het aardgasnet.
- Bouw en installatie van tankstations met aansluiting op het gasleidingnetwerk, met opslagtanks voor mengsels van SNG en CNG.
- Bouw van productie-unit synthesesgas en aansluiting op aardgasnet.

### Onderhoud & reparatie

Onderhoud en reparatie aan de productie-installaties voor eerste- en tweedegeneratie-biobrandstoffen. Daarnaast onderhoud en reparatie aan opslagtanks en tankstations en aan de voertuigen die op biobrandstoffen rijden.

### Overig

Voor de productie van de eerste generatie biobrandstoffen zijn agrariërs nodig die zich richten op het verbouwen van energiegewassen. Voor de tweede generatie biobrandstoffen moet een logistiek netwerk worden opgezet om reststromen naar de productie-units te transporteren. Op logistiek niveau moeten grondstoffen naar de omzettinginstallaties worden vervoerd en vervolgens moeten de biobrandstoffen naar de tankstations of naar de olieproducenten worden gebracht.

## Waterstof

Waterstof als transportbrandstof heeft impact op vrijwel al de schakels in de brandstofketen. Een belangrijk verschil met biobrandstoffen is dat voor waterstof nog veel R&D moet plaatsvinden. Een aantal technologieën die nodig zijn voor een waterstofmarkt zijn commercieel nog niet beschikbaar. R&D is vooral nodig op het gebied van duurzame energieopwekking, transport, opslag en distributie en de aandrijving van het voertuig. Daarnaast zijn er mensen nodig die dit proces sturen. In de komende jaren zal waterstof de grootste impact hebben op onderzoek & ontwikkeling. Na deze periode is installatie & bouw en onderhoud & reparatie nodig. Ook zal waterstof impact hebben op een groot aantal uitvoerende beroepen. Per onderwerp volgt hier een kort overzicht van de verwachte ontwikkelingen.

### Onderzoek & ontwikkeling

- Het ontwikkelen van installaties voor de vergassing van biomassa.
- CO<sub>2</sub>-afvang en -opslag op middellange termijn bij aardgas- en steenkoolenergiecentrales voor de elektrolyse van waterstof.
- Verdere ontwikkeling van grootschalige elektrolyse-installaties voor de productie van waterstof.
- Het uitvoeren van onderzoek naar de opslag van waterstof in vaste vormen (hydride) en het verder ontwikkelen van opslagtanks voor de opslag van gasvormig en vloeibaar waterstof.
- Het uitvoeren van onderzoek naar de mogelijkheden van waterstoftransport door het aardgaspijpleidingnet.
- Het ontwikkelen van waterstoftankstations.
- Het verder onderzoeken en ontwikkelen van brandstofcellen met hoge vermogens die geproduceerd kunnen worden tegen lagere kosten.

### Installatie & bouw

- Afhankelijk van de energiemix die wordt gebruikt voor de productie van waterstof zijn verschillende technische beroepen nodig. Dit start met beroepen gericht op de bouw en installatie van energiecentrales en energie-opwekkers.
- De productie of ombouw van voertuigen geschikt voor het transport van vloeibaar en gasvormig waterstof.
- Aanleg van een pijpleidingnetwerk voor het transport van waterstof.
- De ombouw of nieuwbouw van waterstoftankstations.
- Bouw en installatie van reforminginstallaties voor de productie van waterstof uit aardgas.

## Onderhoud & reparatie

Afhankelijk van de soort energiecentrales en/of energie-opwekkers vindt regelmatig onderhoud en reparatie plaats. Hetzelfde geldt voor de reformers. Voor het transport van waterstof zijn tankwagens of pijpleidingen nodig. Beide zijn onderhevig aan een regelmatig onderhoudschema en reparaties. Ook de voertuigen op waterstof vragen, zeker in het begin, een hoge mate van onderhoud en reparatie.

## Overig

De implementatie van waterstof betekent een volledig nieuw ingerichte brandstofketen. Dit houdt in dat er behoefte is aan veel nieuwe uitvoerende beroepen. Zo zijn er bijvoorbeeld veel nieuwe producten nodig; dat vraagt ook om mensen voor bijvoorbeeld de productie van opslagtanks, brandstofcellen en waterstofvoertuigen. Daarnaast zijn er mensen nodig voor de productie van waterstof, het transport en de distributie.

## Vraag vanuit de markt

Bij een transitie naar duurzame transportbrandstoffen is er, zoals hierboven beschreven, vooral impact op de technische beroepen. Hierbij kan gedacht worden aan beroepen in de elektrotechniek, de installatietechniek, de metaal, de werktuigbouwkunde en de voertuigtechniek.

Voor zowel de biobrandstoffen als waterstof moet voor een grootschalige implementatie nog veel onderzoek & ontwikkeling plaatsvinden. Hiervoor zijn met name mensen uit het hoger onderwijs nodig. Daarna zal de vraag naar bouw & installatie en onderhoud & reparatie gaan toenemen. Dan zijn er ook meer mensen nodig uit het mbo.

Hoe groot het aantal benodigde technici per onderwijsniveau in de toekomst zal zijn, is nog niet te voorspellen. Het is wel mogelijk om een indicatie te geven van de kennis en competenties die deze technici in de toekomst nodig hebben. Hiertoe zijn een aantal experts geïnterviewd. Uit de interviews blijkt dat er meer aandacht moet komen voor multidisciplinaire opleidingen met vakken als mechatronica, elektrotechniek, elektrochemie, materiaalkunde en regeltechniek. Verder moeten er meer bètatechnici aangetrokken worden. En duurzame ontwikkelingen verdienen meer aandacht in het onderwijs. Over de bijdrage van het competentiegericht leren aan de transitie zijn de meningen van de experts verdeeld.

## 6.2 Ontwikkelingen in het onderwijs

Uit het voorgaande blijkt dat bij een transitie naar een duurzame transportbrandstof vooral de vraag naar technisch opgeleid personeel zal toenemen. Daarnaast worden er andere eisen gesteld aan de kennis en competenties van deze mensen. In deze paragraaf wordt daarom bekeken welke ontwikkelingen er op dit moment zijn om aan deze toekomstige eisen te voldoen. Om te beginnen is er aandacht voor het aantal bètastudenten/-leerlingen in het onderwijs en de ontwikkelingen hierin. Vervolgens wordt een beeld geschetst van de rol die duurzame ontwikkelingen nu al in het onderwijs spelen. Ten slotte wordt gekeken naar de ontwikkelingen rond multidisciplinaire opleidingen en competentiegericht onderwijs.

### 6.2.1 Bètatechnici

Het aantal bètatechnici neemt af. Binnen de sector techniek is er in vmbo, mbo en hbo een dalende lijn waar te nemen in het aantal studenten/leerlingen. Alleen in het wo is er al enkele jaren een sterke stijging in het aantal leerlingen die kiezen voor een technische opleiding. Een stijging van het aantal technici is ook terug te vinden in de technische snijvlakopleidingen en domeinoverstijgende opleidingen. Steeds meer studenten lijken voor een minder harde bètastudie te kiezen.

Volgens het ROA is de verwachte arbeidsmarktinstroom van schoolverlaters met een bètatechnische opleiding, inclusief universitaire opleidingen, kleiner dan de verwachte vraag. Het totale verschil tussen vraag en aanbod (mismatch) wordt in 2010 geschat op ruim 77.000 technici. De knelpunten worden vooral verwacht op middelbaar en hoger technisch niveau.<sup>44</sup>

Er zijn verschillende initiatieven gelanceerd om leerlingen en studenten voor een technische studie te laten kiezen. Vanuit de overheid is het Platform Bèta Techniek opgericht. Het Platform is onderdeel van het Deltaplan Bèta Techniek, een programma dat loopt tot 2010. Het Platform Bèta Techniek wil zorgen voor een goede beschikbaarheid van bètatechnici. Het algemene doel van het Platform is: structureel 15% meer leerlingen en studenten in bètatechnisch onderwijs en een betere benutting van bestaand talent in bedrijven en onderzoeksinstituten. Het Platform pakt hiermee de hele loopbaanketen aan, van basisonderwijs tot arbeidsmarkt.<sup>45</sup> Het Platform heeft verschillende programma's opgesteld voor het basisonderwijs, het voortgezet onderwijs, het mbo en het hoger onderwijs.

Tot nu toe is de overallstrategie van het Platform Bèta Techniek succesvol gebleken. In totaal was er in 2006 een stijging van het aantal technici in de instroom en in de uitstroom. Deze stijging varieert echter sterk per onderwijsniveau: in het mbo en hbo wordt de tussendoelstelling – 15% meer instroom in 2007 – niet gehaald. In de komende periode krijgen deze niveaus daarom meer aandacht. Om de uitstroom van het hbo te vergroten komt er ook meer aandacht voor meisjes en vrouwen en allochtone bèta- en techniekstudenten.<sup>46</sup>

Verder blijkt dat in het voortgezet onderwijs de doorstroming naar een bètastudie vooral ingevuld wordt door leerlingen met het profiel Natuur & Techniek.

Om de komende jaren meer jongeren voor het bètatechnisch hoger onderwijs te interesseren, is het daarom met name belangrijk om de dalende belangstelling voor het profiel Natuur & Techniek te keren.<sup>47</sup>

Een initiatief om dit te bereiken is het nieuwe bètavak voor havo/vwo dat in augustus 2007 van start gaat. Het vak heet Natuur, Leven en Technologie (NLT) en gaat over onderwerpen op de grensvlakken van de disciplines biologie, natuurkunde, fysische geografie, scheikunde en wiskunde. De doelstellingen van het nieuwe bètavak hebben betrekking op een inhoudelijke verbreding en verdieping voor leerlingen, op een betere voorbereiding op vervolgstudies en op de vernieuwing van het onderwijs in het algemeen en het bètaonderwijs in het bijzonder.<sup>48</sup> Binnen het vak NLT zijn verschillende modules ontwikkeld. Zo is er een module brandstofcellen en zonnecellen. Deze module wordt als een van de bronnen gebruikt voor de landelijke NTL-module duurzame energie voor havo.

Naast het Platform Bèta Techniek zijn er scholen en universiteiten die zelf met een programma of project komen om studenten/leerlingen extra voor techniek te interesseren. Hierbij ligt de nadruk op de vertaling van techniek in een tastbaar product. Zo heeft de HTS Autotechniek een aantal raceteams die op projectbasis volledig door studenten worden geleid. Daarnaast zijn er internationale wedstrijden waarbij het gaat om het ontwerpen en bouwen van de snelste, de lichtste, de zuinigste of de mooiste auto.

Een voorbeeld is de Panasonic World Solar Challenge, een internationale wedstrijd met zonnewagens die het tegen elkaar opnemen over een afstand van 3000 km dwars door Australië. De TU Delft heeft met het Nuna Solar Team al verschillende overwinningen behaald.

Een ander voorbeeld is de Europese Shell Eco-marathon, waaraan dit jaar vier Nederlandse teams deelnamen. De teams bestonden uit studenten van twee hogescholen, een universiteit en een lyceum. Hogeschool Den Haag won uiteindelijk de eerste prijs met het zuinigste voertuig.<sup>49</sup>

Verder zijn er groepen studenten actief met de bouw van een waterstofaangedreven kart volgens het Formula Zero-concept<sup>50</sup> en wordt er in nationale en internationale wedstrijden geracet met zonneboten, superlichte racewagens en superzuinige racewagens.

## 6.2.2 Duurzame ontwikkelingen in het onderwijs

Uit de hiervoor genoemde projecten blijkt dat er steeds vaker gekozen wordt voor een duurzaam ontwerp of een duurzame techniek om technische studies bij jongeren onder de aandacht te brengen. Rotmans beschrijft deze trend in zijn nieuwe boek over transitie als volgt: “Een belangrijke trend is dat duurzaamheid zijn wat ‘tuttige’ imago heeft verloren en ‘sexy’ of ‘cool’ lijkt te zijn geworden onder jongeren”.<sup>51</sup>

In deze projecten worden de concepten ‘duurzaamheid’ en ‘techniek’ met elkaar verbonden. De associatie van ‘duurzaamheid’ met ‘techniek’ kan ervoor zorgen dat meer studenten voor een technische opleiding kiezen.

Educatie over duurzame ontwikkelingen is niets nieuws. Al in 2002 zijn tijdens de VN-top over duurzame ontwikkeling in Johannesburg afspraken gemaakt om gedurende tien jaar – 2005-2014 – speciaal aandacht te schenken aan educatie over dit onderwerp. Deze periode is benoemd tot de Decade of Education for Sustainable Development (DESD).<sup>52</sup>

In maart 2005 is de DESD in Europa officieel van start gegaan. Internationaal is Unesco een leidend agentschap voor de promotie van de DESD. In Nederland heeft het Nationale Unesco Comité de minister van OCW geadviseerd om de Nederlandse activiteiten te verbinden met het programma Leren voor Duurzame Ontwikkeling (LvDO). De stuurgroep LvDO coördineert daarom de invulling van de DESD in Nederland.<sup>53</sup>

Het programma LvDO stelt zich ten doel om bij maatschappelijke actoren effectieve leerprocessen op gang te brengen die gericht zijn op een meer duurzame afweging. In het programma is aandacht voor de hele onderwijskolom. Op diverse fronten wordt gewerkt aan een gestructureerde aanpak van de integratie van duurzame ontwikkeling in het onderwijs.

Een ander duurzaam initiatief is het Copernicus-handvest. In 1993 hebben alle universiteiten in Nederland dit handvest ondertekend. Hiermee beloven ze om duurzame ontwikkeling in alle onderdelen van hun instelling te integreren. Het Copernicus-handvest is een initiatief van het Europese Rectoren College. Het handvest is inmiddels door meer dan 300 Europese universiteiten ondertekend.<sup>54</sup>

Vergelijkbaar met het Copernicus-handvest is het Handvest Duurzaamheid HBO. In 1999 heeft een groot aantal hbo-instellingen dit handvest ondertekend. De overeenkomsten met het Copernicus-handvest zijn groot. Het verschil is echter dat de hogescholen ook een uitvoeringsprotocol hebben ondertekend.<sup>55</sup>

Ook de pabo, het Nederlandse opleidingsinstituut voor leraren in het basis-onderwijs, werkt aan de integratie van duurzame ontwikkelingen in het onderwijs. Op korte termijn wil de pabo zich ontwikkelen tot het platform in Nederland waar op een structurele wijze kennis en inzichten worden gedeeld, goede voorbeelden worden verspreid en gezamenlijk producten worden ontwikkeld op het vlak van duurzame ontwikkeling.<sup>56</sup>

Een andere recente ontwikkeling is een nieuw samenwerkingsverband van de drie technische universiteiten. Er is gezamenlijk een programma opgesteld met vijf Centres of Competence (CoC's). Duurzame ontwikkeling speelt hierin een belangrijke rol.

Verder is de HTS Autotechniek in Arnhem van plan om een waterstoflaboratorium te bouwen. Het doel is om industrie en onderwijs dichter bij elkaar te brengen.

Op initiatief van Hiteq en de Nederlandse Waterstof- en brandstofcellen Vereniging (NWW), ten slotte, hebben vertegenwoordigers van de reguliere onderwijskolom, het Platform Bèta Techniek, Hiteq en de NWW de initiatiefgroep Waterstof en Onderwijs opgezet. Het doel van de initiatiefgroep is de opbouw van adequaat onderwijs in Nederland op het brede gebied van de waterstofeconomie te stimuleren.<sup>57</sup>

### 6.2.3 Multidisciplinair en competentiegericht opleiden

Over het belang van multidisciplinaire opleidingen zijn de meningen sterk verdeeld. Dit blijkt uit het recente onderzoek *De technische arbeidsmarkt en het technisch beroepsonderwijs in 2020*, uitgevoerd door Hiteq en Ecorys.<sup>58</sup>

In dit onderzoek wordt gesproken over snijvlakopleidingen. Hierbij gaat het om opleidingen gericht op sectoroverstijgende beroepen. Bijvoorbeeld de opleiding tot autotechnicus voor hybride aandrijfsystemen: de student moet uiteindelijk beschikken over zowel mechanische als elektrotechnische kennis. Nu bestaat er nog een voertuigtechnische opleiding (vooral mechanisch) en een opleiding elektrotechniek. In de toekomst zou een combinatie van deze twee studies als snijvlakopleiding mogelijk zijn.

Het onderwijs kent de laatste jaren wel een toename in het aantal snijvlakopleidingen en in het aantal studenten aan die opleidingen. Een opleiding met meerdere disciplines leidt echter tot minder kennis over meerdere onderwerpen. De meningen over de toegevoegde waarde van dit soort opleidingen lopen dan ook sterk uiteen. Van der Velden onderscheidt hierin twee kampen: de Generieken en de Specifieken. Volgens de Generieken moet het onderwijs generieker en breder worden, terwijl de Specifieken een specifiekere en responsiever onderwijs willen. Hoe dit zich in de toekomst zal ontwikkelen is nog de vraag.<sup>59</sup>

Uit diverse onderzoeken blijkt tevens dat het leren van gedragsmatige competenties, naast vakmatige competenties, in de toekomst steeds belangrijker wordt.<sup>60</sup> Onderzoek van het ROA voorspelt bijvoorbeeld dat er in de toekomst in de industrie een nieuwe werkgelegenheid zal ontstaan. Dit is met name te danken aan de hoge productiviteit die in Nederland nodig is om tegen rendabele loonkosten te kunnen produceren. De gestelde eisen aan de competenties van werknemers worden hierdoor hoger. Het ROA voorspelt ook een toenemend belang van gedragscompetenties. Hierbij gaat het om klantgerichtheid, allround inzetbaarheid en meer verantwoordelijkheden voor lagere functies.<sup>61</sup>

Het mbo werkt samen met het bedrijfsleven en de kenniscentra aan competentiegericht beroepsonderwijs. Dit dient een tweeledig doel: het mbo moet beter aansluiten op de eisen die het bedrijfsleven en de samenleving stellen, en het competentiegericht onderwijs moet de deelnemers meer boeien, zodat voortijdig schoolverlaten wordt voorkomen.<sup>62</sup>

De staatssecretaris van OCW geeft in een recente brief aan de Tweede Kamer aan dat het structureel invoeren van competentiegericht onderwijs met twee jaar wordt uitgesteld, van augustus 2008 tot augustus 2010. Het competentiegericht onderwijs wordt nu gefaseerd in het mbo ingevoerd. Er is echter nog veel onzekerheid over de toegevoegde waarde die het competentiegericht onderwijs daadwerkelijk oplevert. Daarnaast is er de klacht – van leerlingen, docenten en bedrijven – dat er te weinig specifieke kennis over bepaalde onderwerpen wordt aangeboden.

### 6.3 Conclusie

De transitie naar duurzame transportbrandstoffen heeft impact op een groot aantal technische beroepen. De geïnterviewde experts geven aan dat bij een transitie naar een duurzame transportbrandstof andere eisen worden gesteld aan kennis en competenties. Dit betekent dat om een goede aansluiting tussen praktijk en theorie in de toekomst te behouden ook het onderwijs moet worden aangepast. Uit de interviews kwam naar voren dat er in ieder geval aandacht moet komen voor multidisciplinaire opleidingen, voor bevordering van het aantal bètatechnici en voor duurzame ontwikkelingen in het onderwijs. Uit een literatuuronderzoek blijkt dat het aantal bètatechnici, vooral in het middelbaar en hoger beroeps-onderwijs, afneemt of gelijk blijft, terwijl er in het wetenschappelijk onderwijs een sterke groei te zien is. Het Platform Bèta Techniek werkt hard aan de doelstelling om meer technici in de bètatechniek aan te trekken. Een belangrijke taak is hier weggelegd voor multidisciplinaire opleidingen. Het aantal opleidingen en studenten die kiezen voor een gecombineerde bètaopleiding neemt namelijk toe. Over de toegevoegde waarde van dit soort opleidingen en van competentiegericht onderwijs zijn de meningen echter verdeeld. Het is onzeker of dit soort onderwijs in de toekomst kan zorgen voor een goede aansluiting op de vraag vanuit de praktijk.

Verder zijn er in Nederland verschillende initiatieven gericht op de integratie van duurzame ontwikkelingen in het onderwijs. Specifieke aandacht voor duurzame transportbrandstoffen is echter nog maar in weinig opleidingen terug te vinden. Het is de vraag of dit onderwerp een onderdeel moet worden van technische opleidingen, en, zo ja, op welke termijn en op welke onderwijsniveaus. Het volgende hoofdstuk gaat hier verder op in.

## 7 Roadmaps voor het onderwijs

**In Nederland bestaat er nog weinig lesmateriaal over de duurzame transportbrandstoffen biobrandstoffen en waterstof. Specifieke aandacht voor duurzame transportbrandstoffen is nog maar in weinig opleidingen terug te vinden. Onduidelijk is nog wanneer deze brandstoffen een onderdeel van bepaalde opleidingen moeten worden en op welke onderwijsniveaus. In het kader van dit onderzoek is daarom een benchmark uitgevoerd. Hierin wordt gekeken naar de rol die in andere landen aan deze brandstoffen binnen het onderwijssysteem wordt toegekend. De eerste paragraaf van dit hoofdstuk gaat hier verder op in. In de tweede paragraaf wordt in twee roadmaps een aanzet gegeven voor de integratie van duurzame transportbrandstoffen in de onderwijsprogramma's.**

### 7.1 Benchmark

Het resultaat van de benchmark is terug te vinden in Bijlage 4. Uit het benchmarkonderzoek blijkt dat er in andere landen wel al lesmateriaal over duurzame transportbrandstoffen in het onderwijsprogramma is opgenomen. Daarnaast bestaan er verschillende websites waar de uitwisseling van lesmateriaal over biobrandstoffen of waterstof centraal staat. Wil Nederland voorop lopen in de transitie naar een duurzame transportbrandstof, dan zal op korte termijn al de beslissing genomen moeten worden om lesmateriaal hierover in het onderwijsprogramma op te nemen. In de volgende paragraaf wordt daarom een beeld geschetst van een mogelijke implementatieroute in de verschillende onderwijsprogramma's.

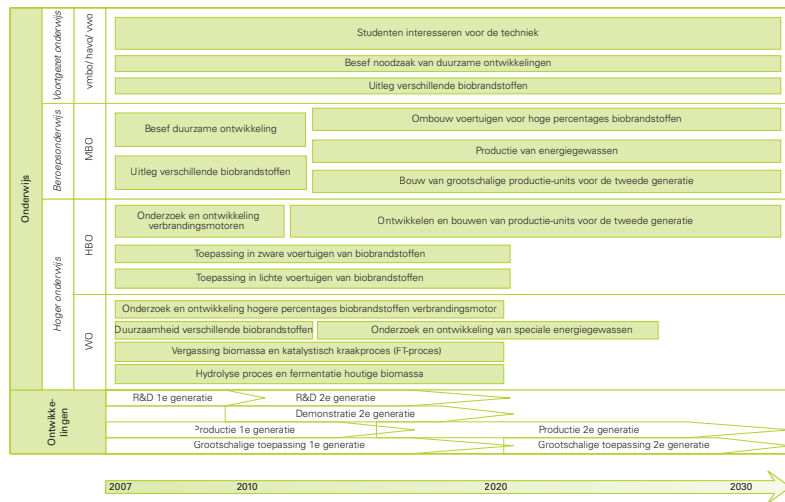
### 7.2 Roadmaps

In deze paragraaf wordt op basis van de informatie uit hoofdstuk 6 een aanzet gegeven voor de integratie van duurzame transportbrandstoffen in de onderwijsprogramma's. Voor beide duurzame transportbrandstoffen is een roadmap gemaakt. Op basis van het toekomstbeeld uit hoofdstuk 3 worden de verwachte ontwikkelingen voor zowel biobrandstoffen als waterstof uitgezet op een tijdlijn. Per onderwijsniveau wordt vervolgens aangegeven naar welke onderwerpen tijdens een bepaalde periode extra aandacht uit moet gaan.

## Biobrandstoffen

De ontwikkeling van biobrandstoffen als transportbrandstof richt zich op een kortere termijn dan die van waterstof. Hierbij gaat het vooral om de ontwikkeling en productie van energiegewassen en de ontwikkeling van tweedegeneratie-biobrandstoffen.

In Figuur 7 is een roadmap weergegeven van de ontwikkelingen in het onderwijs die nodig zijn om het toekomstbeeld wat betreft biobrandstoffen uit hoofdstuk 3 te kunnen bereiken.



Figuur 7: Roadmap biobrandstoffen voor het onderwijs.

In de roadmap is een onderverdeling gemaakt in drie categorieën onderwijs: hoger onderwijs, beroepsonderwijs en voortgezet onderwijs. Deze zijn weer verder verdeeld in vier opleidingsniveaus: wo, hbo, mbo en vmbo/havo/vwo. Over het tijdspad 2007-2030 wordt – gebaseerd op het toekomstbeeld uit hoofdstuk 3 – een overzicht gegeven van de verwachte ontwikkelingen. Per opleidingsniveau is aangegeven welke stappen er gezet moeten worden om deze ontwikkelingen tot stand te brengen.

### VMBO/HAVO/VWO

Op dit niveau is er nog geen specifieke aandacht voor duurzame transportbrandstoffen nodig. De aandacht moet zich richten op het bevorderen van het aantal studenten die kiezen voor de techniek en op het genereren van meer belangstelling voor duurzame ontwikkelingen.

Leerlingen uit het voortgezet onderwijs stromen door naar het beroepsonderwijs of het hoger onderwijs. De richting die zij kiezen wordt voor een groot deel al bepaald tijdens het voortgezet onderwijs. Zo zijn de meeste bètatechnici aan hbo en wo ex-havo- of ex-vwo-leerlingen met profiel Natuur & Techniek. Wil Nederland in de toekomst over voldoende bètatechnici beschikken, dan moeten leerlingen al bij hun profielkeuze gestimuleerd worden om te kiezen voor de techniek. Door leerlingen op dit niveau al kennis te laten maken met duurzame ontwikkelingen en met het belang hiervan, wordt de kans groot dat zij ook in hun vervolgopleiding hier extra aandacht voor hebben.

### MBO

Ook op het mbo moet meer aandacht worden besteed aan duurzame ontwikkelingen. Daarnaast moeten opleidingen gericht op de agrarische sector en de technische opleidingen aandacht besteden aan biobrandstoffen. Voor de ombouw van voertuigen, de productie van energiegewassen en de bouw van grootschalige productie-units zijn mbo-technici nodig. Door de leerlingen kennis te laten maken met duurzame technologieën en brandstoffen ontstaat een positief effect op de doorstroom naar dergelijke beroepen.

### HBO

Op hbo-niveau ligt de nadruk op voertuigtechnische opleidingen, chemische opleidingen en bouwtechnische opleidingen. De nadruk van voertuigtechnische opleidingen ligt op onderzoek en ontwikkeling van de verbrandingsmotor voor het rijden op brandstoffen met hoge bijmengpercentages biobrandstof of pure biobrandstoffen. Hierbij gaat het vooral om de toepassing van verschillende duurzame transportbrandstoffen voor licht en zwaar transport en de afstelling van de motor. Binnen de chemische opleidingen is er nadruk op de ontwikkeling van deze brandstoffen; binnen de agrarische opleidingen op de ontwikkeling van energiegewassen. Binnen de bouwtechnische opleidingen, ten slotte, is er nadruk op de ontwikkeling en bouw van hoogwaardige productie-units voor de tweede generatie biobrandstoffen.

### WO

Op wo-niveau gaat het vooral om het opleiden van onderzoekers. De productie van de tweedegeneratie-biobrandstoffen staat nog in de kinderschoenen, en er is onderzoek nodig om tot grootschalige toepassing te komen. Hierbij gaat het vooral om onderzoek naar de verschillende productiemethoden voor zowel bio-ethanol als biodiesel. Verder moet onderzocht worden tot welke bijmengpercentages biobrandstoffen aan huidige brandstoffen kunnen worden

toegevoegd, en wat de gevolgen hiervan zijn op de uitstoot. Ook moet onderzocht worden welke grondstoffen als duurzaam ingezet kunnen worden zonder verdere aantasting van het milieu en gezondheid van de bevolking. Ten slotte is onderzoek nodig naar verschillende soorten energiegewassen en de wijze waarop deze de grootste energieopbrengst kunnen leveren.

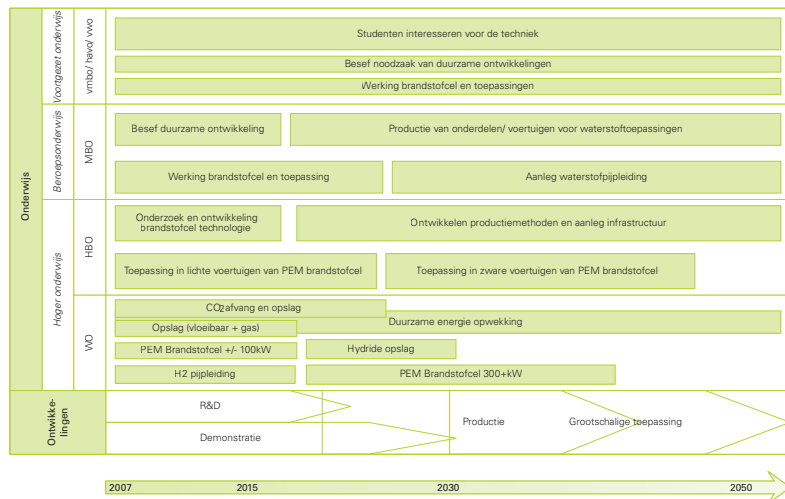
## Waterstof

De ontwikkeling van waterstof als transportbrandstof zal volgens het toekomstbeeld (zie hoofdstuk 3) nog enige tijd duren. De komende jaren ligt de focus vooral op onderzoek en ontwikkeling van de brandstofcel en op de verschillende opslag- en transportmethoden. Extra aandacht is nodig voor de productiemethoden.

Onderzoek alleen zal niet voldoende zijn om technologische doorbraken te realiseren. Al doende leren is in dit geval een van de belangrijkste leerwegen om de technologieën versneld op de markt te kunnen introduceren.

Na de demonstratiefase en de R&D-fase volgt een productiefase van voertuigen, infrastructuur en brandstof. Vervolgens zal grootschalige toepassing van waterstof plaatsvinden. Om deze ontwikkelingen tot stand te kunnen brengen moet het onderwijs mee ontwikkelen.

In Figuur 8 is een roadmap weergegeven van de ontwikkelingen in het onderwijs die nodig zijn om het toekomstbeeld wat betreft waterstof uit hoofdstuk 3 te kunnen bereiken.



Figuur 8: Roadmap waterstof voor het onderwijs.

In de roadmap is een overzicht gegeven van de verwachte ontwikkelingen. Per opleidingsniveau is aangegeven welke stappen er gezet moeten worden om deze ontwikkelingen tot stand te brengen.

### VMBO/HAVO/VWO

Zie biobrandstoffen.

### MBO

Op mbo-niveau zijn met name de komende jaren nog weinig werknemers nodig voor de implementatie van waterstof als transportbrandstof. Dit komt doordat de technologie nog niet marktklaar is. Er moet eerst onderzoek en ontwikkeling plaatsvinden voordat begonnen kan worden met de bouw van waterstofvoertuigen en infrastructuur. Toch is de kans groot dat de mbo-leerlingen van vandaag in de toekomst in aanraking komen met de implementatie van waterstof. Het is daarom belangrijk om de mbo'ers nu al een bepaalde basiskennis van waterstof mee te geven. Daarnaast moet er aandacht worden besteed aan duurzame ontwikkelingen en het belang daarvan voor de maatschappij. Rond 2015 neemt het aantal waterstofvoertuigen toe; op mbo-niveau zijn er dan mensen nodig voor de bouw van voertuigen en de aanleg van infrastructuur.

### HBO

Op hbo-niveau zijn mensen nodig voor de verdere technologische ontwikkeling van de brandstofceltechnologie en van de opslag en transport van waterstof. Een belangrijk aandeel in de verdere ontwikkeling en implementatie van waterstof is weggelegd voor de demonstratiefase. Door de toepassing van waterstof en de brandstofcel in de praktijk kunnen veel kennis en ervaring worden opgedaan. Als deze kennis en ervaring vervolgens worden gebruikt in de verdere ontwikkeling van de technologie kan dit leiden tot een snellere marktintroductie. In het begin zal de nadruk liggen op de toepassing in lichte voertuigen, later ook op toepassing in zware voertuigen. Verschillende werkzaamheden op hbo-niveau zijn nu al gericht op de productie en implementatie van duurzame energieopwekking (b.v. offshorewindparken). Voor de implementatie van waterstof neemt het belang van deze technologieën verder toe. De hbo'ers zullen voor een groot deel verantwoordelijk zijn voor de ontwikkeling en toepassing van deze technologieën.

### WO

Op wetenschappelijk niveau is onderzoek noodzakelijk om een aantal technologische doorbraken te realiseren. Hierbij gaat het om de verdere ontwikkeling

van de brandstofcel, de opslag van waterstof, het transport daarvan, energie- en waterstofproductie met CO<sub>2</sub>-afvang, en opslag en productie van duurzame energie. In een later stadium is verder onderzoek nodig naar hydride opslag en naar brandstofcellen met hogere vermogens voor zwaar transport.

## 8 Conclusies en aanbevelingen

### 8.1 Conclusies

In dit onderzoek is naar een antwoord gezocht op twee onderzoeksvragen.

#### 8.1.1 De eerste onderzoeksvraag

De eerste onderzoeksvraag is:

Welke maatregelen zijn er in Nederland nodig om het transitieproces naar een duurzame transportbrandstof te sturen, en wat zijn de kansen en bedreigingen die hierbij ontstaan voor de Nederlandse transportsector?

Om deze vraag te beantwoorden zijn drie stappen gezet. Per stap volgt hier een overzicht van de belangrijkste conclusies.

#### 1 De huidige positie

Op het gebied van duurzame brandstoffen zijn er activiteiten in de productie en toepassing van biobrandstoffen en waterstof.

- Voor biobrandstoffen is er een onderscheid te maken tussen de huidige generatie met een beperkte duurzaamheid en een tweede generatie met een hogere duurzaamheid. Veel nieuwe initiatieven ontstaan bij de productie van de eerste generatie biobrandstoffen, bio-ethanol en biodiesel. Toepassingen zijn vooral gericht op de verplichte bijmenging aan fossiele brandstoffen.
- Op het gebied van waterstof zijn er in Nederland een aantal grote spelers actief in de productie van waterstof uit aardgas voor industriële toepassingen. Nieuwe, kleinere spelers richten zich op toepassingen in de transportsector. In verschillende demonstraties heeft de techniek zich reeds bewezen.
- Nederland is binnen de automotive-industrie vooral actief als toeleverancier voor buitenlandse automerken en in een aantal nichemarkten. Binnen de olie-industrie telt Nederland een aantal grote spelers die beschikken over raffinaderijen in de Rijnmond. Nederland kent een sterke infrastructuur voor de toelevering van fossiele transportbrandstoffen en voor de toelevering van aardgas voor stationaire toepassingen.

#### 2 Het toekomstbeeld

Biobrandstoffen zullen een belangrijke rol spelen in de transitie naar een duurzame transportbrandstof.

- In het begin wordt vooral gebruikgemaakt van eerstegeneratie-bio-ethanol en eerstegeneratie-biodiesel. Rond 2020 krijgen de tweedegeneratie-biobrandstoffen commerciële toepassing. Voertuigen op brandstoffen met hoge bijmengpercentages of pure bio-ethanol en biodiesel krijgen een belangrijke rol in de transitie.
- Voertuigen op SNG blijven beperkt tot een nichemarkt.
- Wat de rol van biobrandstoffen naast waterstof wordt is nog onzeker. De verwachting is wel dat bio-ethanol en biodiesel in ieder geval tot na 2020 een belangrijke rol zullen spelen.
- Waterstof zal naar verwachting rond 2015 commercieel inzetbaar zijn en een belangrijke rol krijgen als duurzame transportbrandstof.
- In het begin vooral voor bussen en personenauto's, later ook voor andere voertuigen.
- De productie van waterstof bestaat in ieder geval tot 2030 voor het grootste gedeelte uit de reforming van aardgas; in het begin zonder en later met CO<sub>2</sub>-opvang. Duurzame energiebronnen en elektrolyse nemen pas rond deze periode langzaam toe. In 2050 is er een verdere terugval van centrale energieopwekking met aardgas en steenkool met CO<sub>2</sub>-opvang en van reforming; duurzame energiebronnen nemen verder toe.
- Naar verwachting zullen vooral centrale reforming en directe vergassing van biomassa en steenkool tot 2050 de belangrijkste omzettingprocessen vormen.
- Voor het transport van waterstof ontstaat er tussen 2030 en 2050 een pijpleidinginfrastructuur in Nederland. Tot die tijd wordt waterstof vooral getransporteerd met vrachtwagens: in voornamelijk gasvormige toestand, de eerste jaren ook in vloeibare toestand. Locaties buiten het bereik van de pijpleiding maken gebruik van decentrale elektrolyse of van aanvoer van waterstof met vrachtauto's.
- De opslag van waterstof wordt door de uitbreiding van het pijpleidingnetwerk minder belangrijk. Tot die tijd, en voor gebieden buiten het pijpleidingnetwerk, wordt gebruikgemaakt van opslag in hogedruktanks en cryogene tanks. De opslag in het voertuig zal in het begin plaatsvinden in hogedruktanks en cryogene tanks; daarnaast ontstaat een beperkte toepassing van hydride-opslag. Vloeibare opslag neemt daarna af, terwijl opslag in hydrides toeneemt.
- Voor de aandrijving van waterstofvoertuigen wordt vooral gebruikgemaakt van de brandstofcel (PEM). Vanaf 2030 zal deze techniek als dominante technologie gelden. Het aantal waterstofverbrandingsmotoren zal in deze periode verder afnemen; na 2050 blijft het gebruik van de waterstofverbrandingsmotor beperkt tot een gering aantal niches.

### 3 Het transitieproces

- Het multi-level-model speelt een belangrijke rol in de transitie. Aansluiting op alle drie de niveaus (microniveau, mesoniveau, macroniveau) is noodzakelijk om tot een succesvolle transitie te komen. Bij biobrandstoffen zijn er succesvolle aansluitingen, omdat het hier vooral om systeemverbeteringen gaat. Waterstof, dat bepaalde systeeminnovaties nodig heeft, mist een aantal van deze aansluitingen, met name op mesoniveau.
- De biobrandstoffen bevinden zich in de take-off-fase van de ontwikkeling. De versnellingsfase wordt verwacht tussen 2010 en 2020. Er bestaat geen direct gevaar voor een lock-in, backlash of system breakdown. Waterstof bevindt zich nog in de voorontwikkelingsfase. De take-off-fase wordt verwacht rond 2015. Een lock-in van een productiemethode met aardgas als primaire energiebron moet worden voorkomen. Een backlash door een lichte tegenvall kan snel ontstaan wanneer niet goed met de veiligheid van waterstoftoepassingen wordt omgegaan. Een system breakdown ontstaat alleen wanneer er een beter alternatief komt.
- Multi-verandering is voor biobrandstoffen nauwelijks van toepassing, omdat hier vooral systeemverbeteringen nodig zijn. Voor waterstof is multi-verandering wel van toepassing, omdat hier systeeminnovaties nodig zijn.

#### 8.1.2 De tweede onderzoeksvraag

De tweede onderzoeksvraag luidt:

Welke (technische) kennis heeft Nederland nodig om een succesvolle transitie naar een duurzame transportbrandstof te bereiken, en wat is de impact hiervan op de huidige technische beroepen?

Om deze vraag te beantwoorden is de toekomstige vraag naar technisch personeel vergeleken met het huidige en toekomstige aanbod. De belangrijkste conclusies uit deze vergelijking:

- De vraag naar technisch personeel zal met de transitie naar een duurzame transportbrandstof verder toenemen. In de toekomst moet daarom meer aandacht komen voor multidisciplinaire opleidingen en voor het bevorderen van het aantal bètatechnici. Duurzame ontwikkelingen moeten meer aandacht krijgen in het onderwijs.
- Het aanbod van technisch personeel neemt alleen in het wo toe; het aantal technici op hbo en mbo neemt af. Het Platform Bèta Techniek werkt hard aan de doelstelling om meer technici in het onderwijs aan te trekken. Vooral in de multidisciplinaire opleidingen met een bètagedeelte neemt het aantal studenten toe.

- Er is een trend waar te nemen in de toepassing van lesmateriaal gericht op duurzame ontwikkelingen. Steeds meer opleidingen proberen duurzaamheid en techniek samen te brengen in projecten. Jongeren blijken steeds meer interesse te hebben in duurzame ontwikkelingen. In Nederland is er nog weinig lesmateriaal beschikbaar over duurzame transportbrandstoffen. In andere landen zijn er wél al verschillende projecten gestart om biobrandstoffen en waterstof onder de aandacht van studenten/leerlingen te brengen.

### 8.1.3 Afsluiting

Met het beantwoorden van deze twee onderzoeksvragen is een beter inzicht verkregen in het transitieproces dat nodig is om te komen tot het door de sector zelf aangegeven toekomstbeeld. Wat vooral belangrijk is gebleken, is het samenspel van de drie analytische instrumenten: het multi-level-model, het multi-fase-model en het multi-verandering-model.

Daarnaast is voor een succesvol verloop van de transitie een goede kennisontwikkeling van groot belang. Om een beter inzicht te verschaffen in die benodigde kennisontwikkeling in Nederland, zijn in dit onderzoek twee roadmaps opgenomen. In deze roadmaps wordt per transportbrandstof aangegeven welke ontwikkelingen wanneer en voor welk onderwijsniveau een rol gaan spelen. Bij de transitie spelen echter nog veel onzekerheden een belangrijke rol. Tijdens het proces zal de inhoud van de roadmaps daarom continu aangepast moeten worden aan de werkelijke situatie.

Hetzelfde geldt voor het transitieproces; het 'samenspel' tussen de drie instrumenten is, zoals de naam al zegt, een doorlopend spel van proberen, leren en opnieuw proberen.

Om het transitieproces toch zoveel mogelijk in goede banen te leiden, wordt in de volgende paragraaf een aantal aanbevelingen gedaan.

## 8.2 Aanbevelingen

- 1 Het stimuleren van de ombouw van conventionele benzine- en dieselvoertuigen tot flexifuel- en biodieselvoertuigen.
  - Het aantal voertuigen op brandstoffen met hoge bijmengpercentages of pure biobrandstoffen zal toenemen. Deze ontwikkeling moet ondersteund worden door opleiding en bijscholing in technische beroepen. De ontwikkeling zal vooral impact hebben op mbo-niveau. Hiervoor moet het bestaande onderwijsprogramma worden aangepast en moeten er nieuwe bijscholingscursussen worden ontwikkeld.

- Om deze toename te ondersteunen moet echter ook de beschikbaarheid van deze biobrandstoffen toenemen. De overheid kan door een financiële ondersteuning – bijvoorbeeld een accijnsverlaging – het gebruik van deze biobrandstoffen stimuleren. Een toename in het gebruik van eerstegeneratie-biobrandstoffen kan een belangrijke bijdrage leveren aan het creëren van een maatschappelijk draagvlak voor het rijden op biobrandstoffen en dus ook voor het rijden op tweedegeneratie-biobrandstoffen.

- 2 Het ontwikkelen van kennis voor de productie van de tweede generatie biobrandstoffen.
  - Er dient meer onderzoek te worden uitgevoerd naar de tweedegeneratie-biobrandstoffen. Er is kennis nodig over welke producten goedkoop en op grote schaal ingezet kunnen worden en over welke schade zij bij verbranding eventueel aan de omgeving aanrichten.
  - Voor het onderzoek naar deze tweedegeneratie-biobrandstoffen is een financiële impuls nodig van de overheid. Productie-units voor tweedegeneratie-biobrandstoffen vragen namelijk om grote investeringen; toch moet zo snel mogelijk naar deze brandstoffen worden overgestapt.
- 3 Het creëren van draagvlak voor waterstoftechnologieën.
  - Uit het toekomstbeeld blijkt dat aardgas de komende decennia een belangrijke rol speelt bij de productie van waterstof. Daarnaast is er een grote overeenstemming in de verwachting dat gasvormig waterstof het zal winnen van vloeibaar waterstof.
  - Aardgas is weliswaar niet duurzaam, maar het kan wel een katalysator worden van de transitie naar waterstof. Zo kan ervaring worden opgedaan met de opslag van gassen onder een hoge druk bij tankstations en in voertuigen. Naarmate er meer auto's op aardgas rijden, zal de maatschappelijke acceptatie om veilig met gasvormige brandstoffen te rijden toenemen. Langzaam kan biogas in het aardgasnet worden bijgemengd, en zo kan biogas een bijdrage leveren aan de verplichte biobrandstoffenpercentages. Wanneer de PEM-brandstofcel commercieel aantrekkelijk is voor toepassing in de auto kan met behulp van on-site-reforming waterstof worden geproduceerd.
  - Op dit moment zijn er in Nederland echter nog maar enkele honderden voertuigen uitgerust met een CNG-installatie. Er zijn momenteel vijf tankstations; dit aantal zal dit jaar naar verwachting verdubbelen. (Ter vergelijking: Duitsland heeft bijna 700 CNG-tankstations.<sup>63</sup>)
  - De overheid moet het gebruik van aardgas als transportbrandstof daarom verder stimuleren. Dit kan zij doen met een subsidieregeling aan de hand van

uitstootcriteria. Zo komen niet alleen hybride-voertuigen in aanmerking voor een BPM-korting, maar ook de in veel gevallen zuinigere en milieuvriendelijkere aardgasauto's. Belangrijk is echter dat er geen lock-in ontstaat voor aardgas. Het gebruik van duurzame alternatieven moet daarom tijdens dit traject voortdurend gestimuleerd worden.

#### 4 Het ontwikkelen van kennis over waterstoftoepassingen.

- Er moet in Nederland op het gebied van kennisontwikkeling aandacht komen voor duurzame mobiliteit, met de nadruk op duurzame brandstoffen. De kennis die Nederland hiermee opdoet kan later ingezet worden om landen als China en India, die zich nu vooral op de korte termijn richten, te verduurzamen. Dit kan een impuls zijn voor zowel de Nederlandse economie als voor een duurzame samenleving.
- Kennis, ervaringen en vaardigheden op het gebied van waterstofproductie en waterstoftoepassingen moeten daarom verder ontwikkeld worden. In de productie van voertuigen zal Nederland geen belangrijke rol kunnen spelen. Met name autolanden als Duitsland en Frankrijk hebben een sterke automotieve R&D opgebouwd. De grote automerken uit deze landen hebben al jaren waterstofauto's in verschillende duurtesten ingezet. Nederland moet zich daarom vooral richten op kennisontwikkeling voor infrastructuur en de toelevering van onderdelen.
- Het gaat hierbij vooral om de productie van waterstof door middel van reforming, om transport van waterstof door pijpleidingen en met vrachtauto's en om opslag van waterstof. De waterstofinfrastructuur in de regio Rijnmond speelt hierin een belangrijke rol. Kennis, ervaringen en vaardigheden die hier zijn opgedaan, moeten worden ingezet om de transitie naar een duurzame transportbrandstof te versnellen.

#### 5 Nederland verder ontwikkelen als kennisland.

- Nederland wil zich profileren als kennisland. Zich snel ontwikkelende landen als China en India zullen niet achter blijven op het gebied van kennisontwikkeling. Alleen al door de snel groeiende economie zijn deze landen straks in staat kennis uit het Westen te kopen (denk aan de overname van staalbedrijf Corus met een hoogwaardige R&D-afdeling, nu in handen van het Indiase Tata Steel).
- Wil Nederland zich profileren en een voorsprong opbouwen op het gebied van kennis van biobrandstoffenproductie en waterstoftoepassingen, dan moet het snel en efficiënt handelen. Er moet daarom op korte termijn een beleidsplan komen over de in Nederland benodigde kennisontwikkeling op het gebied van duurzame brandstoffen.

- Op het gebied van waterstof is de initiatiefgroep Waterstof en Onderwijs van de Nederlandse Waterstof en brandstofcellen Vereniging actief. Zij wil onderzoek doen naar de benodigde kennisontwikkeling en streeft naar het opzetten van een regiegroep voor een tijdige opbouw van het betreffende onderwijs. Voor biobrandstoffen is er vooralsnog geen initiatiefgroep bekend die zich richt op onderwijs. Gezien de recente ontwikkelingen en het toekomstbeeld is het oprichten van zo'n initiatiefgroep aan te bevelen.

Het resultaat van dit onderzoek moet niet gezien worden als een blauwdruk waarin stap voor stap wordt aangegeven hoe het transitieproces met succes doorlopen kan worden. Binnen het transitieproces bestaan namelijk geen blauwdrukken. Het transitieproces dat nodig is om van nu naar straks te gaan bestaat niet uit een duidelijk stappenplan maar moet gezien worden als een doorlopend leerproces. Alleen door al-lerende-doen, al-doende-leren en al-lerende-leren kan een transitieproces met succes doorlopen worden. Leerprocessen zijn daarmee de essentie van het transitieproces.

## Bijlagen

## 1 Brandstofketens

**In deze bijlage wordt een overzicht gegeven van de verschillende brandstofketens die in deze publicatie aan bod komen. De invulling van de ketens is gebaseerd op een literatuurstudie van actuele studies en onderzoeken, technische vakbladen en persberichten. Deze bijlage betreft een verkorte versie van de oorspronkelijke tekst. De oorspronkelijke tekst is terug te vinden in: Vaessen, 2007, *Op weg naar een duurzame transportbrandstof*.**

### Biobrandstoffen

Er zijn veel verschillende soorten brandstoffen die door het Europese Parlement als biobrandstof erkend zijn in de Richtlijn 2003/EG/20. De brandstoffen die in de Richtlijn worden genoemd, zijn:

- Bio-ethanol: ethanol of alcohol die hoofdzakelijk gewonnen wordt uit suikergewassen en zetmeelgewassen. Daarnaast kan bio-ethanol ook gewonnen worden uit houtige biomassa. Met name in Brazilië en de VS worden op basis van suikergewassen grote hoeveelheden bio-ethanol geproduceerd. (eerste generatie)
- Biodiesel. Door middel van een chemische bewerking wordt Pure Plantaardige Olie (PPO) of dierlijke olie omgezet in een brandstof die qua eigenschappen overeenkomt met de conventionele diesel. (eerste generatie)
- Biogas, ook wel methaangas genoemd. Dit is een gas dat gewonnen wordt door middel van anaërobe vergisting van organisch afval of biomassa en dat qua eigenschappen gelijk is aan aardgas. (eerste generatie)
- Biomethanol: een vloeibare brandstof geproduceerd door het vergassen van biomassa tot synthesegas. Biomethanol kan met aanpassingen aan motor en brandstof toevoer in een benzine auto fungeren als brandstof. (tweede generatie)
- Biodimethylether, ook wel BioDME genoemd. Dit wordt geproduceerd door vergassing van biomassa tot synthesegas. Dit synthesegas wordt met behulp van een katalysator omgezet in BioDME. BioDME is gasvormig en kan net als LPG onder druk vloeibaar worden opgeslagen. (tweede generatie)
- BioETBE (ethyl-tertiair-butylether): op basis van bio-ethanol geproduceerde ETBE. Het volumepercentage bioETBE dat als biobrandstof wordt gerekend, bedraagt 47%. (eerste generatie)
- BioMTBE (methyl-tertiair-butylether): een op basis van biomethanol geproduceerde brandstof. Het volumepercentage bioMTBE dat als biobrandstof wordt gerekend, bedraagt 36%. (eerste generatie)

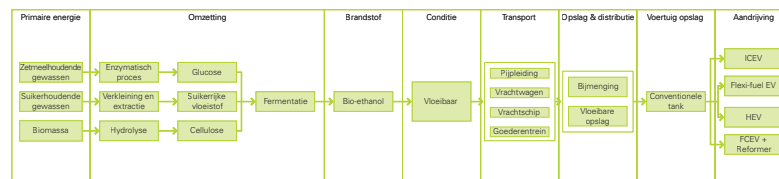
- Synthetische biobrandstoffen: synthetische koolwaterstoffen of mengsels van synthetische koolwaterstoffen die gewonnen zijn uit biomassa. Hieronder vallen het Pyrolyseproces, Hydro Thermal Upgrading (HTU) en het FischerTropsch proces. (tweede generatie)
- Biowaterstof: voor gebruik als biobrandstof bestemde waterstof die gewonnen wordt uit de vergassing van biomassa en/of uit de biologisch afbreekbare afvalfractie. (tweede generatie)
- Onvermengde plantaardige olie: door persing, extractie of soortgelijke procédés uit oliehoudende planten gewonnen olie – natuurlijk of geraffineerd, doch chemisch ongewijzigd – die beantwoordt aan de motortypen en de emissievoorschriften daarvoor. (eerste generatie)

In deze bijlage worden de ketens beschreven van de eerste- en tweedegeneratie-bio-ethanol en -biodiesel. Ook worden een aantal brandstoffen meegenomen die gebaseerd zijn op methanol. De brandstoffen BioETBE en BioMTBE worden beschouwd als een benzine met een additief, bio-ethanol voor BioETBE en biomethanol voor BioMTBE. Zij worden daarom niet expliciet meegenomen in de beschrijving van de ketens, maar vallen onder de eerder genoemde biobrandstoffen.

‘Biomassa’ staat voor een grote selectie organische materialen voor het maken van brandstoffen. Tot deze groep behoren landbouwresiduen, speciale gewassen, houtige soorten, huishoudelijk en industrieel afval en algen. Deze producten stoten weliswaar CO<sub>2</sub> uit bij verbranding, maar nemen tijdens het groeiproces een gelijke hoeveelheid CO<sub>2</sub> op uit de omgeving. Biomassa is daarmee CO<sub>2</sub>-neutraal en duurzaam; het materiaal dat ingezet wordt voor energieproductie of de productie van brandstoffen kan namelijk binnen een korte tijd vervangen worden door nieuwe plantengroei of afvalstromen. Biomassa wordt gebruikt voor de productie van ethanol, biodiesel en methanol. Door middel van vergassing kan het ook ingezet worden voor de productie van waterstof.

## Bio-ethanol

De onderstaande Figuur B1.1 geeft een overzicht van de mogelijke keteninrichting voor de productie en het gebruik van bio-ethanol als brandstof.

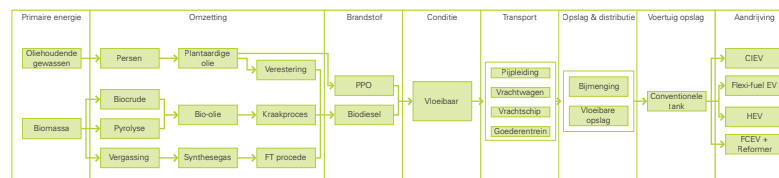


Figuur B1.1: Ketenoverzicht bio-ethanol.

ICEV: Internal Combustion Engine Vehicle; F-FEV: Flexifuel Engine Vehicle; HEV: Hybrid Electric Vehicle; FCEV+reformer: Fuel Cell Electric vehicle met onboard reformer.

## Biodiesel

Figuur B1.2 geeft een overzicht van de mogelijke keteninrichting voor de productie en het gebruik van biodiesel als brandstof.

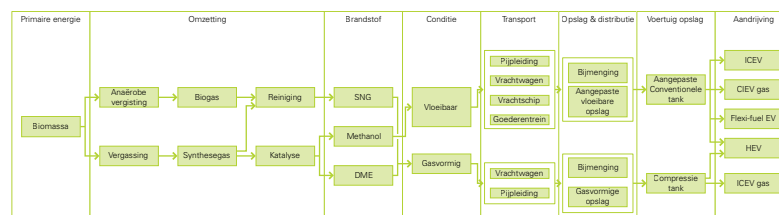


Figuur B1.2: Ketenoverzicht biodiesel.

CIEV: Compression Ignition Engine Vehicle; F-FEV: Flexifuel Engine Vehicle; HEV: Hybrid Electric Vehicle; FCEV+reformer: Fuel Cell Electric vehicle met onboard reformer.

## Overige biobrandstoffen

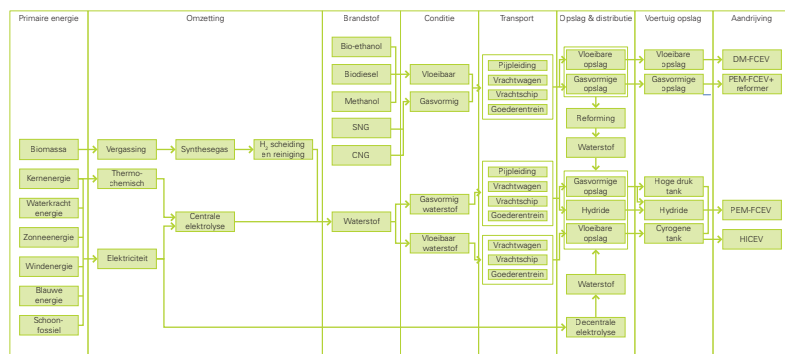
De onderstaande Figuur B1.3 geeft een overzicht van de mogelijke keteninrichting voor de productie en toepassing van een aantal overige biobrandstoffen. Dit zijn: SNG (Synthetic Natural Gas), biomethanol en biodimethylether.



Figuur B1.3: Ketenoverzicht overige biobrandstoffen.

ICEV: Internal Combustion Engine Vehicle; CIEV gas: Compression Ignition Engine Vehicle met ombouw voor gas; F-FEV: Flexifuel Engine Vehicle; HEV: Hybrid Electric Vehicle; ICEV gas: Internal Combustion Engine Vehicle met ombouw voor gas; FCEV+reformer: Fuel Cell Electric vehicle met onboard reformer; DM-FCEV: Direct Methanol Fuel Cell Electric Vehicle.

In de onderstaande Figuur B1.4 is een overzicht te zien van mogelijke schakels binnen de waterstofketen. Naast de duurzame energiebronnen zijn ook schoon fossiel en kernenergie meegenomen in het overzicht. Dit is gedaan omdat deze energiebronnen een belangrijk aandeel hebben in de visiedocumenten (Werkgroep Waterstof van het Platform Nieuw Gas en de Hyways studie) bij de transitie naar waterstof.



Figuur B1.4: Ketenoverzicht waterstof.  
FCEV+reformer: Fuel Cell Electric vehicle met onboard reformer; PEM-FCEV: Proton Exchange Membrane Fuel Cell Electric Vehicle; HICEV: Hydrogen Internal Combinations Vehicle.

## Bijlage 2 Overzicht visies

In deze bijlage wordt een vergelijking gemaakt tussen het resultaat van de Delphi-studie (Vaessen, 2007, *Op weg naar een duurzame transportbrandstof*) en die van de studies van de Werkgroep Waterstof van het Platform Nieuw Gas (Werkgroep Waterstof, 2006, *Waterstof Brandstof voor Transitie*) en Hyways (Hyways, 2006, *Assumptions, visions and robust conclusions from project Phase I*).

2015	Aandeel	Primaire energie-bron	Omzetting naar waterstof	Transport	Opslag en distributie	Voertuig
Werkgroep Waterstof	2006-2015, 1-5% op waterstof.	Bronnen voornamelijk aardgas, elektriciteit en aardgas bijgemengd met biogas.	Grote verscheidenheid in productie.	Grote verscheidenheid in infrastructuur.	Grote verscheidenheid in infrastructuur.	Verschillende demonstratieprojecten met busvloten en kleine voertuigparken.
Hyways	2020, 0,7 tot 3,3% waterstofvoertuigen als aandeel van het totaal aantal voertuigen.	Aardgas zeker tot 2030 een dominante bij de productie van waterstof.	Productie zal gedurende deze tijd, en zeker in de beginfase, voor een belangrijk deel plaatsvinden via on-site-reforming van aardgas. Alleen in Rijnmond centrale faciliteiten die nu al voorhanden zijn.	De waterstof zal in eerste instantie op locatie worden geproduceerd uit aardgas, of als vloeibaar waterstof worden aangevoerd per vrachtauto. In Rijnmond via pijpleiding.	De waterstof zal in eerste instantie op locatie worden geproduceerd uit aardgas, of als vloeibaar waterstof worden aangevoerd per vrachtauto.	Tot 2010 alleen demo-voertuigen.
Delphi-studie	0-10% aandeel waterstof van totale transportbrandstoffen.	Grote energiemix, vooral aardgas met CCS en reforming, verder wind en steenkool met CCS.	Decentraal reforming van aardgas en decentraal elektrolyse op kleine schaal.	Vooral vrachtwagens voor zowel vloeibaar waterstof als gasvormig waterstof.	On-site-reforming op tankstations in opslag-tanks, zowel gasvormig als vloeibaar.	Opslag: in hogedruktank en cryogene tank, kleine toepassing van hydrides. Aandrijving: door verschillende technologieën zoals HICEV, PEM-FCEV, DM-FCEV. Voertuigen: vooral personenauto's en bussen

Tabel B2.1

2030	Aandeel	Primaire energiebron	Omzetting naar waterstof	Transport	Opslag en distributie	Voertuig
Werkgroep Waterstof	5-25% van de auto's rijden op waterstof.	20-40% van de waterstof is klimaatneutraal: • aardgas met CCS; • steenkool met CCS; • biomassa; • offshore wind.	Decentrale reforming van aardgas.	Aanvoer voornamelijk van vloeibaar waterstof via trucks en waterstofpijpleiding (Rotterdam en omgeving).	Meer dan 50% van de tankstations beschikt over waterstof.	Openbaar busvervoer en taxi's in grote steden op waterstof; uitbreiding voertuigparken tot vloten op waterstof.
Hyways	7,6 tot 23,7% waterstofvoertuigen als aandeel van het totaal aantal voertuigen.	Aardgas zeker tot 2030 een dominante bij de productie van waterstof.	Waterstof uit extra reformer-capaciteit in het Rijnmondgebied.	Ontstaan van pijpleidinginfrastructuur die uitgroeit vanuit de bestaande industriële infrastructuur in de Rijnmond.	De waterstof zal in eerste instantie op locatie worden geproduceerd uit aardgas, of als vloeibaar waterstof worden aangevoerd per vrachtauto.	-
Delphi-studie	10-30% aandeel waterstof van totale transportbrandstoffen.	Terugval van aardgas met CCS en reforming; toename biomassa, wind en kernenergie	Centrale reforming aardgas en biogas, elektrolyse en vergassing.	Vrachtwagens en ontstaan van pijpleiding-netwerk.	Opslag niet overall nodig door hoge capaciteit pijpleiding, anders in opslagtanks (gas en vloeibaar).	Opslag: in hogedruktanks en groei van hydride tanks; afnemend aantal cyrogene tanks. Aandrijving: vooral PEM-FCEV en HICEV, verhouding 2:1. Voertuigen: personenauto's en bussen, lichte opkomst vrachtauto's en motoren.

Tabel B2.2

2050	Aandeel	Primaire energiebron	Omzetting naar waterstof	Transport	Opslag en distributie	Voertuig
Werkgroep Waterstof	40-75% van de voertuigen op waterstof.	60-100% H <sub>2</sub> is klimaatneutraal: • steenkool met CCS; • biomassa; • off-shore wind.	Centraal of on-site-productie met CCS.	Uitbreiding en integratie van de centrale ringleiding tot landelijk systeem.	In grote steden veel tankstations op waterstof. Alle snelweg-tankstations in de grote Randstad op een centrale ringleiding; elders aanvoer van LH <sub>2</sub> per vrachtwagen.	Voornamelijk brandstofcellen in auto's, bussen en busjes.
Hyways	40-74,5% waterstofvoertuigen als aandeel van het totaal aantal voertuigen.	Biomassa en steenkool in combinatie met afvangst en opslag van CO <sub>2</sub> , elektriciteit van offshore-windparken.	Rechtstreeks waterstof door vergassing en elektrolyse.	Pijpleidinginfrastructuur zal zich vooral in de Randstad ontwikkelen, terwijl lokale productie het beeld zal domineren in de andere regio's.	-	-
Delphi-studie	30-50% aandeel waterstof van totale transportbrandstoffen.	Verdere terugval van aardgas en steenkool met CCS en reforming; verdere toename biomassa, wind-, zonne- en kernenergie	Centrale reforming blijft belangrijk en kleinschalig decentrale elektrolyse. Centrale vergassing speelt ook belangrijke rol.	Verdere uitbreiding van pijpleiding-netwerk.	Veel gebieden geen opslag nodig door capaciteit pijpleiding-netwerk; andere gebieden opslagtanks.	Opslag: vooral in hogedruktanks en hydrides. Aandrijving: vooral PEM-FCEV en HICEV beperkt tot niches. Voertuigen: verdere toename personenauto's en bussen; verdere groei vrachtauto's en motoren; lichte opkomst vliegtuigen en schepen.

Tabel B2.3

### 3 Benchmark lesmateriaal duurzame transportbrandstoffen in het onderwijs

In deze bijlage zijn de resultaten van een benchmark weergegeven. In Nederland bestaat er nog weinig lesmateriaal over de duurzame transportbrandstoffen bio-brandstoffen en waterstof. Slechts enkele opleidingen besteden hier aandacht aan binnen bepaalde cursussen of minors. Onduidelijk is nog welke rol deze brandstoffen uiteindelijk in het onderwijsprogramma moeten gaan krijgen.

Om hier meer inzicht in te krijgen, is een benchmarkonderzoek uitgevoerd. Met behulp van een literatuuronderzoek is onderzocht welke rol in andere landen aan deze duurzame transportbrandstoffen in onderwijsprogramma's wordt toegekend.

#### Biobrandstoffen

Op het gebied van educatie over biobrandstoffen zijn in Nederland geen landelijke initiatieven bekend. De meeste educatie komt van biobrandstofproducenten, en er zijn een aantal onderwijsinstellingen die extra aandacht aan dit onderwerp besteden. Voorbeelden zijn de Universiteit Twente (met de opleiding Chemische Technologie), de Universiteit Wageningen, de Hogeschool Arnhem en Nijmegen en de Hanzehogeschool Groningen.

In de VS is er het consortium National Alternative Fuels Training Consortium<sup>64</sup>, opgericht in 1992. Dit is de enige landelijke organisatie die trainingen over alternatieve brandstoffen en technologieën aanbiedt. In totaal telt het consortium 29 nationale trainingscentra. De organisatie biedt cursussen en workshops aan over alternatieve brandstoffen als aardgas, LPG, bio-ethanol, biodiesel, hybrides, elektrisch en waterstof. De cursussen en workshops zijn al aan meer dan 200.000 deelnemers gegeven. Om de twee jaar organiseert het Consortium een educatiedag alternatieve brandstoffen in meer dan dertig staten.

Verder zijn er in de VS verschillende websites waar informatie wordt aangeboden over alternatieve brandstoffen. Zo is er bijvoorbeeld een website waarop een volledige cursus te downloaden is volgens het opensource-model.<sup>65</sup> Hierin wordt het belang van alternatieve brandstoffen besproken en worden de verschillende alternatieven toegelicht.

Op het gebied van biobrandstoffen bestaat ook een internationale master-opleiding, de IMES (International Master in Environmental Science). Deze opleiding concentreert zich op biobrandstoffen en luchtkwaliteit. Verschillende universiteiten in de EU en de VS wisselen hierbij studenten uit. Een deelnemerslijst is te vinden op de website<sup>66</sup>; Nederland doet hier niet aan mee.

## Waterstof

Uit het toekomstbeeld van hoofdstuk 3 blijkt dat biobrandstoffen eerder op de markt komen dan waterstof. Het lijkt daarom logisch dat biobrandstoffen ook eerder een rol in het onderwijs krijgen. Toch zijn er nu al verschillende landen die waterstof en de brandstofceltechnologie of zelfs het begrip 'waterstofeconomie' een belangrijke positie in het onderwijs toekennen.

In Denemarken is bijvoorbeeld de eerste Master of Science op het gebied van waterstof- en brandstofceltechnologie in september 2006 van start gegaan. Deze master wordt gegeven aan de Aalborg Universiteit. Het gaat om een multidisciplinaire studie met aandacht voor mechanical engineering, control engineering en electrical engineering.<sup>67</sup>

In de VS bestaan er verschillende websites met verwijzingen naar lesmateriaal voor docenten en studenten over waterstof en brandstofcellen. Een voorbeeld is de website van H<sub>2</sub> Education.<sup>68</sup>

Onder het US Department of Energy valt een aparte divisie Energy Efficiency and Renewable Energy.<sup>69</sup> Deze divisie beschikt over een website met lesmateriaal over waterstof voor het basis- en voortgezet onderwijs. Het lesmateriaal bestaat uit lesschema's, laboratoriummateriaal, video's en workshops voor docenten. Verder biedt men een H<sub>2</sub>IQ-test aan die verschillende korte artikelen met basisinformatie over waterstof aanhaalt. Het uiteindelijke doel van de divisie is het opzetten van een landelijke opleidingscampagne in 2010 over de waterstofeconomie en de brandstofceltechnologie. Op de site staat informatie en lesmateriaal dat gratis verkrijgbaar is voor wetgevers, lokale overheden, docenten en studenten. Ook geeft de site informatie over duurzaamheidscompetities die scholen hebben gestart onder studenten en docenten. Het beschikbare lesmateriaal is ontwikkeld voor alle onderwijsniveaus.

In de VS bestaat er ook een aparte energiewebsite voor kinderen. Dit is een activiteit van de Energy Information Administration (EIA), Official Energy Statistics from the U.S. Government. Hierop is informatie te vinden over verschillende soorten energie en hun toepassing. Kinderen kunnen er op speelse wijze kennismaken met alternatieve energiebronnen. De website bevat verder informatie over de geschiedenis van energie en biedt lesmateriaal aan voor de klassen 1-12, leeftijd 4-18 jaar.<sup>70</sup>

Een internationaal project gericht op lesmateriaal over waterstof is The International Partnership for the Hydrogen Economy (IPHE), opgericht in 2003. De partners in dit programma zijn: Australië, Brazilië, Canada, China, de Europese Commissie, Frankrijk, Duitsland, IJsland, India, Italië, Japan, de republiek Korea, Nieuw-Zeeland, Noorwegen, de Russische Federatie, het Verenigd Koninkrijk en de Verenigde Staten. Het doel van deze organisatie is om een netwerk van partners te creëren waarin onderzoek, ontwikkeling, demonstratie en commercialisering van waterstof en brandstofcel gemakkelijker georganiseerd en gecoördineerd worden. Een belangrijk onderwerp is het uitwisselen van educatiemateriaal. Hierbij gaat het om lesmateriaal voor zowel docenten als studenten, variërend van basisonderwijs tot hoger onderwijs. Op de website staat een inventarislijst van het beschikbare lesmateriaal per land.<sup>71</sup>

In IJsland is het project Ecological City Transport System uitgevoerd, ook wel ECTOS genoemd. Hierbij is het eerste waterstoftankstation in IJsland geplaatst voor de brandstofvoorziening van drie bussen. Dit project is inmiddels afgerond. De volgende doelstelling is om personenauto's en schepen naar waterstof om te bouwen. Op dit moment creëren universiteiten en onderzoeksinstituten samen met de industrie een gezamenlijk platform voor waterstofactiviteiten. Het doel is om een platform voor waterstofonderzoek en -ontwikkeling te vormen waaruit verschillende spin-offs moeten ontstaan. Uiteindelijk moet dit leiden tot een waterstoftechnologie-industrie. Deze nieuwe industrie kan in de toekomst zorgen voor nieuwe werkgelegenheid in hightech-functies. Dit project heet het Hydrogen Energy Technology Centre (Vetnistæknnimi\_stö\_). In dit kader besteedt de Universiteit van IJsland extra aandacht in haar onderwijsprogramma aan onderzoek en ontwikkeling van waterstoftoepassingen.<sup>72</sup>

Ook Duitsland kent een ontwikkelingscentrum gericht op de brandstofcel: het Weiterbildungszentrum Brennstoffzelle in Ulm (WBZU). Het doel hiervan is om industrie en opleiding op verschillende niveaus bij elkaar te brengen door het

geven van opleiding, training, advies en informatie. De kerntaken zijn opleiding, demonstratie en advies. De meeste informatie is openbaar beschikbaar op de website van het Centrum.<sup>73</sup>

In Australië bestaat het National Hydrogen Institute of Australia (NHIA). Binnen het programma Moonshot 2010 hebben twintig technische hogescholen, die samen een cluster vormen in North South Wales, van het NHIA in mei 2006 per opleiding drie waterstof-modelauto's gekregen. Deze modellen worden ingezet als lesmateriaal. Daarnaast heeft ook een aantal universiteiten en onderwijsdepartementen een model gekregen. Het gaat om een demonstratiemodel met werkende brandstofcel en aanvullend lesmateriaal.<sup>74</sup>

Verder kent Australië het programma Fuel Cell Institute of Australia (FCIA), opgericht in 2003. Dit is het eerste Australische programma dat zich richt op brandstofcelonderzoek en -ontwikkeling. Het doel is om meerdere projecten op te zetten rond de toepassing en ontwikkeling van brandstofcellen.<sup>75</sup>

Ten slotte zijn er nog een aantal websites met lesmateriaal over waterstof en andere duurzame alternatieven. Hierbij gaat het vooral om boeken en demonstratiemodellen.<sup>76</sup>

## Literatuur

Biofuels Research Advisory Council (BIOFRAC), (2006), Biofuels in the European Union, A vision for 2030 and beyond. EUR 22066, ISBN 92-79-01748-9. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2006.

Brundtland, G.H., (1987), World Commission on Environment and Development, Our Common Future. S.I.: WCED, ISBN 019282080X.

Dalkey, N.C., & Helmer, O., (1963), An experimental application of the Delphi method to the use of experts. Management Science 9, 458-467.

EC, (2006), Renewable Energy Road Map, Renewable energies in the 21<sup>st</sup> century: building a more sustainable future. Communication from the commission to the council and the European Parliament.

ECN, Bruijn, F. de, Steen, M. (2006), Waterstof op weg naar de praktijk. 6 april 2006, Petten.

Energieraad & VROM-raad, (2004), Energietransitie, Klimaat voor nieuwe kansen, gezamenlijk advies. December 2004.

European Technology Platform for Hydrogen & Fuel Cells (HFP), (2007), Implementation Plan – Status 2006. Maart 2007.

Frenken, K., Hekkert, M.P., Godfroij, P., (2004), R&D Portfolios in environmentally friendly automotive propulsion: variety, competition and policy implications.

Geel, P.L.B.A. van, (2006), Staatssecretaris van VROM, Besluit Biobrandstoffen Wegverkeer 2007, houdende regels met betrekking tot het gebruik van biobrandstoffen in het wegverkeer, 542. Besluit van 20 oktober 2006. Sdu Uitgevers, 's-Gravenhage 2006.

Geels, F.W., and Kemp, R. (2000), Transitie vanuit sociaal-technologisch perspectief, Rapport voor VROM. Enschede: Universiteit Twente, and Maastricht: MERIT.

Geels, F.W. (2002), Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. *Research Policy*, 31 (8/9), 1257-1274.

Geels, F.W., (2005), *Technological Transitions and System Innovations*. UK, Cheltenham: Edward Elgas Publishing Limited, ISBN 1-84542-0098.

Hiteq en Ecorys, (2007), *De technische arbeidsmarkt en het technisch beroeps-onderwijs in 2020*. Hilversum en Rotterdam.

Hyways, a European Roadmap, (2006), Assumptions, visions and robust conclusions from project Phase I. L-B-Systemtechnik, Coordinator HyWays, Ottobrunn (D).

Kuhlman, S., Arnold, E. (2001), RCN in the Norwegian Research and Innovation System, Background Report No. 12 in the Evaluation of the Research Council of Norway. Oslo, 2001.

Meijer, I.S.M. et al., (2006a), Perceived uncertainties regarding socio-technological transformation: towards a framework. *Int. J. Foresight Innov. Pol.* 2 (2) 214–240.

Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, (2001), Nationaal Milieubeleidsplan 4 (NMP4), Een wereld en een wil werken aan duurzaamheid. Centrale Directie Communicatie.

PCCC, (2005), *De kleine vraagbaak van het Kyoto-protocol*. Februari 2005, Uitgeverij RIVM.

Platform Bèta Techniek, April 2006, Trends en cijfers in het onderwijs in- door- en uitstroom in bètatechniek.

Rifkin, J., (2002), *The Hydrogen Economy, The creation of the world-wide energy web and the redistribution of power of earth*. Penguin Putnam, New York, ISBN 90-5637-583-0.

ROA, (2006a), *De arbeidsmarkt naar opleiding en beroep tot 2010*. Maastricht.

ROA, (2006b), *Technomonitor 2006*, Maastricht.

Rotmans, J., Kemp, R., Asselt, M. van, Geels, F., Verbong, G. en Molendijk, K. (2000), *Transities & transitie management: De Casus van een emissiearme energievoorziening*. Maastricht: ICIS / MERIT.

Rotmans, J., (2003), *Transitiemanagement: Sleutel voor een duurzame samenleving*. Assen, Netherlands: Koninklijke Van Gorcum, ISBN 90-232-3994-6.

Rotmans, J., (2005a), *Maatschappelijke innovatie; tussen droom en werkelijkheid staat complexiteit*. Inaugurale rede, Erasmus Universiteit Rotterdam.

Rotmans, J., Loorbach, D. en Brugge, R. van der (2005b), *Transitiemanagement en duurzame ontwikkeling; Co-evolutionaire sturing in het licht van complexiteit*. Published in *Beleidswetenschap* vol.19, nr 2, p. 3-23.

Rotmans, J., (2007), *Duurzaamheid: van onderstroom naar draaggolf, op de rand van een doorbraak*. Drift, Erasmus Universiteit Rotterdam.

Smit, W.A., Oost., E.C.J. van (1999), *De wederzijdse beïnvloeding van technologie en maatschappij; Een Technologie Assessment-benadering*. Uitgeverij Coutinho, Bussum.

Unruh, G., (2002), Escaping carbon lock-in. *Energy Policy* 30 317–325.

Vaessen, M., (2007), *Op weg naar een duurzame transportbrandstof*. Afstudeerscriptie Universiteit Utrecht, uitgevoerd bij Hiteq in Hilversum.

Velden, R.K.W. van der (2006), *Generiek of specifiek opleiden?* Oratie Universiteit Maastricht, Maastricht 2006.

Werkgroep Waterstof van het Platform Nieuw Gas, (2006), *Advies van de werkgroep waterstof aan het Platform Nieuw Gas, Waterstof Brandstof voor Transitie*.

## Noten

- 1 Assessment Report van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) van de Verenigde Naties, gepresenteerd op 1 februari 2007.
- 2 [www.knmi.nl](http://www.knmi.nl) – geraadpleegd 12 februari 2007.
- 3 PCCC, 2005.
- 4 Energieraad & VROM-Raad, 2004.
- 5 Naar de Brundtland-definitie. Brundtland-rapport, 1987.
- 6 [www.kabinetsformatie20062007.nl](http://www.kabinetsformatie20062007.nl) – geraadpleegd 8 februari 2007.
- 7 Promoting biofuels as credible alternatives to oil in transport, memo 10 januari 2007. Brussel, <http://europa.eu> – geraadpleegd 15 januari 2007.
- 8 Unruh, G., 2002; Rotmans, 2003; Rifkin, 2002; Smit en Van Oost, 1999.
- 9 Rotmans, 2005b.
- 10 [www.elsbett.com](http://www.elsbett.com) – geraadpleegd 25 januari 2007.
- 11 Richtlijn 2003/30/EG van het Europese Parlement en de Raad, 8 mei 2003, ter bevordering van het gebruik van biobrandstoffen of andere hernieuwbare brandstoffen in het vervoer.
- 12 Promoting biofuels as credible alternatives to oil in transport, memo 10 januari 2007. Brussel. <http://europa.eu> - geraadpleegd 15 januari 2007.
- 13 EC, 2006.
- 14 Van Geel, 2006.
- 15 Vaessen, 2007.
- 16 [www.vrijeenergiemachine.nl](http://www.vrijeenergiemachine.nl) – geraadpleegd 21 november 2006.
- 17 ECN, 2006.
- 18 Vaessen, 2007.
- 19 Deze gegevens zijn gebaseerd op een schatting van het Milieu en Natuur Planbureau. [www.mnp.nl](http://www.mnp.nl) – geraadpleegd 30 januari 2007.
- 20 Kuhlman & Arnold, 2001
- 21 [www.intermediair.nl](http://www.intermediair.nl). Intermediair, mei 2006 – geraadpleegd 30 januari 2007.
- 22 [www.automotive-industry.nl](http://www.automotive-industry.nl) – geraadpleegd 30 januari 2007.
- 23 [www.intermediair.nl](http://www.intermediair.nl). Intermediair, mei 2006 – geraadpleegd 30 januari 2007.
- 24 [www.cbs.nl](http://www.cbs.nl) – geraadpleegd 8 februari 2007.
- 25 [www.ngv-holland.nl](http://www.ngv-holland.nl) – geraadpleegd 8 november 2006.
- 26 Ingenieur, nr. 1, jaargang 119, 19 januari 2007.
- 27 [www.dutch4.com](http://www.dutch4.com) – geraadpleegd 30 januari 2007.
- 28 Advanced Energy Initiative. The White House Economic Council, February, 2006.
- 29 Vaessen, 2007; zie [www.hiteq.org](http://www.hiteq.org).
- 30 Vrij vertaald uit het Engels; Dalkey & Helmer, 1963.

- 31 Rotmans, 2003.
- 32 Rotmans, 2003, p. 51.
- 33 Rotmans & Kemp, 2000; Rotmans, 2003; Rotmans, 2005b; Geels & Kemp, 2000; Geels, 2002; Geels, 2005.
- 34 [www.drift.eur.nl](http://www.drift.eur.nl) – geraadpleegd 13 november 2006.
- 35 Rotmans, 2003.
- 36 Rotmans, 2003, p. 19.
- 37 Geels & Kemp, 2000.
- 38 Rotmans, 2003.
- 39 Rotmans, 2005b.
- 40 Een uitgebreidere beschrijving, inclusief illustratie, van deze drie analytische instrumenten is te vinden in Vaessen, 2007.
- 41 Frenken et al., 2004.
- 42 Waterstof: Implementation Plan – Status 2006 (European Hydrogen & Fuel Cell Technology Platform. Biobrandstoffen: Biofuels Research Advisory Council, 2006.
- 43 [www.vno-ncw.nl](http://www.vno-ncw.nl) – geraadpleegd 4 juni 2007.
- 44 ROA, 2006a.
- 45 [www.platformbetatechniek.nl](http://www.platformbetatechniek.nl) – geraadpleegd 9 mei 2007.
- 46 [www.ocw.nl](http://www.ocw.nl) – geraadpleegd 9 mei 2007.
- 47 Platform Bèta Techniek, 2006.
- 48 [www.betavak-nt.nl](http://www.betavak-nt.nl) – geraadpleegd 22 mei 2007.
- 49 De Ingenieur, nr. 8, mei 2007, p. 15.
- 50 [www.formulazero.nl](http://www.formulazero.nl) – geraadpleegd 21 mei 2007.
- 51 Rotmans, 2007.
- 52 <http://portal.unesco.org> – geraadpleegd 23 mei 2007.
- 53 [www.senternovem.nl](http://www.senternovem.nl) – geraadpleegd 23 mei 2007.
- 54 [www.dho.nl](http://www.dho.nl) – geraadpleegd 22 mei 2007.
- 55 [www.dho.nl](http://www.dho.nl) – geraadpleegd 22 mei 2007.
- 56 [www.duurzamepabo.nl](http://www.duurzamepabo.nl) – geraadpleegd 22 mei 2007.
- 57 Initiatiefgroep Waterstof en Onderwijs, Position Paper, 2007.
- 58 Hiteq en Ecorys, 2007.
- 59 Van der Velden, 2007; Hiteq en Ecorys, 2006.
- 60 Hiteq en Ecorys, 2007.
- 61 ROA, 2006b.
- 62 Meer tijd implementatie competentiegericht beroepsonderwijs; nieuwsbericht 6 april 2007; [www.minocw.nl](http://www.minocw.nl) – geraadpleegd 13 juni 2007.
- 63 [www.gas-tankstellen.info](http://www.gas-tankstellen.info) – geraadpleegd 13 februari 2007.
- 64 [www.naftc.wvu.edu](http://www.naftc.wvu.edu) – geraadpleegd 11 mei 2007.
- 65 <http://biofuels.coop> – geraadpleegd 11 mei 2007.
- 66 <http://ec.europa.eu> – geraadpleegd 12 mei 2007.
- 67 [www.hytec.aau.dk](http://www.hytec.aau.dk) – geraadpleegd 10 mei 2007.
- 68 [www.h2education.com](http://www.h2education.com) – geraadpleegd 10 mei 2007.
- 69 [www1.eere.energy.gov](http://www1.eere.energy.gov) – geraadpleegd 10 mei 2007.
- 70 [www.eia.doe.gov](http://www.eia.doe.gov) – geraadpleegd 10 mei 2007.
- 71 [www.iphe.net](http://www.iphe.net) en [www.iphe.net](http://www.iphe.net) – geraadpleegd 10 mei 2007.
- 72 [www.newenergy.is](http://www.newenergy.is) – geraadpleegd 10 mei 2007.
- 73 [www.wbzu.de](http://www.wbzu.de) – geraadpleegd 10 mei 2007.
- 74 [www.hydrogen.asn.au](http://www.hydrogen.asn.au) – geraadpleegd 11 mei 2007.
- 75 [www.fuelcells.org.au](http://www.fuelcells.org.au) – geraadpleegd 11 mei 2007.
- 76 Enkele voorbeelden zijn: [www.h-tec.com](http://www.h-tec.com) (Duitsland); [www.GEOSenergie.nl](http://www.GEOSenergie.nl) (Nederland); [www.minihydrogen.dk](http://www.minihydrogen.dk) (Denemarken).

# Colofon

## Teksten

Hiteq, Hilversum

Drs. ing. Mathijs Vaessen

Opdrachtgever

Hiteq, centrum van innovatie

Programmaleider Technologie

Ir. Daan Maatman

## Redactie

Bert Herben, Amsterdam

## Organisatie en productie

Hiteq, Hilversum

Max Hoogenraad-Veeran

## Ontwerp

Sjoukje Ziel grafisch ontwerp

helder ! ontwerpgroep, Amersfoort

## Illustraties

Cliffhanger Visuals, Apeldoorn

Seger van Wijk

## Drukwerk

DigiPrint, Nijkerk

## Uitgave

© 2007 Hiteq, Hilversum

Bestelnummer H00008

Deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt na schriftelijke toestemming van de uitgever via [info@hiteq.org](mailto:info@hiteq.org)