

VERDIEPING TRANSITIEPADEN

Eindrapport 2: Verdieping (CONCEPT, Februari 2006)

Opdracht van het Ministerie van EZ
Nr 1-3664, d.d 26 juli 2005

Projectteam:

Erik Lysen (coördinatie)¹
Sander van Egmond (coördinatie)¹

Marc Londo²
Andre Wakker²

Kay Damen³
André Faaij³
Barbara Hermann³
Martin Junginger³
Martin Patel³

Rogier Coenraads⁴
Ernst Worrell⁴

Esther Luiten⁵

¹ Utrecht Centrum voor Energieonderzoek (UCE)

² Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN)

³ Universiteit Utrecht, sectie NW&S

⁴ Ecofys

⁵ Luiten

Inhoudsopgave

Inleiding.....	4
Aanpak Verdieping	7
Pad: 1.1 Energiebesparing glastuinbouw	8
Pad: 1.2 Mini en micro WKK (Aardgas lokale micro WKK).....	19
Pad: 1.3 Waterstof stationair	35
Pad: 2.1 Papierindustrie.....	47
Pad: 2.2 Algen en wieren	55
Pad: 4.1 Rijden op aardgas (CNG voor mobiliteit)	71

Inleiding

Het Ministerie van Economische Zaken werkt aan de transitie naar een duurzame energiehuishouding. Op basis van marktconsultaties zijn vijf thema's voor die transitie benoemd: efficiënt en groen gas, groene grondstoffen, ketenefficiency, alternatieve motorbrandstoffen, duurzame elektriciteit. Elke thema bestaat op zijn beurt uit een aantal 'transitiepaden'. Voor elk van de genoemde vijf thema's zijn publiek-private platforms geformeerd. Deze hebben onder meer tot taak om de aangegeven transitiepaden verder te ontwikkelen (te 'verdiepen') en eventueel nieuwe paden te formuleren. EZ wil de platforms bij deze taak laten ondersteunen door het onderhavige onderzoek naar de verdieping van een beperkt aantal transitiepaden.

In overleg met de Platformvoorzitters zijn door het Ministerie van EZ de volgende transitiepaden uitgekozen voor nadere verdieping:

Thema 1: Nieuw Gas (voorheen: Efficiënt en Groen Gas)

- 1.1 Energiebesparing Glastuinbouw
- 1.2 Aardgas lokale micro WKK
- 1.3 Waterstof stationair

Thema 2: Ketenefficiency

- 2.1 Papier industrie
- 2.2 Algen en Wieren

Thema 3: Groene Grondstoffen*

- 3.1 Bio-ethanol
- 3.2 Witte biotechnologie
- 3.3 Pyrolyse

Thema 4: Alternatieve motorbrandstoffen

- 4.1 CNG voor mobiliteit

** In de loop van het onderzoek is in overleg met de opdrachtgever afgesproken om de onderwerpen van thema 3, Groene Grondstoffen, na de eerste inventarisatie niet verder te verdiepen. De reden hiervoor is dat het Platform Groene Grondstoffen begin oktober 2005 heeft besloten tot geheel andere indeling van het thema, waarbij deze kleinere paden opgaan in een groter geïntegreerd pad. Hiervan zijn de contouren bekend, maar het pad dient nader te worden uitgewerkt. Het leek het team daarom niet zinvol aan deze drie oorspronkelijke kleine paden nog een verdere verdieping te geven.*

Werkproces

Het onderzoek bestond uit vier onderdelen: (1) inventarisatie van het beschikbare materiaal, (2) verdieping van de paden, (3) opstellen van een analysemethode en (4) de eindrapportage.

Er zijn diverse gesprekken gevoerd met "stakeholders" van de verschillende paden en er heeft per pad een literatuurstudie plaatsgevonden.

De verdieping van de transitiepaden en de uitwerking van het analysekader zijn tot stand gekomen in een iteratief proces. Vandaar ook dat de structuur van de beschrijving van de paden niet overeenkomt met de uiteindelijke vorm van het analysekader. Indien de gesprekken met de stakeholders waren gedaan met de eindversie van het analysekader, in plaats van met een tussenversie, waren de gesprekken wellicht scherper gestructureerd geweest en nog nuttiger geweest voor de verdieping van de transitiepaden. Anderzijds is het een voordeel

gebleken voor de uitwerking van het analysekader: door eerste versies van het analysekader meteen toe te passen in de praktijk werd snel duidelijk wat wel en niet goed toepasbaar was. Hierdoor is de kwaliteit van het uiteindelijke kader waarschijnlijk beter dan het geval was geweest bij gescheiden ontwikkeling en toepassing.

Team

Het onderzoek werd uitgevoerd door een consortium bestaande uit medewerkers van ECN, Ecofys, sectie NW&S van de Universiteit Utrecht en mevr. Luiten, en stond onder leiding van het Utrecht Centrum voor Energieonderzoek (UCE).

Aanpak Verdieping

Tijdens de verdieping van de paden is door het team tegelijkertijd gewerkt aan het nieuwe analysekader. Dit heeft tot gevolg gehad dat de verdieping van de hiernavolgende zes paden is gemodelleerd op een tweede versie van het kader. Het kader zoals gepresenteerd in deel 1 van het eindrapport is de derde en definitieve versie. Om verwarring te voorkomen zijn daarom bij de beschrijvingen van de verschillende paden ook de vragen van de toen gebruikte versie kort opgenomen.

Indicatoren

Om de zwakke en sterke punten van de diverse paden beter in kaart te brengen wordt er gebruik gemaakt van indicatoren. Aan het eind van elk pad worden deze indicatoren in een overzicht weergegeven. Bij het bepalen van de indicatoren kunnen onzekerheden optreden. Per indicator wordt daarom kwalitatief aangegeven wat de onzekerheid is. Hiertoe zijn drie categorieën gedefinieerd (zie onderstaande tabel).

Onzekerheden in indicatoren

Categorie 1	Zeker, gebaseerd op harde, betrouwbare gegevens
Categorie 2	Minder zeker, gebaseerd op weinig betrouwbare gegevens
Categorie 3	Onzeker, gebaseerd op ruwe gissingen en expert oordelen

Thema 1: Efficiënt en Groen Gas

Pad: 1.1 Energiebesparing glastuinbouw

Auteur: Rogier Coenraads, Ecofys

1. Globale beschrijving van het transitiepad.

Het transitiepad Glastuinbouw behelst een ambitie op sectorniveau i.p.v. de ontwikkeling van een bepaalde technologie. De ambitie is dat vanaf 2020 alle nieuwbouwkassen in Nederland geen gebruik meer maken van fossiele brandstoffen.

Het primaire energieverbruik van de glastuinbouw in Nederland is circa 123,7 PJ per jaar (2003) [4, 1]. Hiervan is de overgrote meerderheid aardgas (85,7% (2002)). De overige bronnen zijn olie (0,5% (2002)), warmte van derden (9,8% (2002)) en elektriciteit (4,0% (2002)) [1].

De volgende doelstellingen zijn voor de glastuinbouwsector geformuleerd:

2010:

In 2010 moet op sectorniveau de energievraag voor 4% worden ingevuld door duurzame energie (aanvullend convenant GLAMI) [1].

In 2010 moet de energie-efficiëntie index (t.o.v. 1980) met 65% zijn verbeterd (convenant GLAMI) [1].

2020:

De ambitie van energietransitie glastuinbouw is om "vanaf 2020 bij nieuwbouw van kassen de benodigde energie nagenoeg volledig te betrekken uit duurzame energiebronnen" [1].

2050:

Er is binnen de energietransitie glastuinbouw geen ambitie voor 2050 gedefinieerd.

Binnen de energietransitie glastuinbouw is een aantal deelpaden met streefbeeld (2010) en ambities (2020) geformuleerd [3]:

a. Kas als Energiebron

a.1 Energieproducerende kas

Ambitie 2020

- Energieproducerende kassystemen worden toegepast op 10 % van het areaal

Streefbeeld 2010

- 3 bedrijven passen het fiwihex systeem toe op in totaal 10 ha
- 2 bedrijven passen ieder een ander systeem toe, voortgekomen uit de call for tender (energieprijsvraag) op 5 ha

a.2 Energiearme kas en concepten

Ambitie 2020

- De warmtebehoefte van nieuw te bouwen kassen is gedaald naar gemiddeld 30 a.eq./m²; 70 % daarvan kan worden geleverd door gebruik te maken van zonnewarmte.

Streefbeeld 2010

- Er is ruime ervaring met het telen in gesloten cq semi-gesloten kassen en resterende knelpunten zijn duidelijk;
- Teeltconcept en klimaatsysteem zijn geoptimaliseerd;
- Andere kasdekmaterialen die leiden tot minder warmteverlies en een lagere koellast zijn geïntroduceerd

b. Aardwarmte

Ambitie 2020

- Aardwarmte wordt bij 5 % van het areaal in 2020 toegepast; daarmee wordt in 2 % van het totale energieverbruik glastuinbouw voorzien

Streefbeeld 2010

- Eén voorbeeldproject met aardwarmte in een cluster van glastuinbouwbedrijven is gerealiseerd

c. Biomassa

Ambitie 2020

- Gegeven belichting op 50 % van het areaal (circa 5.000 ha belichting) wordt 30 % van de zelf opgewekte elektriciteit geleverd door bio-WKK
- 5 % van het energieverbruik in verwarmingsketels wordt ingevuld met bio olie

Streefbeeld 2010

- 4 % van door telers opgewekte elektriciteit voor belichting (circa 2.000 MWe) komt uit Bio-WKK
- Op 5 % van het areaal wordt bio-olie toegepast ter vermindering van piekvraag aan warmte
- Afhankelijk van de marktsituatie en technologie ontwikkeling is er duidelijkheid over de preferente technologie en benodigde vervolg acties voor het bereiken van het ambitieniveau 2020;

d. Energiearme rassen

Ambitie 2020

- In 2020 is bij gewassen met een hoge energievraag (paprika en tomaat samen 2.000 ha) het gebruik met 5 m³ /m² afgenomen
- Energie heeft blijvende aandacht in veredelingsprogramma's

Streefbeeld 2010

- Voor paprika en tomaat is nieuw energiezuinig uitgangsmateriaal beschikbaar voor veredelaars om in hun eigen lijnen in te kruisen.
- Minimaal twee siergewassen hebben door klassieke veredeling rassen ontwikkeld met een duidelijk lagere energievraag.

e. Energie efficiënt licht

e.1 Maximaal gebruik natuurlijk licht

Ambitie 2020

- 50 % van de nieuw te bouwen kassen hebben een hogere lichttransmissie (5 % meer fotosynthese licht (PAR) en houden 30 % van de warmtestraling buiten

Streefbeeld 2010

- Andere kasdek-materialen (inclusief coatings en schermen) die leiden tot een lagere koellast zijn geïntroduceerd
- Minimaal twee nieuwe kasdek-materialen met 5 % meer lichttransmissie worden in een praktijksituatie gedemonstreerd

e.2 Energie-efficiënt groeilicht

Ambitie 2020

- Voor het benodigde groeilicht is 40% minder primaire energie nodig dan in 2004;
- Deze efficiënte manier van belichten wordt op 50% van het belichte areaal (5.000 ha) toegepast;

Streefbeeld 2010

- Er is een nieuw efficiënter lamconcept beschikbaar; dit kan op basis van LEDs (light emitting diodes) of op basis van een door ontwikkeling van de nu veel toegepaste SON -T lamp.
- Warmtekrachteenheden met een hoog elektrisch rendement (bijvoorbeeld op basis van brandstofcellen) komen tussen 2010 en 2015 commercieel beschikbaar voor de glastuinbouw.

2. Wat kan het beschreven transitiepad ten minste en ten hoogste bereiken in de context van de Nederlandse energiehuishouding op langere termijn (2020, 2050)?

Bij deze vraag gaat het om het *bruto* effect van het pad op de energievoorziening. Het gaat hier dus *niet* om de netto energiebesparing of vermeden fossiele energie. Deze vraag is uitgesplitst in een *technisch* potentieel en een *marktpotentieel*. Voor de inschatting daarvan zijn enkele algemenere gegevens nodig

2.1 Algemeen

Door energiebesparing zal het gebruik van fossiele brandstoffen in de glastuinbouw sterk gereduceerd worden, met name het gebruik van aardgas in WKKs

De ambitie kan alleen gerealiseerd worden als er voldoende afzetmogelijkheden zijn voor restwarmte in sectoren buiten de glastuinbouw. Er is in die zin concurrentie met andere leveranciers van restwarmte (bijv. de industrie). Of er daadwerkelijk concurrentie optreedt is lokatiegebonden.

2.2 Technisch potentieel voor 2020

Het technisch potentieel omvat:

- Het potentieel wanneer het pad volledig gebruikt wordt voor alle opties c.q. toepassingen waarvoor ze technisch geschikt is.
- Rekening wordt gehouden met fysieke beperkingen (bijvoorbeeld de maximale biomassa-import, de maximale ruimte op de Noordzee, etc.)

Het huidige primair energieverbruik glastuinbouw is 123,7 PJ/jaar, waarvan 107 PJ/jaar aardgas. Ambitie is dat vanaf 2020 het eigen verbruik van fossiele brandstoffen van alle nieuwbouwkassen nul is. Er zal nog steeds aardgas gebruikt worden, maar de energie-inhoud komt er in de vorm van elektriciteit en warmte weer uit en is beschikbaar voor derden.

Technisch potentieel 2020: 124 PJ/jaar

➤ Indicator 1 = 4

2.3 Technisch potentieel voor 2050

Voor 2050 zijn geen gedetailleerde ramingen beschikbaar. Daarom werken we met een kwalitatieve inschatting van de ontwikkelingen tussen 2020 en 2050, om zo aan te geven of de potentiëlen groter of kleiner worden.

Technisch potentieel 2050: 124 PJ/jaar

➤ Indicator 2 = 4

2.4 Marktpotentieel 2020

Bij inschatting van het marktpotentieel gaat het om een kwalitatieve inschatting van het potentieel van het pad in markten waar het kan concurreren met de huidige referentie(s) en andere opties.

Ambitie en verwachting is dat in 2020 energieproducerende kassen op 10% van het areaal daadwerkelijk worden toegepast.

Marktpotentieel 2020 = 10% * technisch potentieel = 12 PJ/jaar

➤ Indicator 3 = 0,8

2.5 Marktpotentieel 2050

Bij de inschatting van het marktpotentieel voor 2050 gaat het vooral om op lange termijn te voorziene veranderingen in de aspecten die in 3.4 genoemd zijn.

400 à 500 ha nieuwbouw per jaar; in circa 15 jaar alle conventionele kassen vervangen door nieuwbouwkassen, dus in 2035 zijn alle kassen vervangen.

Marktpotentieel 2050 = technisch potentieel = 124 PJ/jaar

- Indicator 4 = 8

3. Bijdrage aan de verduurzaming van de energiehuishouding

Bij de bijdrage aan de verduurzaming van de energievoorziening kijken we naar vier aspecten:

- De *netto* vermeden primaire energie;
- De *netto* vermeden emissie van broeikasgassen
- De mogelijke andere (positieve of negatieve) milieu-effecten van het pad;
- De kans op stapsteen- en lock-in effecten.

Al deze effecten baseren we op het technisch potentieel voor 2020 (of, als het pad op langere termijn gericht is, 2050). Bovendien moeten de *netto* effecten niet alleen worden gebaseerd op een vergelijking met ontwikkelingen in de huidige referentie, maar op met andere toekomstige opties voor verduurzaming in de betrokken sector(en).

3.1 Netto vermeden primaire energie 2020

Bij de *netto* vermeden primaire energie gaat het om de *netto* verlaging van het energieverbruik ten opzichte van de referentie en andere ontwikkelingen.

Aanname primair energieverbruik in 2020 (10% energieproducerende kassen): $90\% * 124 \text{ PJ/jaar} = 112 \text{ PJ/jaar}$

Referentie (huidige situatie van open kassen): 124 PJ/jaar. De *netto* vermeden primaire energie 2020 is 12 PJ/jaar

- Indicator 5 = 0,8

3.2 Netto vermeden broeikasgasemissies 2020

Voor de *netto* vermeden broeikasgasemissies zijn niet alleen de vermeden emissie van CO_2 in rekening gebracht, maar ook die van de belangrijkste andere broeikasgassen, zoals methaan, CFK's en anderen.

Aanname primair energieverbruik in 2020 (10% energieproducerende kassen): $90\% * 124 \text{ PJ/jaar} = 112 \text{ PJ/jaar}$

Referentie (huidige situatie van open kassen): 124 PJ/jaar

De *netto* vermeden primaire energie 2020 is 12 PJ/jaar, de *netto* vermeden CO_2 is $12 \text{ PJ/jaar} * 0,047 \text{ Mton CO}_2/\text{PJ} = 0,57 \text{ Mton CO}_2/\text{jaar}$

- Indicator 6 = 0,3

3.3 Mogelijke andere (positieve of negatieve) milieu-effecten

Ook bij het bepalen van de andere positieve of negatieve milieu-effecten is het van belang om de prestaties van het pad te vergelijken met die van de (toekomstige) referentie.

Het belangrijkste milieu-effect is de uitstoot van NO_x en SO₂ door gasgestookte WKKs. Energiebesparingsmaatregelen (bijv. gesloten kassen, energiearme rassen) zorgen voor een afname van het gasgebruik door WKKs. De verwachte toename van het belichte areaal zal ertoe leiden dat deze reductie minder sterk is.

=> Beperkte reductie van NO_x en SO₂: +1
➤ Indicator 7 = 6

3.4 Stapstenen en lock-ins

Het potentieel van het pad wordt ook sterk bepaald door de mate waarin het pad past binnen andere te voorziene ontwikkelingen. Is het pad een goede tussenstap richting nog ingrijpende vernieuwingen, of zorgt het juist voor lock-in effecten die fundamentele vernieuwingen zullen belemmeren?

Aangezien het pad energiebesparing glastuinbouw een pad op sectorniveau is, kan het als een pad worden beschouwd zonder directe sterke links met andere technologieën of energietransitiepaden. Er zijn noch stapstenen noch lock-ins geïdentificeerd.
➤ indicator 8 = 5

4. Effect op de voorzienings- en leveringszekerheid

Voor dit onderdeel worden vijf criteria voorgesteld:

- Het effect op de vraag naar energiebronnen
 - Het effect op het aandeel fossiele bronnen in de energievoorziening
 - Het effect op het aandeel import van bronnen in de energievoorziening
 - Het effect op het energie-portfolio: de mate waarin het pad bijdraagt aan een verdere spreiding over de verschillende fossiele en hernieuwbare energiebronnen
 - Het effect op de stabiliteit en belastbaarheid van het elektriciteitsnet
-
- a. 2020: het pad leidt tot een netto energiebesparing < 100PJ/jaar: 2 punten
2050: het pad leidt tot een netto energiebesparing > 100PJ/jaar: 4 punten
 - b. Het pad beoogt een sterke reductie van het aandeel fossiele brandstoffen: 2 punten
 - c. Het pad leidt tot een sterke reductie van de benodigde hoeveelheid aardgas: 0 punten (2020) en 1 punt (2050)
 - d. Het pad zal leiden tot een lichte verschuiving in bronnen door de inzet van aardwarmte, biomassa en PV: 1 punt
 - e. Bij grote clustergebieden kan een grote concentratie aan WKKs worden verwacht. Anderzijds kunnen WKKs snel aan en uit worden gezet, afhankelijk van de vraag. Netto wordt er noch een gunstig noch een ongunstig effect op de netstabiliteit verwacht: 0 punten
 - f. 2020: 5 punten
2050: 8 punten
- Indicator 9 = 7

5. Aansluiting bij internationale kennis- en marktontwikkelingen

Veel transitiepaden zijn afhankelijk van R&D-inspanningen of marktontwikkelingen op Europees of mondiaal niveau. Het is daarom belangrijk om een beeld te krijgen van de internationale ontwikkelingen op dit gebied. Andere zijn een puur Nederlandse aangelegenheid, waarbij dat minder van belang is.

Bovendien is het een belangrijke vraag of het transitiepad nieuwe business-opportunities kan opleveren voor het Nederlandse bedrijfsleven.

5.1 Kansen voor het bedrijfsleven

Om dit te verkennen werken we met de onderstaande tabel. Deze is ingevuld voor het pad als geheel of, wanneer het pad een aantal verschillende componenten of technologieën bevat, per component.

Energieproducerende kassen/gesloten kassen

1	2	3				
Status vd techniek	Nationaal / mondiaal?	Nederlandse positie en kansen wat betreft				
		Kennisinfra	Bedrijfsleven	toeleveranciers	markt	Infrastruct.
Concept						
R&D	Nationaal	1	1	1	1	1
Pilot-fase	Nationaal	1	1	1	1	1
Near-to-market	Nationaal	1	1	1	1	1
Bestaand	Nationaal	1	1	1	1	1

➤ Indicator 10 = 10

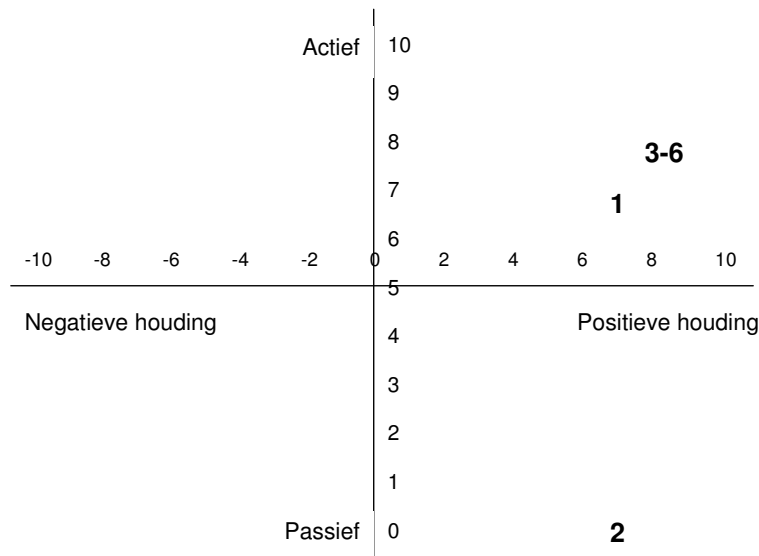
5.2 Risico's door afhankelijkheid van buitenlandse ontwikkelingen

De robuustheid van het pad wordt in hoge mate bepaald door de mate waarin het pad afhankelijk is van internationale ontwikkelingen, en natuurlijk door de mate waarin die ontwikkelingen er florissant uitzien.

➤ Indicator 11 = 10

6. Draagvlak bij de meest relevante stakeholders

Voor een inventarisatie van het krachtenveld gebruiken we een krachtenveld-analyse. Grafisch weergegeven in de onderstaande grafiek.



Stakeholder	gewicht
1 Tuinders	30
2 Toeleverende industrie	10
3 Productschap Tuinbouw	30
4 LTO	10
5 LNV	10
6 Wageningen UR	10

Op basis van de bovenstaande gewichten wordt de eerste indicator bepaald.

- Indicator 12 = 8

7. Kosten en baten van het transitiepad

De kosten van een transitiepad zijn over het algemeen nog niet goed in te schatten. Daarvoor zijn het tenslotte transitiepaden. Om toch enigszins grip te krijgen op de kosten maken we een kwalitatieve inschatting van de belangrijkste kostencomponenten:

- R&D-kosten (voor de ontwikkeling van de optie)
- Implementatiekosten (om de optie door een leercurve te krijgen en zo de kosten te verlagen)
- Een structurele onrendabele top in vergelijking met concurrerende opties.

Uiteraard zijn deze kosten nog niet goed te schatten. Daarom proberen we er op een meer kwalitatieve manier een ordegrootte aan te geven. Let hierbij ook op de *kwaliteit* van de gegevens die beschikbaar zijn.

- R&D kosten circa 5 - 10 miljoen euro per jaar (inschatting PT en WUR): 5 punten
- Lastig om vraag te beantwoorden. Schatting: 1 punt
- Wil de glastuinbouw in Nederland overleven, dan zal het transitiepad moeten slagen met als voorwaarde dat er op termijn geen onrendabele top is: 3 punten

- Indicator 13 = 9

8. (Noodzakelijk) draagvlak van de burger

Voor dit criterium kijken we naar drie onderdelen:

- Publieke perceptie van het pad in algemene zin (bijvoorbeeld: waterstof is schoon, maar explosief);
- Mogelijke weerstanden op lokaal niveau (NIMBY), bijvoorbeeld weerstand tegen vulstations);
- Vereiste gedragsverandering van de burger (bijvoorbeeld bereidheid om bi-fuel auto te rijden en aardgas te tanken).

aspect		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1: Perceptie algemeen	Negatief								x			Positief
2: Perceptie lokaal	Negatief						x					Positief
3: Gedragsverandering	Veel (neg)										x	Weinig (pos)

1. Perceptie algemeen: overgang van energieslurpende sector naar energiezuinige/-energieproducerende sector doet het imago van de sector goed
2. Perceptie lokaal: idem perceptie algemeen, met het verschil dat in geval van inzet van biomassa lokaal het draagvlak minder kan zijn
3. Gedragsverandering: er is geen gedragsverandering van de burger nodig

➤ Indicator 14 = 9


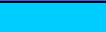

9. Vereiste beleidsmaatregelen

Voor de overheid is het van belang te weten in hoeverre de realisatie van het pad afhankelijk is van beleidsmaatregelen, en verder wat dan de belangrijkste vereiste maatregelen zijn. (zie bij 10)

10. Aggregatie van de resultaten

Aspect	Laag (neg.)						Hoog (pos.)			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2. Potentieel										
Indicator 1: Technisch 2020										
Indicator 2: Technisch 2050										
Indicator 3: Markt 2020										
Indicator 4: Markt 2050										
3. Bijdrage verduurzaming										
Indicator 5: Netto besparing prim. energie										
Indicator 6: Netto besparing broeikasgas										
Indicator 7: Andere milieu-effecten										
Indicator 8: Stepping stone en lock-in										
4. Bijdrage voorzieningszekerheid										
Indicator 9: Voorzieningszekerheid										
5. Stadium van de techniek										
Indicator 10: Kansen voor bedrijfsleven										
Indicator 11: Risico, afhankelijkheid buitenland										
6. Stakeholders										
Indicator 12: Draagvlak bij stakeholders										
7. Kosten, baten (relatief)										
Indicator 13: Kosten										
8. Burger										
Indicator 14: Draagvlak bij de burger										
9. Beleid										
Zie onderstaand kader										

Knelpunt	Beleidsmaatregel	Afhankelijkheid (hoog/laag)
Economisch	Financiële stimulering pilot projects, EIA	Hoog
Vicieuze cirkel: hoge energieprijzen -> geen winst -> geen EIA	Introductie financiële stimuleringsinstrumenten voor investering in energiebesparing die niet afhankelijk zijn van winst	Medium
Reductie CO2 levert nu niets op	Glastuinbouw onderbrengen in systeem van emissiehandel	Laag
Verschillende bevoegde instanties vergunningen (bio-WKK: provincie; aardwarmte: Rijk)	Eén loket voor vergunningaanvragen	Laag

Toelichting kleuren:	
	Zeker, gebaseerd op harde, betrouwbare gegevens
	Minder zeker, gebaseerd op weinig betrouwbare gegevens
	Onzeker, gebaseerd op ruwe gissingen en expert judgement

Bronnen:

1. van der Knijff, A., Benninga, J., Reijnders, C., Energie in de glastuinbouw van Nederland, ontwikkelingen in de sector en op de bedrijven t/m 2003, LEI, Den Haag, september 2004
2. Productschap Tuinbouw (Energiebureau), LTO Nederland Vakgroep Glastuinbouw, Duurzame energie glastuinbouw 2002 - 2020, beleidsvisie energietransitie, Zoetermeer, september 2002
3. Productschap Tuinbouw, LTO Nederland Vakgroep Glastuinbouw, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Energietransitieprogramma glastuinbouw, achtergrond en resultaten 2003/2004, streefbeelden 2010 en jaarplan & begroting 2005, Zoetermeer, januari 2005
4. Nienhuis, J., van der Knijff, A., van der Meer, R., Duurzame energiemonitor glastuinbouw 2003, LEI, Den Haag, februari 2005

Thema 1: Efficiënt en Groen Gas

Pad: 1.2 Mini en micro WKK (Aardgas lokale micro WKK)

Auteur: Marc Londo (ECN)

Globale beschrijving van het transitiepad

Het pad mini- en micro-WKK richt zich op de introductie van kleinschalige systemen voor het opwekken van warmte en kracht, op woningblokniveau (mini-WKK, elektrisch vermogen tot ca 60 kW_e) of woningniveau (micro-WKK, elektrisch vermogen tot maximaal 5 kW_e). In de discussie krijgt micro-WKK momenteel de meeste aandacht. Daarom richt deze analyse zich op micro-WKK.

Het pad bevat een aantal stappen die in dit assessment ook worden onderscheiden:

1. Stand-alone-systemen: De introductie van WKK-systemen die gestuurd worden door de warmtevraag: in feite de opvolger van de huidige hoogrendement ketel (HR-ketel) die bij het verwarmen van de woning ook elektriciteit opwekt. Deze wordt binnenshuis gebruikt, eventuele elektriciteitsoverschotten worden teruggeleverd of 'geparkeerd' op het net. Deze optie kan doorgroeien tot een systeem dat gestuurd wordt door de (eigen) elektriciteitsvraag, met als randvoorwaarde dat deze warmtegelimiteerd is. De systemen bevatten dan een warmtebuffer, waardoor productie en inzet van warmte in de woning (deels) ontkoppeld worden. Hierdoor, en eventueel door de toevoeging van elektriciteitsopslag, kan het eigen gebruik van elektriciteit gemaximaliseerd worden.
2. De Virtual Power Plant (VPP): De introductie van WKK-systemen die extern gestuurd worden door de centrale elektriciteitsvraag. De systemen bevatten een (grotere) warmtebuffer, waardoor productie en inzet van warmte in de woning sterker ontkoppeld worden: een groot aantal van deze WKK's, al of niet virtueel gekoppeld aan andere decentrale opwekkers en vragers van elektriciteit (PV-cellen, warmtepompen) en al of niet geografisch geconcentreerd (bijvoorbeeld in een wijk of stad) vormen een virtuele elektriciteitscentrale. In een virtuele centrale opereren de lokale opwekkers en vragers van elektriciteit zodanig in onderlinge samenhang met elkaar dat ze zich naar de buitenwereld als één entiteit (centrale) kunnen presenteren. Zo'n virtuele centrale kan voor verschillende doeleinden worden gebruikt, bijvoorbeeld om maximaal te renderen op de handelsmarkt of om het lokale netwerk te ontlasten. Hiermee vervangen de WKK's dus ook een volwaardige, stuurbare elektriciteitscentrale en vanwege het decentrale karakter van de optie kan ook (lokale) netverzwaring worden vermeden.
3. De WKK als elektriciteits- en gasconverter. Door, op langere termijn, de reversibele brandstofcel te introduceren in micro-WKK kan de VPP ook op een andere manier dienen als opvang bij overcapaciteit aan elektriciteit (denk aan 's nachts draaiende windparken): de WKK kan stroom omzetten in waterstof, dat terugleveren aan het gasnet¹ en omgekeerd. Op deze manier levert het systeem een bijdrage aan de uitwisselbaarheid tussen gas- en elektriciteitsnet en de stabiliteit van beide. Hiermee vervangen de WKK's dus andere technieken om elektriciteit te bufferen, zoals netverzwaring, opslag in luchtdruk of in Noorse stuwmeren of in de vorm van waterstof via conversie op centraal niveau.

Op al deze terreinen spelen ook andere innovatieve ontwikkelingen. Voor ruimteverwarming is bijvoorbeeld de (elektrische of gas)warmtepomp een concurrent, terwijl bij het realiseren van de VPP de elektrische warmtepomp ook een complementaire 'bondgenoot' kan zijn vanwege diens decentrale elektriciteitsvraag. De VPP moet concurreren met centrales waar nog enige rendementverbetering te verwachten is. Ook rond de buffering van elektriciteit (van belang bij een toename van intermitterende bronnen zoals windmolens) bij de micro-WKK met reversibele brandstofcel spelen diverse concurrerende ontwikkelingen, waarbij het de vraag is hoe deze

¹: Uitgangspunt hierbij is dat dit net dan ofwel een aardgasnet is waarin waterstof kan worden bijgemengd, ofwel een specifiek waterstofnet.

systemen zullen presteren in de concurrentie met andere opties. Tevens zijn de energiebesparing en de emissiereductie van broeikasgassen sterk afhankelijk van de ontwikkeling van het centrale productiepark (rendement en emissiecoëfficiënt, bijvoorbeeld in relatie tot de ontwikkelingen rond centrale CO₂-opslag) en de mogelijke introductie van duurzaam, CO₂-emissievrij gas.

2. Wat kan het beschreven transitiepad ten minste en ten hoogste bereiken in de context van de Nederlandse energiehuishouding op langere termijn (2020, 2050)?

Bij deze vraag gaat het om het *bruto* effect van het pad op de energievoorziening. Het gaat hier dus *niet* om de netto energiebesparing of vermeden fossiele energie (Dat is terug te vinden in sectie 3). Deze vraag is uitgesplitst in een *technisch* potentieel en een *marktpotentieel*. Voor de inschatting daarvan zijn enkele algemenere gegevens nodig

2.1 Algemeen

1. De warmtegedreven micro-WKK grijpt primair aan op de huishoudelijke warmte- en elektriciteitsvoorziening. Daarmee vervangt ze de huidige HR-ketel in combinatie met centrale stroomopwekking. Op langere termijn moet deze optie concurreren met de warmtepomp in combinatie met centrale stroomopwekking, met de zonnegascombi (een HR-ketel in combinatie met een zonneboiler) en met een HR-ketel geïntegreerd met een kleine gaswarmtepomp, waardoor er een 'rendement' tot circa 130% ontstaat. Daarnaast zorgt micro-WKK ook stand-alone voor afvlakking van de huishoudelijke piekvraag naar elektriciteit van het net.
2. De VPP grijpt ook aan op de sector elektriciteitsopwekking, waar in de toekomst rendementverbeteringen vallen te verwachten. Ook de CO₂-emissiecoëfficiënt van centrale opwekking kan naar beneden gaan, zeker als CO₂-afvang en opslag worden toegepast. De VPP zou mogelijk kunnen helpen om intermitterende grootschalige duurzame elektriciteit (wind op zee) te integreren in het elektriciteitssysteem en op die manier een groter aandeel duurzaam in het elektriciteitssysteem mogelijk te maken. Concurrenten voor deze toepassing zijn snel regelbare centrale opwekkers (gasgestookt) en elektriciteitsopslag.
3. De WKK als elektriciteits- en gasconverter zal ook concurreren met andere technieken waarmee elektriciteit en gas kunnen worden gebufferd.

2.2 Technisch potentieel voor 2020

Onder het technisch potentieel verstaan we het potentieel wanneer het pad volledig gebruikt wordt voor alle opties c.q. toepassingen waarvoor ze technisch geschikt is. Daarbij is wel rekening gehouden met fysieke beperkingen (bijvoorbeeld de maximale biomassa-import, de maximale ruimte op de Noordzee, etc.)

Technisch gezien kunnen alle huishoudens worden voorzien van micro-WKK, evenals een aantal verwarmingspunten in het MKB. Hier concentreren we ons op de huishoudens als grootste sector. In de Referentieramingen (Van Dril en Elzenga, 2005) wordt het energieverbruik in 2020 voor verwarming (hier even gelijk gesteld aan het totale gasverbruik van de huishoudens) op 300 PJ/j bepaald, waarvan naar schatting 10PJ uit stadsverwarming, dus 290 PJ via ketels op woningniveau. Voor micro-WKK rekenen we met een elektrisch rendement van 10%, een minimumrendement voor de Stirlingmotor, dat overigens kan doorgroeien tot ca 15%. Voor micro-WKK met een gasmotor liggen de rendementen wat hoger, tussen 20 en 25% en voor systemen met een brandstofcel weer hoger, tussen 30 en 40%. Dergelijke installaties leveren dus ook minimaal 30 PJ_e/j aan elektriciteit op, of ca 60 PJ/j aan vermeden primaire energie (bruto besparing, niet te verwarren met een netto besparing, die wordt in 3.1 berekend). Micro-WKK kan dan voor 350 PJ aan primaire energie gebruiken voor warmte en elektriciteit.

Dat betekent de maximale score van 10, de gegevens hiervoor zijn vrij betrouwbaar (categorie 1). Deze score wordt nog hoger wanneer gerekend wordt met hogere elektrische rendementen, zoals deze te verwachten zijn bij gasmotor en brandstofcel.

2.3 Technisch potentieel voor 2050

Voor 2050 zijn geen gedetailleerde ramingen beschikbaar. Daarom werken we met een kwalitatieve inschatting van de ontwikkelingen tussen 2020 en 2050, om zo aan te geven of de potentiëlen groter of kleiner worden.

Aannames:

- Micro-WKK is in alle woningen toepasbaar, bevolkingstoename en gezinsverduunning zijn hiervoor de bepalende factoren. Het (bruto) besparingseffect is afhankelijk van de warmtevraag.
- De belangrijkste ontwikkelingen tot 2020 zetten door: meer energiezuinige nieuwbouw, na-isolatie van bestaande woningen en een stijging van de gemiddelde buitentemperatuur. Hierdoor daalt de warmtevraag van huishoudens van ca 300 PJ in 2020 naar 250 PJ in 2050. Door gezinsverduunning daalt de warmtevraag per woning overigens sterker.
- Het vermogen van grootschalige WKK blijft constant
- Het gemiddelde elektrisch rendement van een (nieuwe) micro-WKK gaat, door introductie van de brandstofcel, omhoog naar 30% (met 60% thermisch rendement).

Op basis van deze berekeningen heeft micro-WKK een theoretisch potentieel van bijna 400 PJ_{primair} in 2050, waarvan ca 270 PJ_{primair} voor de opwekking van warmte, ca 130 PJ_{primair} voor de opwekking van elektriciteit.

Dat betekent ook hier de maximale score van 10, de gegevens hiervoor zijn minder betrouwbaar (categorie 2)

2.4 Marktpotentieel 2020

Bij inschatting van het marktpotentieel gaat het om een kwalitatieve inschatting van het potentieel van het pad in markten waar het kan concurreren met de huidige referentie(s) en andere opties. Dat hangt dus samen met het ontwikkelingspad en talloze aspecten rond de implementatie.

Het marktpotentieel is in dit geval vooral afhankelijk van:

- De mate waarop micro-WKK op prijs kan concurreren met HR in combinatie met stroom van het net (korte termijn) en mogelijk met de warmtepomp in combinatie met stroom van het net (middellange termijn). Voor de korte termijn heeft ECN berekend dat micro-WKK kan concurreren met HR wanneer de meerkosten niet meer dan € 1200-1500 per systeem bedragen. De terugverdientijd (waarbij ervan wordt uitgegaan dat alle elektriciteit zelf wordt verbruikt en dus besparing oplevert op de elektriciteitsinkoop) is dan ca 5 jaar (Ruijg, 2005). Belangrijk uitgangspunt hierbij is overigens dat de consumentenprijs van centraal opgewekte elektriciteit variabel blijft, en niet gedomineerd gaat worden door het vastrecht, iets dat volgens Van Gastel (2005) wel zou kunnen gebeuren (dat laatste zou buitengewoon ongunstig zijn voor micro-WKK, omdat de kosten voor elektriciteit van het net dan minder afhankelijk worden van de afgenomen hoeveelheid kWh). Overdiep (2005) geeft aan dat diverse producenten binnen afzienbare tijd (enkele jaren) de grens van maximaal € 1500 meerprijs denken te halen. Voor de concurrentie met de warmtepomp is een dergelijke analyse nog niet beschikbaar.
- De snelheid waarmee bestaande systemen vervangen kunnen worden. De gemiddelde afschrijvingstermijn voor CV-ketels is ca 15 jaar, momenteel worden er per jaar ca 400.000 CV-ketels verkocht. Micro-WKK zal dat volume niet in één keer over kunnen nemen maar groeit daar naartoe.
- De mate waarin micro-WKK inpasbaar is in woningen. De afmetingen zijn inmiddels sterk gereduceerd en zullen naar verwachting nog verder worden verkleind, maar op de spreekwoordelijke 'keuken-drie-hoog-achter-plaatsen' waar wel een compacte HR past kan de maatvoering een knelpunt blijven.
- De mate waarin de consument bereid is om het risico te nemen van een nieuwe techniek, met de bijbehorende onzekerheden over bedrijfszekerheid (van groot belang bij woningverwarming) en het voordeel ziet van de 'eigen' stroomopwekking.

Op basis hiervan doen we de volgende aannames:

- Tot 2020 is in de bestaande bouw de HR-ketel de concurrent van micro-WKK. Micro-WKK is in staat hiermee te concurreren en wordt een financieel aantrekkelijke optie. Voor nieuwbouw komt de elektrische warmtepomp steeds meer in zwang (zie ook gegevens van Ruijg (2005)), waardoor micro-WKK daar alleen in samenhang met de elektrische warmtepomp voet aan de grond krijgt.
- Tot 2020 worden vrijwel alle huidige ketels een keer vervangen.
- Dimensieproblemen en onzekerheid over bedrijfszekerheid zorgen voor een introductiecurve voor micro-WKK en warmtepomp vergelijkbaar met die van HR. Die heeft circa 30 jaar gedaan over volledige penetratie, op basis daarvan is een groei tot 50% in de verkoop van nieuwe ketels voor bestaande bouw voor 2020 voor micro-WKK niet onrealistisch. Gegeven de sterke concurrentie van de warmtepomp in nieuwbouw is de totale penetratie dan ca 40%. Naar schatting kan dan in 2020 in 20% van de woningen een micro-WKK systeem zijn geïnstalleerd.

Dit betekent een marktpotentieel voor 2020 van 60 PJ/jr, of een score van 4. De gegevens hiervoor zijn tamelijk onzeker, maar niet volledig uit de lucht gegrepen (categorie 2).

2.5 Marktpotentieel 2050

Voor de langere termijn is het te verwachten dat de HR-ketel volledig wordt weggeconcentreerd door micro-WKK en warmtepomp. Tegelijkertijd stijgt het elektrisch rendement voor micro-WKK mogelijk door toepassing van brandstofceltechnologie. Bovendien valt te verwachten dat de elektrische warmtepomp ook steeds meer in bestaande bouw kan worden toegepast. Daarnaast verwachten we op deze termijn steeds meer slimme, integrale warmte-oplossingen op basis van combinaties van micro-WKK en warmtepomp. Een goede mix van warmtepompen en microwarmtekrachteenheden in nieuwbouwwijken, bedreven als VPP, kan immers veel netwerkkosten besparen. Bij deze voorspelling houden we geen rekening met stap 3 van het transitiepad, de reversibele brandstofcel waardoor gas- en elektriciteitsnet met elkaar verbonden worden. De mate waarop deze optie kan concurreren met andere netstabilisatie- en piekopvangmaatregelen is nog zodanig onduidelijk dat daar geen gefundeerde uitspraak over kan worden gedaan.

Op basis van deze overwegingen gaan we ervan uit dat nog steeds ca 40% van alle nieuw verkochte systemen micro-WKK is. Aangezien tegen 2050 alle systemen wel een keer vervangen zijn bij een constant aandeel van micro-WKK van 40% in de verkoop, is het potentieel dan ca 40% van de decentrale warmtevraag van huishoudens. Dat komt neer op 130 PJ, of een score van 8. De betrouwbaarheid hiervan is beperkt, vooral om dat het om een voorspelling op zo lange termijn gaat (categorie 3).

3. Bijdrage aan de verduurzaming van de energiehuishouding

Bij de bijdrage aan de verduurzaming van de energievoorziening kijken we naar drie aspecten:

- De *netto* vermeden primaire energie;
- De netto vermeden emissie van broeikasgassen
- De mogelijke andere (positieve of negatieve) milieu-effecten van het pad;
- De kans op stapsteen- en lock-in effecten.

Al deze effecten baseren we op het technisch potentieel voor 2020 (of, als het pad op langere termijn gericht is, 2050). Bovendien worden de netto effecten niet alleen gebaseerd op een vergelijking met ontwikkelingen in de huidige referentie, maar op met andere toekomstige opties voor verduurzaming in de betrokken sector(en).

3.1 Netto vermeden primaire energie 2020

Bij de netto vermeden primaire energie gaat het om de netto verlaging van het energieverbruik ten opzichte van de referentie en andere ontwikkelingen

Bij realisatie van het technisch potentieel in 2020 (dat wil zeggen het volledig bedienen van de huishoudelijke warmtevraag) is de netto vermeden primaire energie berekend met de volgende aannames.

- Het totale technisch potentieel is 320 PJ/jaar (zie 2.1).
- Berekeningen van Ruijg (2005) geven de volgende besparingspotentiëlen (zie tabel), afhankelijk van de referentie voor centrale elektriciteitsopwekking (alleen aardgas of een mix van kolen, gas etc) en de WKK-techniek (stirlingmotor of gasmotor).
- Systemen op basis van de brandstofcel laten we hier buiten beschouwing omdat deze naar verwachting pas na 2020 tegen concurrerende prijzen op de markt zullen komen.

Referentie	Elektriciteitsmix (rend 42%)	Gascentrale (rend 54%)
Stirling	12%	8%
Gasmotor	22%	13%

In dit rapport stellen we het besparingspotentieel op 15% ten opzichte van HR en centrale opwekking. Daarmee komt de netto vermeden primaire energie op 50 PJ/jaar.

Op iets langere termijn, wanneer ook de warmtepomp doorbreekt, verandert dit beeld echter omdat deze dan ook een concurrent wordt van de HR-ketel. De elektrische warmtepomp kan binnen de termijn van 2020 met 1 GJ aan elektriciteit 3 GJ (omgevings)warmte transporteren en zo totaal 4 GJ aan warmte in een woning brengen, wanneer verbeteringen worden doorgevoerd als betere gelijkstroommotoren, betere start-stop karakteristieken en een betere regeling (Ruijg, 2005, Schaeffer, 2005). Rekenend op basis van primaire energie heeft de warmtepomp een 'rendement' van ca 200%.

In de onderstaande tabel is dan ook een vergelijking gemaakt tussen HR (met centrale opwekking) en micro-WKK (voor twee verschillende rendementverhoudingen) en de warmtepomp (met centrale opwekking). De volgende rendementen zijn aangenomen: 100% voor de HR en micro-WKK overall, centrale opwekking op basis van aardgas met een rendement van 54%. Vrij conservatieve schattingen, niet ongunstig voor micro-WKK. Elektriciteitsproductie op basis van aardgas is gekozen omdat daarmee de basis van alle systemen aardgas blijft, en omdat micro-WKK vooral piekvraag zal opvangen en daarmee gascentrales het meest zal vervangen. Ook voor de elektriciteitsvoorziening voor de warmtepomp is gerekend met een gasgestookte centrale met een rendement van 50%.

	Micro-WKK (10% e-rendement, 90% warmte-rendement)			Micro-WKK (20% e-rendement, 80% warmte-rendement)		
	HR + centrale opwekking	Micro-WKK	WP + centrale opwekking	HR + centrale opwekking	Micro-WKK	WP + centrale opwekking
Primaire energie voor warmte	90	90	45	80	80	40
Primaire energie voor elektriciteit	19	10	20	37	20	40
Totaal	109	100	65	117	100	80
Besparing	0%	8%	40%	0%	15%	32%

Uit de (indicatieve) voorbeeldberekeningen blijkt dat micro-WKK in vergelijking met de HR-combinatie energiebesparing oplevert van tussen de 8 en 15%. De elektrische warmtepomp bespaart echter meer ten opzichte van de HR-combinatie. Wanneer micro-WKK een overall elektrisch rendement haalt van boven de 33% levert ze een gelijke besparing op ten opzichte van de combinatie warmtepomp met centrale stroomopwekking. Dat elektrisch rendement is naar verwachting mogelijk door inzet van de brandstofcel in micro-WKK na 2020. Overigens is bij deze berekeningen geen rekening gehouden met verschillen in het opvangen van piekvraag naar warmte (bijvoorbeeld voor tapwater).

Rekenend met een gemiddeld elektrisch rendement van 20% voor micro-WKK leidt het technisch potentieel tot een besparing van 15% in vergelijking met de HR-combinatie, oftewel circa 50 PJ. Met de warmtepomp als referentie laat micro-WKK echter een potentieel aan besparing van zo'n 17% liggen (ook ongeveer 50 PJ per jaar). Het besparingspotentieel hangt dan per saldo af van diverse factoren, met name van de ontwikkelingen in de referentietechnologieën. Want ook innovatieve combinaties van HR-ketel met zonneboiler en kleinschalige warmtepomp leveren besparing op.

Op korte termijn zal micro-WKK goeddeels met HR concurreren en daarmee vergeleken een besparing opleveren. Zeker voor de bestaande bouw, waar de installatie van een warmtepomp lang niet overal mogelijk is, zal HR de referentie blijven voor micro-WKK. Op langere termijn, en dan beginnend met nieuwbouw, zal de warmtepomp een concurrerende optie worden, met overigens ook synergieën in op te zetten decentrale energiemanagementsystemen. Op basis van de bovenstaande inschattingen gaan we ervan uit dat er tot circa 2020 een besparing wordt gerealiseerd van enkele tientallen PJ/jaar. De score op deze indicator schatten we dan ook op 2. De betrouwbaarheid van deze inschatting is categorie 2.

3.2 Netto vermeden broeikasgasemissies 2020

Voor de netto vermeden broeikasgasemissies zijn niet alleen de vermeden emissies van CO₂ in rekening gebracht, maar ook die van de belangrijkste andere broeikasgassen, zoals methaan, CFK's en anderen.

Ruijg (2005) heeft het CO₂-besparingspotentieel van micro-WKK berekend met als referenties weer de HR-ketel met centrale elektriciteitsopwekking met de gangbare mix of met alleen aardgas:

Referentie	HR + Elektriciteitsmix (rend 42%)	HR+ Gascentrale (rend 54%)
Stirling	17%	8%
Gasmotor	31%	13%

De referentieramingen schatten voor 2020 de directe CO₂-emissies (door aardgasverbruik) voor de huishoudens op ca 18 Mton. Rekening houdend met de vermeden elektriciteitsproductie, en rekenend met een CO₂-reductie van 20% geeft het technisch potentieel voor 2020 een netto CO₂-emissiereductie van circa 4 Mton CO₂.

Diverse ontwikkelingen in referentietechnologieën kunnen dit potentieel echter beperken. Zo zal de elektrische warmtepomp in combinatie met centrale opwekking minstens even veel emissiereductie kunnen realiseren als micro-WKK. Bovendien is in deze berekeningen geen rekening gehouden met

afname van de CO₂-emissies in het centrale elektriciteitspark en vanuit de aardgasvoorziening. Daartoe bestaan diverse mogelijkheden, zoals

- Het afvangen van CO₂-emissies bij de centrale (fossiel-gebaseerde) elektriciteitsopwekking (wat negatief uitwerkt op de broeikasgasemissiereductie van micro-WKK in vergelijking met HR en elektrische warmtepomp);
- De verdere inzet van duurzame energie in de elektriciteitsmix (idem);
- De inzet van 'duurzaam gas', aardgas uit biomassa of waterstof uit fossiele bronnen met CO₂-afvang in de aardgasmix voor huishoudens (wat positief uitwerkt op de broeikasgasemissiereductie van micro-WKK en HR in vergelijking met de warmtepomp).

Per saldo maken deze ontwikkelingen het waarschijnlijk dat er uiteindelijk minder CO₂-emissiereductie wordt bereikt dan in de vergelijking met de huidige HR-combinatie. Daarom schatten we het potentieel op circa 2 Mton CO₂-equivalenten per jaar, oftewel een score van 2, met een betrouwbaarheid van categorie 2.

3.3 Mogelijke andere (positieve of negatieve) milieu-effecten

Ook bij het bepalen van de andere positieve of negatieve milieu-effecten is het van belang om de prestaties van het pad te vergelijken met die van de (toekomstige) referentie.

Andere effecten op het milieu zijn vooral gerelateerd aan het versterken van de decentrale opwekking van elektriciteit in plaats van centrale opwekking. Aan de ene kant kan micro-WKK leiden tot een toename van het aandeel aardgas in de elektriciteitsmix, een relatief schone brandstof in vergelijking met bijvoorbeeld kolen. Aan de andere kant zijn de emissies van een veelheid aan kleine puntbronnen op gas moeilijker te reduceren dan de emissies van een centrale gasgestookte unit. Bovendien zal de introductie van micro-WKK met *gasmotoren* leiden tot een hogere emissie van NO_x in vergelijking met centrale stroomopwekking en gasgestookte HR-ketels.

We gaan ervan uit dat in dit geval de voordelen globaal tegen de nadelen zullen opwegen. Op basis hiervan geven we het pad op dit onderdeel de gemiddelde score (5). De onzekerheden hierbij zijn aanzienlijk (categorie 3).

3.4 Stapstenen en lock-ins

Het potentieel van het pad wordt ook sterk bepaald door de mate waarin het pad past binnen andere te voorziene ontwikkelingen. Is het pad een goede tussenstap richting nog ingrijpende vernieuwingen, of zorgt het juist voor lock-in effecten die fundamentele vernieuwingen zullen belemmeren?

De positie van micro-WKK in toekomstige lange-termijn ontwikkelingen hangt van diverse factoren af, en vooral van het gewenste eindbeeld. Een aantal voorbeelden.

- Door inzet van kleinschalige systemen (zon-PV, windenergie) is er een beweging richting decentrale opwekking van elektriciteit. Hierdoor is ook extra capaciteit nodig om het net te stabiliseren. In dat beeld past de virtuele elektriciteitscentrale (variant 2) en de reversibele micro-WKK van stap 3. Er zijn dan slimme systemen mogelijk waar ook lokale elektriciteitsconsumerende apparaten zoals warmtepompen onderdeel van uitmaken. De benodigde extra capaciteit kan echter ook worden opgevangen door flexibele grootschalige opwekking op basis van aardgas in combinatie met netverzwaring. Waarschijnlijk is het goedkoper om te investeren in decentrale oplossingen die softwarematig gekoppeld zijn dan in extra fysieke infrastructuur. Micro-WKK past dus goed in een toekomst met een sterke rol voor decentrale opties.
- De kans dat er grote behoefte ontstaat aan opslag van elektriciteit en uitwisseling tussen stroom- en gasnet is niet ondenkbaar. Wat dat betreft past stap 3 van micro-WKK in de toenemende rol van intermitterende bronnen. Micro-WKK zal hierbij moeten concurreren met andere (grootschaliger) opties. Daarnaast is het omzetten van stroom naar gas een techniek die niet alleen in micro-WKK, maar ook centraal kan worden ontwikkeld. Het is nog onduidelijk hoe daarbij de concurrentieverhoudingen liggen, maar voor bijvoorbeeld het

bufferen van nachtelijke elektriciteit van grootschalige windparken op zee ligt het meer voor de hand de meest kosteneffectieve oplossing te zoeken in (hoofd)netverzwaren of centrale opslag dan in een fijn vertakt netwerk van reversibele micro-WKK's in huishoudens.

- De kwetsbaarheid van centrale opwekking versus de robuustheid van decentrale opwekking. Een argument dat Overdiep (2005) noemde was dat grootschalige opwekkingsunit kwetsbaarder zijn voor terrorisme en weersomstandigheden. Het gasnet, waar micro-WKK primair van afhankelijk is, is naar verwachting minder kwetsbaar, omdat de uitval van units beter omzeild kan worden en omdat de gasinfrastructuur voornamelijk onder de grond ligt.
- De noodzaak van sterke CO₂-emissiereducties. In een toekomstscenario waarin de broeikasgasemissies met tot 80% moeten worden gereduceerd, dient een systeem met decentrale WKK gesaneerd te worden door grootschalige inzet van aardgas uit biomassa of door inzet van waterstof in combinatie met CO₂-afvang en opslag (samen ook wel 'duurzaam gas' genoemd). In alternatieve systemen als stadsverwarming of de elektrische warmtepomp plus centrale opwekking zal de emissiereductie bestaan uit centrale CO₂-afvang en opslag. Beide opties (duurzaam gas en CO₂-opslag) zijn nog met onzekerheden en hoge kosten omgeven, al lijkt de introductie van centrale CO₂-opslag iets dichterbij te liggen dan de grootschalige introductie van aardgas uit biomassa of van klimaatneutrale waterstof. Wanneer de ambitie ligt in een klimaatneutrale toekomst met inzet van micro-WKK verdient duurzaam gas dus meer aandacht. .

Wat betreft lock-in effecten geldt dat micro-WKK momenteel eenvoudig in de bestaande infrastructuur kan worden ingepast. Bovendien hebben de ketels een levensverwachting van circa 15 jaar, waardoor ze bij de introductie van een betere optie ook vrij snel weer kunnen worden uitgefaseerd. Dat betekent dat op korte termijn weinig ongewenste lock-in effecten te verwachten zijn: wanneer bijvoorbeeld centrale CO₂-opslag een hoofdlijn van beleid wordt, en micro-WKK daardoor minder aantrekkelijk, is de energie-infrastructuur nog niet in een onomkeerbare situatie beland. De structurele inpassing van complexere systemen op basis van micro-WKK, dus stappen 2 en 3, kunnen wel leiden tot lock-ins, bijvoorbeeld wanneer de gehele energievoorziening zodanig raakt afgestemd op decentrale opwekking dat grootschalige centrale CO₂-mitigatie-opties slechts tegen hoge investeringen en versnelde afschrijvingen kunnen worden gerealiseerd.

Al met al kan gesteld worden dat het onzeker is in hoeverre micro-WKK stapstenen dan wel lock-ins bevat voor de toekomstige ontwikkelingen in de energiehuishouding van huishoudens. Het optreden van deze effecten is in hoge mate afhankelijk van het toekomstbeeld voor de energiehuishouding dat wordt nagestreefd en andere opties die daarbij worden ingezet.

Op basis van deze overwegingen kennen we micro-WKK geen positieve punten toe, maar ook geen negatieve. De score wordt dus 5, met een betrouwbaarheid van categorie 2.

4. Effect op de voorzienings- en leveringszekerheid

Voor dit onderdeel zijn vier criteria:

- Het effect op de vraag naar energiebronnen
Micro-WKK heeft een energiebesparingspotentieel, dat echter onzeker is vanwege de ontwikkeling van concurrerende opties. Een tweede-orde effect kan zijn dat micro-WKK, met name in Virtual Power Plants, de elektriciteitshuishouding meer geschikt maakt voor decentrale duurzame opties als zon-PV en kleinschalige windenergie. En stap 3 van het pad kan de inpassing van grootschalige intermitterende duurzame energie vergemakkelijken. Daarom op dit aspect 2 van de vier punten.
- Het effect op het aandeel fossiele bronnen in de energievoorziening
Met micro-WKK blijven huishoudens gebruik maken van (fossiel) aardgas voor hun verwarming, behalve als op termijn het aardgas wordt vervangen door synthetisch aardgas op basis van biomassa of op waterstof uit hernieuwbare bronnen. De afname van het fossiele energieverbruik is vooral afhankelijk van ontwikkelingen in de referenties. Daarom op dit aspect 1 punt.
- Het effect op het aandeel import van bronnen in de energievoorziening
Effecten op de import zijn minimaal tot 2020, omdat tot die tijd het meeste aardgas voor binnenlands gebruik in Nederland gewonnen zal worden. In de decennia daarna wordt Nederland steeds meer afhankelijk van gasimporten, energiebesparing door micro-WKK zal dan wel leiden tot minder import. Dit effect is echter onzeker, omdat zeker voorbij 2020 de mate van besparing met micro-WKK nog onduidelijk is. Daarnaast is er het tweede-orde-effect van micro-WKK dat decentrale duurzame opties beter mogelijk maakt, hetgeen ook tot importdalingen kan leiden. Al met al zijn de effecten te beperkt om hier een punt voor te geven.
- Het effect op het energie-portfolio: de mate waarin het pad bijdraagt aan een verdere spreiding over de verschillende fossiele en hernieuwbare energiebronnen
Micro-WKK leidt niet direct tot verdere spreiding over bronnen, zelfs enigszins tot een toename van het (toch al dominante) aandeel aardgas. Wel levert het meer mogelijkheden voor duurzame energie, en daarmee een verbreding van het portfolio. Omdat het hierbij om een tweede-orde effect gaat hier 0 punten.
- Het effect op de stabiliteit en belastbaarheid van het elektriciteitsnet
Stap 1 van micro-WKK (stand-alone optie met af en toe teruglevering van stroom aan het net) zal de centrale voorziening ontlasten, omdat in die optie micro-WKK weliswaar geen *stuurbare*, maar wel een goed *voorspelbare* decentrale elektriciteitsbron is die piekvraag helpt opvangen. Stappen 2 en 3, de VPP en de gas-stroomconverter, hebben de mogelijkheid om de netstabiliteit te vergroten, al is het nog niet zeker dat deze optie kosteneffectiever is dan andere vormen van stroomopwekking en opslag van elektrische energie. Als laatste overweging: de introductie van de elektrische warmtepomp leidt tot een sterkere decentrale vraag naar elektriciteit en dus tot een zwaardere belasting van het net bij decentrale invulling van deze vraag. Micro-WKK kan deze decentrale vraag dan helpen bufferen, omdat beide opties bijna per definitie gelijk zullen worden ingezet (namelijk bij kouder weer en wanneer mensen thuis zijn). Zo kunnen de warmtepomp en micro-WKK dus complementair aan elkaar zijn. Daarom 2 punten.

De totaalscore op dit aspect komt hiermee uit op 5 punten, met een betrouwbaarheid van categorie 2.

5. Aansluiting bij internationale kennis- en marktontwikkelingen

Veel transitiepaden zijn afhankelijk van R&D-inspanningen of marktontwikkelingen op Europees of mondiaal niveau. Het is daarom belangrijk om een beeld te krijgen van de internationale ontwikkelingen op dit gebied. Andere zijn een puur Nederlandse aangelegenheid, waarbij dat minder van belang is.

Bovendien is het een belangrijke vraag of het transitiepad nieuwe business-opportunities kan opleveren voor het Nederlandse bedrijfsleven.

5.1 Kansen voor het bedrijfsleven

Om dit te verkennen werken we met de onderstaande tabel. Deze is ingevuld voor het pad als geheel of, wanneer het pad een aantal verschillende componenten of technologieën bevat, per component.

Micro-WKK met een Stirlingmotor is vrijwel klaar voor de markt: Overdiep (2005) geeft aan dat deze systemen in 2006 op de markt komen. Het is een systeem dat overwegend uit de Nederlandse context is ontwikkeld. Van de producenten is Enatec dan ook een Nederlands bedrijf; de Whispergen en Microgen zijn buitenlandse ontwikkelingen. Met name UK en Duitsland zijn ook geïnteresseerd in micro-WKK. Wat betreft veldtests bij gebruikers thuis loopt Nederland ongeveer gelijk op met Engeland. Nederland is momenteel een voorloper in de ontwikkeling van de VPP (stap 2) met een eerste veldtest. Dat maakt het plaatje als volgt:

1	2	3				
		Nederlandse positie en kansen wat betreft				
Status vd techniek	Nationaal / mondiaal?	Kennisinfra	Bedrijfsleven	toeleveranciers	markt	Infrastruct.
Concept						
R&D						
Pilot-fase						
Near-to-market	Nationaal	1	1	1	1	1
Bestaand	nationaal	1	1	1	1	1

Micro-WKK met een gasmotor bevindt zich in vrijwel hetzelfde stadium, komt misschien iets later op de Nederlandse markt. Hierin opereren ook buitenlandse partijen als Honda. Nederlandse partijen kunnen wel een sterke rol spelen bij het inpassen van de gasmotor in een commercieel toepasbaar product. Dat maakt het plaatje als volgt:

1	2	3				
		Nederlandse positie en kansen wat betreft				
Status vd techniek	Nationaal / mondiaal?	Kennisinfra	Bedrijfsleven	toeleveranciers	markt	Infrastruct.
Concept						
R&D						
Pilot-fase						
Near-to-market	Nationaal	1	0	0	1	1
Bestaand	nationaal	1	1	1	1	1

Tenslotte micro-WKK op basis van brandstofceltechnologie. De beantwoording hiervan is grotendeels gebaseerd op de informatie van het pad 'Waterstof voor stationaire toepassingen'. Deze variant zit nog in een eerdere fase dan de andere technologieën, en zal alleen succesvol zijn wanneer er mondiaal vele partijen aan blijven werken. Dat is dan ook het geval: zo worden in Japan dit jaar 300 micro-WKK's geïnstalleerd op basis van een brandstofcel; systemen die relatief goed plaatsbaar zouden zijn in de Nederlandse gasinfrastructuur. Ook in de VS lopen diverse veldtesten. Nederlandse partijen als Nedstack en ECN zijn actief in dit veld, maar zijn relatief kleine spelers: partijen die mondiaal gewicht in de schaal leggen zijn vaak gelieerd aan de toepassing in de sector

mobiliteit. Dit betekent dat Nederlandse kennisinstellingen wel een rol zullen spelen bij deze technologieën, maar dat Nederland als geheel geen doorslaggevende rol zal spelen. Het Nederlandse bedrijfsleven kan waarschijnlijk in de eerste fasen slechts een bescheiden rol spelen, maar Nederlandse bouwers van micro-WKK-systemen krijgen waarschijnlijk wel kansen bij het inbouwen van de brandstofcel in micro-WKK- ketels. De Nederlandse markt, met veel decentrale warmte-units, is overigens zeer geschikt voor de introductie van deze systemen. Tenslotte is ook de Nederlandse gas- en elektriciteitsinfrastructuur een sterk punt.

In het latere ontwikkelingstraject richting marktintroductie kunnen Nederlandse partijen zeker een rol spelen. Illustratief hiervoor is het ontwikkelingstraject van Vaillant voor een micro-WKK met brandstofcel.

1	2	3				
		Nederlandse positie en kansen wat betreft				
Status vd techniek	Nationaal / mondiaal?	Kennisinfra	Bedrijfsleven	toeleveranciers	markt	Infrastruct.
Concept						
R&D	Mondiaal					
Pilot-fase	Mondiaal	0	0	1	1	1
Near-to-market	Nationaal	0	0	0	1	1
Bestaand	nationaal	0	1	1	1	1

De score op deze indicator komt op basis van deze velden op 8 (27 uit 35). Deze gegevens zijn vrij betrouwbaar (categorie 1).

5.2 Risico's door afhankelijkheid van buitenlandse ontwikkelingen

De robuustheid van het pad wordt in hoge mate bepaald door de mate waarin het pad afhankelijk is van internationale ontwikkelingen, en natuurlijk door de mate waarin die ontwikkelingen er florissant uitzien.

Een sterke afhankelijkheid van ontwikkelingen in het buitenland ligt in de ontwikkelingen rond de brandstofcel, hoewel Nederland hier wel een rol in speelt. Tegelijkertijd is er mondiaal een sterke drive in het onderzoek naar de brandstofcel, dus dit risico is vrij beperkt. Op basis hiervan schatten we een (categorie 1) score in van 9.

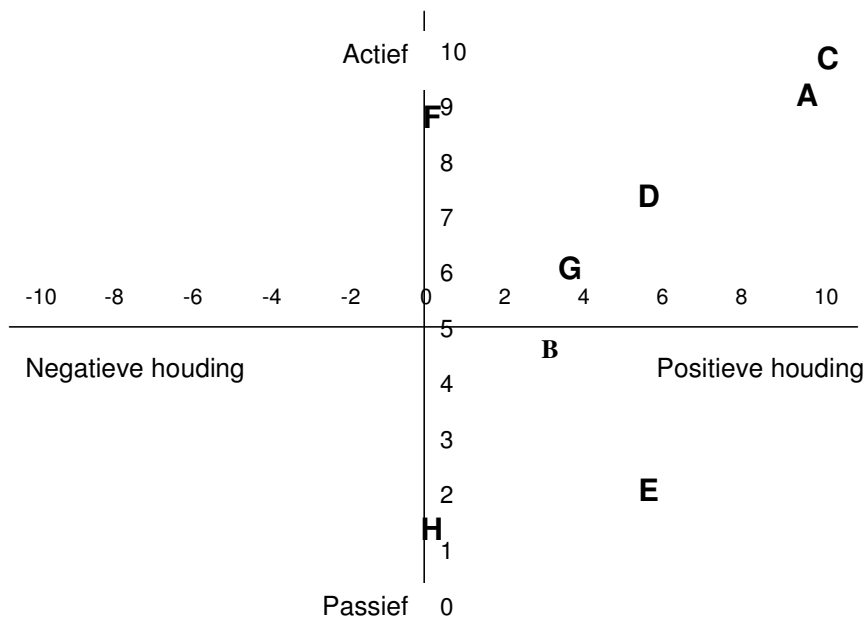
6. Draagvlak bij de meest relevante stakeholders

Voor een inventarisatie van het krachtenveld gebruiken we een krachtenveldanalyse

De indrukken die de respondenten gaven waren redelijk consistent, waarbij Overdiep het meest optimistisch was. De genoemde partijen zijn opgenomen in onderstaande tabel; hun onderlinge gewicht is geschat op basis van onze indruk tijdens de gesprekken (tijdens de gesprekken was de methode voor deze vraag nog niet volledig uitgekristalliseerd, waardoor niet gevraagd is naar de relatieve gewichten).

Partij	Relatief gewicht	code
Fabrikanten micro-WKK-systemen	20	A
Installateurs	20	B
Gasunie	15	C
Overheid (wat betreft visievorming)	10	D
Overheid (beleidsmakers)	10	E
Kennisinstellingen	10	F
energiebedrijven	10	G
Consumenten c.q. VEH	5	H

Op basis van de gesprekken zijn de posities van de verschillende partijen globaal als volgt:



Daarmee is de score op deze indicator 7 punten. Gezien de relatieve consistentie van de diverse partijen heeft deze score een betrouwbaarheid van categorie 1.

7. Kosten en baten van het transitiepad

De kosten van een transitiepad zijn over het algemeen nog niet goed in te schatten. Daarvoor zijn het tenslotte transitiepaden. Om toch enigszins grip te krijgen op de kosten maken we een kwalitatieve inschatting van de belangrijkste kostencomponenten:

- R&D-kosten (voor de ontwikkeling van de optie)
- Implementatiekosten (om de optie door een leercurve te krijgen en zo de kosten te verlagen)
- Een structurele onrendabele top in vergelijking met concurrerende opties.

Voor de inschatting van de kosten baseren we ons op het volgende:

- De R&D-kosten voor systemen op basis van Stirling en gasmotor zullen beperkt zijn tot hooguit enkele miljoenen. Voor systemen op basis van de brandstofcel zijn meer R&D-inspanningen nodig, maar die zullen voor een groot deel gedragen worden door partijen die daaraan werken voor andere toepassingen. Op dit criterium verdient het pad dus 5 punten.
- Aangezien het gaat om systemen die in serie geproduceerd worden in vrij grote aantallen, voor uiteindelijk meer dan alleen de Nederlandse markt, is het mogelijk om relatief snel door een leercurve heen te gaan. Ook de implementatiekosten zullen dus relatief beperkt zijn: 2 punten.
- Een structurele onrendabele top is niet te verwachten hooguit wanneer de prijsstructuur van elektriciteit sterk verandert en minder variabel wordt (Van Gastel, 2005). Hiervoor geven we 2 punten.

Daarmee komt de score op deze indicator op 9 punten, en die is vrij betrouwbaar (categorie 1).

8. (Noodzakelijk) draagvlak van de burger

Voor dit criterium kijken we naar drie onderdelen:

- Publieke perceptie van het pad in algemene zin (bijvoorbeeld: waterstof is schoon, maar explosief);
- Mogelijke weerstanden op lokaal niveau (NIMBY), bijvoorbeeld weerstand tegen vulstations);
- Vereiste gedragsverandering van de burger (bijvoorbeeld bereidheid om bifuel auto te rijden en aardgas te tanken).

- Wat betreft de algemene perceptie van micro-WKK bij burgers: die is vrij positief, hoewel de optie niet sterk in de schijnwerpers staat. Maar gas als energiebron heeft een gunstig imago, en een nieuwe ontwikkeling voortbouwend op de HR-ketel zal positief ontvangen worden. Een score van 8.

- Wat betreft de perceptie bij de lokale gebruiker zijn er twee tegengestelde effecten te verwachten:
 - Lokale opwekking van elektriciteit maakt de gebruiker minder gevoelig voor storingen in het centrale net (“als de hele wijk op zwart gaat kan iedereen bij mij nog voetbal komen kijken”). Voorwaarde hierbij is dat de installatie zo wordt uitgerust dat hij kan opstarten zonder centrale stroomvoorziening. Bovendien is de gebruiker dan minder afhankelijk van het energiebedrijf. Dit zijn positieve aspecten.
 - Micro-WKK is per definitie een gecompliceerder systeem, en zeker in de eerste jaren nog wat meer storingsgevoelig. Zeker bij verwarming gaat het consumenten in de eerste plaats om comfort en gebruiks zekerheid, zo benadrukt Van Engelen (2005). Dit is, zeker op korte termijn, een negatief aspect, dat mogelijk nog sterker wordt wanneer micro-WKK wordt doorontwikkeld tot de VPP.

Belangrijkste factor hierbij is waarschijnlijk nog de kostprijs: wanneer een micro-WKK bedrijfszeker is en zich na enkele jaren terugverdient zal de burger er zeker in geïnteresseerd zijn. Al met al lijkt een score van 6 verdedigbaar.

- Wat betreft gedragsverandering zijn er weinig effecten te verwachten in fase 1 van micro-WKK. Bewoners hoeven hun elektriciteitsverbruik niet te stroomlijnen met hun warmtevraag. In fase 2 (de VPP) verandert er mogelijk veel meer, niet zozeer in het vereiste gedrag van bewoners, maar wel in de verantwoordelijkheid voor aansturing van apparatuur in huis. De VPP is tenslotte vooral interessant wanneer de units daadwerkelijk in onderlinge samenhang opereren, en wellicht zelfs stuurbaar zijn voor het energiebedrijf (Van Engelen, 2005). Dit effect is nog sterker bij doorgroei tot de gas-stroomconverter. Op basis van deze overwegingen geven we een score van 4.

aspect		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1: Perceptie algemeen	Negatief								X			Positief
2: Perceptie lokaal	Negatief						X					Positief
3: Gedragsverandering	Veel (neg)				X							Weinig (pos)

Daarmee komt de totaalscore op deze indicator op 5. De betrouwbaarheid hiervan is categorie 2.

9. Vereiste beleidsmaatregelen

Voor de overheid is het van belang te weten in hoeverre de realisatie van het pad afhankelijk is van beleidsmaatregelen, en verder wat dan de belangrijkste vereiste maatregelen zijn.

Knelpunt	Beleidsmaatregel	Afhankelijkheid (hoog(10)/laag(0))
Onbalans in warmte- en elektriciteitsvraag	Maatregelen om decentrale uitwisseling of 'parkeren' op het net mogelijk te maken, of 'real-time' tarieven	6
Dreigende verschuiving in elektriciteitsprijzen: dalende kWh-prijzen met stijgende vastrecht-prijzen	Compensatie van deze (op meer fronten ongunstige) ontwikkeling bijvoorbeeld door kostenneutrale verhoging van de REB en een vergoeding op het vastrecht	7
Implementatieproblemen (kosten, bedrijfszekerheid)	Stimulerende maatregelen om micro-WKK snel door leercurve te leiden	7
Vrij complexe procedure voor het aansluiten van een micro-WKK (waardoor er minimaal twee maal een monteur moet komen)	Bij DTE aandringen op stroomlijning van de bijbehorende dTE-codes, bij energiebedrijven aandringen op versnelling installatieprocedure.	6
Eigendoms- en besturingsvragen bij de VPP	Ontwikkelingen van arrangementen voor de VPP ondersteunen	5
Weinig animo bij de consument	Bewustwordingscampagne, van "maak je eigen elektriciteit" (fase 1) tot "word stroomleverancier" (fase 2)	5

10. Aggregatie van de resultaten

Aspect	Laag (negatief)					Hoog (positief)					
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2. Potentieel											
Indicator 1: Technisch 2020											
Indicator 2: Technisch 2050											
Indicator 3: Markt 2020											
Indicator 4: Markt 2050											
3. Bijdrage verduurzaming											
Indicator 5: Netto besparing prim. energie											
Indicator 6: Netto besparing broeikasgas											
Indicator 7: Andere milieu-effecten											
Indicator 8: Stepping stone en lock-in											
4. Bijdrage voorzieningszekerheid											
Indicator 9: Voorzieningszekerheid											
5. Stadium van de techniek											
Indicator 10: Kansen voor bedrijfsleven											
Indicator 11: Risico, afhankelijkheid buitenland											
6. Stakeholders											
Indicator 12: Draagvlak bij stakeholders											
7. Kosten, baten (relatief)											
Indicator 13: Kosten											
8. Burger											
Indicator 14: Draagvlak bij de burger											
9. Beleid											
Zie onderstaand kader											

Knelpunt	Beleidsmaatregel	Afhankelijkheid (hoog(10)/laag(0))
Onbalans in warmte- en elektriciteitsvraag	Maatregelen om decentrale uitwisseling of 'parkeren' op het net mogelijk te maken, of 'real-time' tarieven	6
Dreigende verschuiving in elektriciteitsprijzen: dalende kWh-prijzen met stijgende vastrecht-prijzen	Compensatie van deze (op meer fronten ongunstige) ontwikkeling bijvoorbeeld door kostenneutrale verhoging van de REB en een vergoeding op het vastrecht	7
Implementatieproblemen (kosten, bedrijfszekerheid)	Stimulerende maatregelen om micro-WKK snel door leercurve te leiden	7
Vrij complexe procedure voor het aansluiten van een micro-WKK (waardoor er minimaal twee maal een monteur moet komen)	Bij DTE aandringen op stroomlijning van de bijbehorende dTE-codes, bij energiebedrijven aandringen op versnelling installatieprocedure.	6
Eigendoms- en besturingsvragen bij de VPP	Ontwikkelingen van arrangementen voor de VPP ondersteunen	5
Weinig animo bij de consument	Bewustwordingscampagne, van "maak je eigen elektriciteit" (fase 1) tot "word stroomleverancier" (fase 2)	5

Bronnen:

Er zijn gesprekken gevoerd met:

- Erik van Engelen, Essent (Den Bosch, 21 september 2005)
- Gerrit Jan Ruijg, ECN Unit Schoon Fossiel (Petten, 22 september 2005)
- Margot van Gastel, Cogen (Driebergen, 26 september 2005)
- Hans Overdiep, Gasunie Gas (Groningen, 25 oktober 2005)

Harmsen, H.: Aardgas lokale micro-WKK; eerste inventarisatie beschikbare gegevens voor het project verdieping transitiepaden.

Dril, A.W.N van en H.E. Elzenga (coörd) (2005): Referentieramingen energie en emissies 2005-2020. ECN/ Milieu- en Natuurplanbureau RIVM, Petten/Bilthoven .

Bruijn, F. de: The current status of fuel cell technology for mobile and stationary applications. Green chemistry 7 (2005), 132-150

Thema 1: Efficiënt en Groen Gas

Pad: 1.3 Waterstof stationair

Auteur: Kay Damen (UU-NW&S) en Andre Wakker (ECN)

1. Globale beschrijving van het transitiepad

Waterstof productie en gebruik in stationaire toepassingen is binnen het platform nieuw gas geen transitiepad *sec* maar vormt een dwarsdoorsnede door diverse transitiepaden, in het bijzonder de paden schoon aardgas, groen gas, en WKK. Het gaat daarbij om de inzet van waterstof als energiedrager voor stationaire toepassingen (elektriciteit en warmte) in de gebouwde omgeving (huishoudens en utiliteitsbouw) en in de industrie. Inzet van waterstof voor mobiele toepassingen maakt onderdeel uit van het platform duurzame mobiliteit.

De waarde van waterstof is daarin gelegen dat het een perfect schone, emissieloze energiedrager is. Samen met de verdere ontwikkeling van de brandstofcel, waarvoor duurzaam transport overigens de belangrijkste *driver* is, moet waterstof een sleutelrol gaan spelen in de beoogde efficiency verbetering en verduurzaming over de gehele gasketen, van bron tot eindgebruik.

Waterstof productie

Waterstof moet, als nieuwe gas soort, een rol gaan spelen in de door het platform beoogde vernieuwing van de nationale gasvoorziening en infrastructuur. Waterstof kan op vier manieren worden geproduceerd:

- d.m.v. elektrolyse met (duurzame) stroom,
- uit fossiel (met name aardgas), eventueel met CO₂ afvang en opslag (CCS),
- als restproduct uit (bestaande) industriële processen.
- uit biomassa.

Waterstof kan zowel centraal als decentraal worden geproduceerd. Voordeel van centrale productie (reformen van aardgas, vergassing van kolen/biomassa) is dat waterstof productie kosten relatief laag zijn door schaalvoordeel. Het vereist echter een infrastructuur die waterstof naar de markt distribueert (pijpleiding, trucks), wat significante kosten met zich meebrengt. In de eerste fase waarin de waterstof vraag nog klein is voorziet men met name decentrale waterstof productie (d.w.z. bij eindgebruiker) d.m.v. elektrolyse en reformen van aardgas. Dit heeft als voordeel dat er geen infrastructuur voor transport nodig is. Nadeel zijn de relatief hoge productie kosten.

Waterstof transport

Voor het distribueren van waterstof valt te denken aan volledige substitutie van aardgas door waterstof of aan menging van aardgas met waterstof. Afhankelijk van hoe de waterstof wordt geproduceerd kan met de laatste optie in ieder geval emissiereductie worden gerealiseerd zonder al te grote net- en/of eindgebruik aanpassingen.

Waterstof eindgebruik

Waterstof toepassing is met name voorzien in proton exchange membrane fuel cells (PEMFC). Daarnaast kan waterstof (eventueel gemengd met aardgas) ook worden gebruikt voor ondervuring, in turbines en in HR ketels.

Eindbeeld

De ambitie zoals geformuleerd door het platform Nieuw Gas is dat “waterstof rond 2020 een plaats in aansprekende niches voor stationaire toepassingen krijgt”. Het eindbeeld voor waterstofproductie is uiteindelijk gelegen in elektrolyse uit duurzame bronnen en in waterstof uit biomassa.

2. Wat kan het beschreven transitiepad ten minste en ten hoogste bereiken in de context van de Nederlandse energievoorziening op langere termijn?

2.1 Algemeen

Waterstof is, als energiedrager of als autonome technologieontwikkeling, niet in de Referentieramingen 2020 (ECN/RIVM 2005) opgenomen en evenmin in de WLO scenario's 2040 (ECN 2005). Strikt genomen betekent dit dat bij voortgezet beleid de bijdrage van waterstof en de daaraan verbonden technologieën aan de nationale energievoorziening naar verwachting nihil zullen zijn, waarmee het marktpotentieel conform de in deze studie gehanteerde methodiek in feite op nul kan worden gesteld.

2.2 Technisch potentieel voor 2020

Technisch gezien kunnen huishoudens, ziekenhuizen, kantoren etc. worden voorzien van brandstofcellen voor WKK, zodat het technisch potentieel vergelijkbaar is met het potentieel dat aangegeven is in het breder gedefinieerde transitiepad micro-WKK. Wordt daarbij in aanmerking genomen dat brandstofcellen met een hoge WK verhouding van typisch 50/50 naast warmte ook en met name elektriciteit gaan opwekken dan wordt niet alleen aardgas maar ook centraal opgewekte elektriciteit vervangen. In de referentieramingen wordt het energieverbruik in 2020 voor verwarming op 300 PJ geschat, waarvan naar schatting 40 PJ uit stadsverwarming, dus 260 PJ via ketels op woningniveau. Voor elektriciteitsverbruik komt daar in 2020 nog eens 250 PJ bij.

Daarnaast kunnen brandstofcellen ook worden ingezet in de industrie waarbij exces waterstof voor industriële WKK een interessante niche kan zijn die momenteel al wordt onderzocht (van der Meer, 2005). Ook kunnen bestaande productie units waterstof leveren. Op dit moment staat er zo'n 500 MW_{H₂} in Nederland opgesteld exclusief units op raffinaderijen². Daarnaast kan waterstof worden ingezet voor elektriciteit en warmte productie in de industrie. Volgens CBS statistieken bedraagt de huidige aardgas consumptie in industriële WKK units, fornuizen en boilers circa 260 PJ.

Met deze overwegingen zou de score voor het technisch potentieel voor waterstof stationair in 2020 ruim boven de 300 PJ uitkomen wat conform de in deze studie gehanteerde methodiek een score zou betekenen van 10. De betrouwbaarheid van deze inschatting is categorie 1.

De beschikbaarheid van waterstof is echter een belangrijke beperking (het ontbreken van infrastructuur), die het technisch potentieel sterk reduceert. Op basis van deze beperking wordt het implementeerbaar potentieel voor waterstof in de gebouwde omgeving wordt in het Europese Hyways project als volgt ingeschat (Jeeninga, 2005):

² Informatie van Air products en Air liquide.

Scenarios for the potential development of stationary hydrogen applications in the residential sector (bron: Hyways)

Total share of households	2010	2020	2030	2040	2050
High penetration	-	1%	4%	8%	10%
Low penetration	-	0.1%	0.5%	2%	5%

Scenarios for the possible development of stationary hydrogen applications in the commercial and services sector (bron: Hyways)

Total share of commercial demand	2010	2020	2030	2040	2050
High penetration	-	0.3%	1.3%	2.7%	3.3%
Low penetration	-	>0%	0.2%	0.7%	1.7%

2.3 Technisch potentieel voor 2050

Voor 2050 zijn geen gedetailleerde ramingen beschikbaar. Er kan echter met dezelfde kwalitatieve inschattingen van de ontwikkelingen tussen 2020 en 2050 gewerkt worden als bij micro-WKK om zo in ieder geval aan te geven of de potentiële groter of kleiner worden. Met het grote elektrische rendement van brandstofcellen kunnen deze mogelijk in de sterk toenemende elektriciteitsvraag voorzien en kan het potentieel, samen met een eventuele ontwikkeling van een waterstofinfrastructuur, in ieder geval groter worden; hoeveel precies valt is nauwelijks te becijferen.

2.4 Marktpotentieel 2020 - 2050

Het marktpotentieel van waterstof stationair wordt feitelijk bepaald door de concurrentie met alternatieve micro-WKK technieken op aardgas (gas- en Stirlingmotor, HR ketel) met energie besparing, met centraal opgewekte duurzame elektriciteit (zon, wind, biomassa) als ook met klimaatneutrale elektriciteit op basis van klassieke fossiele elektriciteitsproductie met CCS.

Anno 2005 lijkt waterstof stationair met brandstofcellen voor de gebouwde omgeving een vastgelopen route (de Bruijn 2005, van der Klein 2005, van der Meer 2005). De kosten voor fossiel waterstof (al dan niet met CCS) als ook waterstof uit elektrolyse zijn te hoog terwijl de consument te weinig toegevoegde waarde in brandstofcellen ziet in een westerse wereld waar stroom nog steeds goedkoop en ruimschoots beschikbaar is, ook in 2020 en vermoedelijk ook nog wel in 2050 ondanks stijgende gasprijzen. De ontwikkeling van sterk op aardgas leunende technologie, namelijk SOFC, stagneert (de Bruijn 2005). Bovendien zijn er aan de vraagkant alternatieven voor micro-WKK voorhanden als het gaat om besparing en emissiereductie. Het lijkt daarom reëel het potentieel neerwaarts bij te stellen.

ECN heeft in enkele interne workshops geconcludeerd dat de inzet van waterstof anders dan thans al het geval is in de proces en petrochemische industrie in 2020 marginaal zal zijn. En al zouden enkele industriële brandstofcel WKK projecten voor 2020 nog succesvol worden en al zou de olieprijs structureel hoog blijven, dan nog is er stringent emissiebeleid nodig om brandstofcel technologie van de grond te krijgen (van der Meer 2005).

Afgezien van niches in industrie of als back-up power lijkt voor een inschatting van het marktpotentieel van waterstof in stationaire toepassingen nog belangrijker de gedeelde mening van geïnterviewden dat waterstof in transport de toepassing wordt voor brandstofcellen (PEMFC). De timing voor wat betreft technologieontwikkeling van de PEMFC wordt bepaald door de noodzakelijke ontwikkeling van het hoge temperatuurmembraan (doorbraaktechnologie) en de reductie van complexiteit op systeemniveau zodat de beoogde rendementen van het FC tractiesysteem als geheel ook daadwerkelijk kunnen worden gerealiseerd in een FCV die geschikt is voor massaproductie.

Implementatie curves die voor veel energie technologieën gelden laten zien dat indien een nieuwe energie technologie 2% van de energievraag weet te veroveren (wat voor brandstofcellen nog zeker niet het geval is) het aandeel ieder jaar met relatief 2% kan groeien (Barten 2005). Dat wil zeggen dat als bijvoorbeeld verondersteld wordt dat in 2010 2% marktaandeel zou zijn bereikt, er in 2020 nog steeds maar zo'n 2.4% gehaald wordt en in 2050 zo'n 5%. Hierbij is geen rekening gehouden met trendbreuken of andere dwingende noodzaken (plotseling optredende schaarste) voor substitutie. Het tempo waarin bestaande systemen vervangen kunnen worden is een andere beperkende factor evenals de mate waarin de consument bereid is om het risico te nemen van een nieuwe techniek.

Alles in overweging nemende moet de conclusie conform de Referentieraming blijven dat afgezien van enkele industriële niches het marktpotentieel voor waterstof stationair in 2020 nihil zal zijn: score 0 en betrouwbaarheid categorie 3 (onzeker). Afhankelijk van het succes van de brandstofcel in transport, en de daaraan verbonden uitrol van een waterstof infrastructuur (naar het zich laat aanzien op basis van centraal geproduceerde fossiele waterstof met CCS) kan waterstof in 2050 mogelijk een bescheiden rol gaan spelen in stationaire toepassingen puur op basis van prijs/prestatie ten opzichte van substituten: score 2. De onzekerheid hieromtrent is groot (betrouwbaarheid categorie 3).

3. Bijdrage aan de verduurzaming van de energievoorziening

3.1 Netto vermeden primaire energie

De netto vermeden primaire energie is afhankelijk van hoe waterstof wordt geproduceerd. Ervan uitgaande dat overschot waterstof in industrie erg klein is, zal waterstof in eerste instantie worden geproduceerd uit aardgas. Op die manier zal je niet veel primaire energie besparen, aangezien het efficiency verlies van reformen niet opweegt tegen het verwachte rendement van de brandstofcel. Dus kennen we een score van 0 toe (onzekerheid categorie: 2).

3.2 Netto vermeden broeikasgasemissies

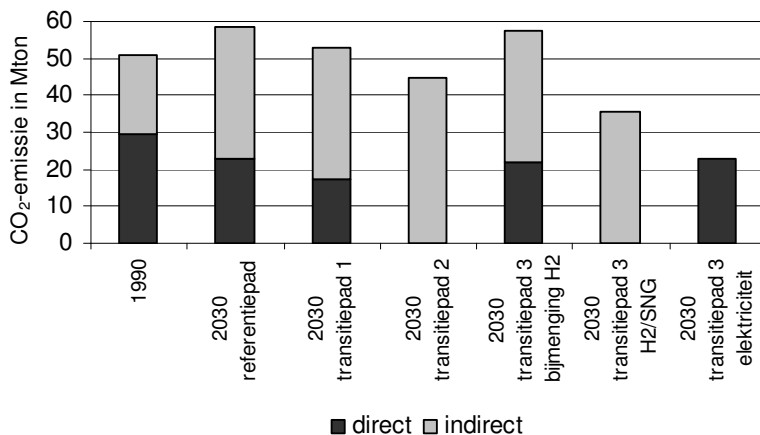
Het CO₂ emissie reductie potentieel is erg afhankelijk hoe waterstof wordt geproduceerd. Indien fossiele brandstoffen worden ingezet moet CCS worden toegepast om tot significante reducties te komen. CCS bij decentrale reforming units lijkt vooralsnog onwaarschijnlijk, waardoor CO₂ emissiereductie potentieel in de eerste fase zeer beperkt lijkt.

Teneinde een inschatting te kunnen maken van de potentiële verduurzaming van het transitiepad waterstof stationair kan bijvoorbeeld gebruikt gemaakt worden van het rapport "Energietransitie in de gebouwde omgeving" (Menkveld 2005) waarin ECN in opdracht van VROM-DGW heeft becijferd of en hoe een 50% CO₂-reductie in 2030 t.o.v. 1990 zou kunnen worden gerealiseerd via een drietal energietransities in de gebouwde omgeving te weten:

1. Maximale isolatie
2. Lokale duurzame energie productie (isolatie en lokale installaties; all-electric)
3. Centraal geproduceerde duurzame en klimaatneutrale energiedragers.

De drie transities zijn te zien als technische uitersten om CO₂ emissies in de gebouwde omgeving te realiseren waarbij transitie (3) additioneel inzicht kan geven in het potentieel voor waterstof voor stationaire toepassingen *an sich*. De aan de reductiedoelstelling verbonden streefwaarde voor emissies bedraagt 25 Mton in 2030. De aan elk van de energietransities verbonden emissies zijn weergegeven in Figuur 1, waarbij een onderscheid is gemaakt tussen directe emissies (in de gebouwde omgeving) en indirecte emissies (daarbuiten). De 50% CO₂-reductie op de totale emissies is alleen mogelijk door inzet van centraal geproduceerde duurzame of klimaatneutrale energiedragers via transitiepad (3). Binnen dit pad zijn drie opties

onderzocht te weten (a) het bijmengen van waterstof in het aardgasnet ;(b) het benutten van klimaatneutrale waterstof in micro-WKK brandstofcellen en het benutten van SNG dat wordt geproduceerd uit biomassa en (c) klimaatneutrale elektriciteit.



Figuur 1 *CO₂-emissie gebouwde omgeving in 1990 en 2030 in het referentiep ad en verschillende transitiepaden (Menkveld 2005)*

Bijmenging van waterstof in het bestaande aardgasnet, mogelijk tot 3% zonder aanpassing van aardgasnetten of apparatuur, levert een nagenoeg verwaarloosbare CO₂-reductie van 1 Mt.

Met brandstofcel WKK op basis van klimaatneutraal waterstof (door bijvoorbeeld aardgas reforming met CCS) is verregaande CO₂ reductie mogelijk. Verondersteld wordt dat er daarbij een omschakeling naar een waterstofinfrastructuur plaats vindt (met de daaraan verbonden kosten) en dat het volledige technische potentieel door nieuwbouw en vervanging van oude installaties wordt benut. Uiteraard wordt de emissiereductie minder al naar gelang de penetratiegraad van de brandstofcel WKK. Benadrukt dient te worden dat de emissiereducties worden bereikt door centrale CCS; de netto vermeden emissies zijn nihil.

Dus in het meest gunstige geval, wanneer het volledige technische potentieel in huishoudens wordt benut, leidt dit tot een besparing van circa 25 Mt. Dit zou een score van 10 impliceren (onzekerheid categorie: 2).

3.3 Mogelijke andere (positieve of negatieve) milieu-effecten

Aangezien de referentie voor warmte en elektriciteit voornamelijk aardgas is en de verbranding van aardgas relatief schoon is, lijkt het reductie potentieel van andere schadelijke emissies zoals NO_x, SO_x en fijn stof bescheiden. Dat potentieel kan in principe groter worden bij een hogere penetratiegraad van waterstof stationair als daarbij ook kolencentrales zouden worden vervangen. Daar staat tegenover dat in een verduurzamingsscenario er sowieso meer klassieke elektriciteitsproductie met CCS zou kunnen gaan plaatsvinden en de emissie reducties ook zonder brandstofcel-WKK zouden worden gerealiseerd.

Op basis daarvan achten wij de andere milieu-effecten niet erg relevant (niet erg positief en ook niet erg negatief, dus een score van 5 met een betrouwbaarheid categorie van 2).

3.4 Stapstenen en lock-ins

Aangezien waterstof wordt beschouwd als een lange termijn energiedrager (het is een “eindbeeld”, i.t.t. bijvoorbeeld rijden op aardgas), lijken er niet echt stapstenen die in het kader van een bredere energietransitie van nut kunnen zijn. De constructie van een waterstof infrastructuur kan mogelijk een lock-in zijn wanneer de brandstofcel uiteindelijk niet de geprefereerde eindgebruik technologie zal zijn. Daarentegen lijkt het onwaarschijnlijk dat op grote schaal infrastructuur wordt aangelegd als er geen duidelijkheid bestaat over de status (levensduur, kosten) van een brandstofcel. Het slagen van de PEMFC technologie (voor transport) is dus een essentiële stapsteen. In dat geval kan het opbouwen van een waterstof infrastructuur voor stationaire toepassingen in synergie verlopen met dat voor mobiele toepassingen.

Conclusie: geen grote stapstenen, maar wel mogelijk lock-in effect rondom infrastructuur. Dus een score van 4 met een betrouwbaarheid categorie van 2.

4. Effect op de voorzienings- en leveringszekerheid

Aangezien waterstof praktisch uit alle bronnen kan worden geproduceerd en als buffer kan functioneren voor intermittants, kan waterstof in de toekomst een rol vervullen om de levenszekerheid op peil te houden.

Leveringszekerheid is niet zo'n groot issue in de stationaire sector. Het gebruik van waterstof an sich leidt niet tot een hogere leveringszekerheid op de korte termijn, aangezien het aandeel hernieuwbaar in waterstofproductie de komende decaden bescheiden zal zijn. Aardgas zal naar verwachting de voornaamste feedstock zijn voor waterstofproductie, wat in toenemende mate zal worden geïmporteerd vanuit met name Rusland.

Gegeven het feit dat waterstof stationair:

- niet tot significante netto energie besparing leidt (0 punten)
- het aandeel fossiele brandstoffen voorlopig (2020) niet terugdringt, mogelijk in 2050 wel (0/1 punten)
- het aandeel import niet terug dringt (2020), mogelijk in 2050 vergroot (import gas, biomassa, kolen) (0 punten)
- niet tot een grote verschuiving in energie portfolio tot gevolg heeft tot 2020, mogelijk later wel (0/1 punten)
- micro-WKK in principe leidt tot een gunstige impact op netstabiliteit (2 punten)

komt de totaalscore op 2-4 punten, afhankelijk van de termijn waarop je kijkt. Op basis daarvan kiezen we een gemiddelde van 3 (betrouwbaarheid categorie van 3).

5. Aansluiting bij internationale kennis- en marktontwikkelingen

Veel transitiepaden zijn afhankelijk van R&D-inspanningen of marktontwikkelingen op Europees of mondiaal niveau. Het is daarom belangrijk om een beeld te krijgen van de internationale ontwikkelingen op dit gebied. Andere zijn een puur Nederlandse aangelegenheid, waarbij dat minder van belang is.

Bovendien is het een belangrijke vraag of het transitiepad nieuwe business-opportunities kan opleveren voor het Nederlandse bedrijfsleven.

5.1 Kansen voor het bedrijfsleven

Om dit te verkennen werken we met de onderstaande tabel. Deze is ingevuld voor het pad als geheel of, wanneer het pad een aantal verschillende componenten of technologieën bevat, per component.

Voor deze vraag is het noodzakelijk om onderscheid te maken in de verschillende componenten van de keten, bestaande uit waterstof productie, transport en distributie, opslag en gebruik. Algemeen geldt voor Nederland:

- Sterktes: waterstofproductie, gas transport en distributie
- Zwaktes: systeemintegratie en brandstofcellen

Op basis van deze inzichten en de onderstaande opmerkingen, ziet de tabel volgens de auteurs er als volgt uit, wat leidt tot een score van 7 (betrouwbaarheid categorie van 2):

1	2	3				
Status vd techniek	Nationaal / mondiaal?	Nederlandse positie en kansen wat betreft				
		Kennisinfra	Bedrijfsleven	toeleveranciers	markt	Infrastruct.
Concept						
R&D						
Pilot-fase ^a	Mondiaal	1 ^b	0	-	-	-
Near-to-market	Nationaal	0 ^b	0	1 ^d	1 ^e	1 ^f
Bestaand	Nationaal	0 ^b	1 ^c	1 ^d	1 ^e	1 ^f

^a R&D investeringen zijn echter hoger dan ooit

^b Nederland heeft geen grote spelers op het gebied van brandstofcellen. De kracht van Nederland is echter zijn brede en generieke kennis, dat het product is van overheidsbeleid om te investeren in meerdere (energie) technologieën. De kansen liggen met name in internationale samenwerking met bedrijven die vroegtijdig specifiek bezig zijn en vooral een smalle, specialistische kennis bezitten. Als een concept in de pilot-fase problemen ondervindt, is er meer behoefte aan R&D om een doorbraak te realiseren. Dan kan generieke kennis erg van te pas komen, wat mogelijk nieuwe markten en kansen creëert voor een (beperkt) aantal Nederlandse bedrijven/onderzoeksinstituten.

^c Als brandstofcel eenmaal commerciële status heeft bereikt zijn er mogelijk kansen voor het Nederlandse bedrijfsleven (ketelfabrikanten, energiebedrijven, projectontwikkelaars).

^d Met toeleveranciers bedoelen we hier de waterstofproducenten

^e Nederlandse energie voorziening is met name gebaseerd op gas, wat op zich een interessante markt voor brandstofcellen maakt.

^f Uitgebreide gas infrastructuur aanwezig. Daarnaast ligt er in het Rijnmond gebied een waterstof pijpleiding voor de industrie, wat een mogelijk uitgebreid kan worden om waterstof te voorzien aan huishoudens/utiliteitsgebouwen/pompstations.

5.2 Risico's door afhankelijkheid van buitenlandse ontwikkelingen

De robuustheid van het pad wordt in hoge mate bepaald door de mate waarin het pad afhankelijk is van internationale ontwikkelingen, en natuurlijk door de mate waarin die ontwikkelingen er florissant uitzien.

Aangezien de sterke afhankelijkheid van buitenlandse ontwikkelingen in brandstofcel technologie, de huidige stand van de technologie (kosten en levensduur die nog lang niet voldoen) en de cruciale rol die deze technologie speelt in dit transitiepad, schatten we het risico relatief hoog in: score 2 en betrouwbaarheid categorie van 2.

6. Draagvlak bij de meest relevante stakeholders

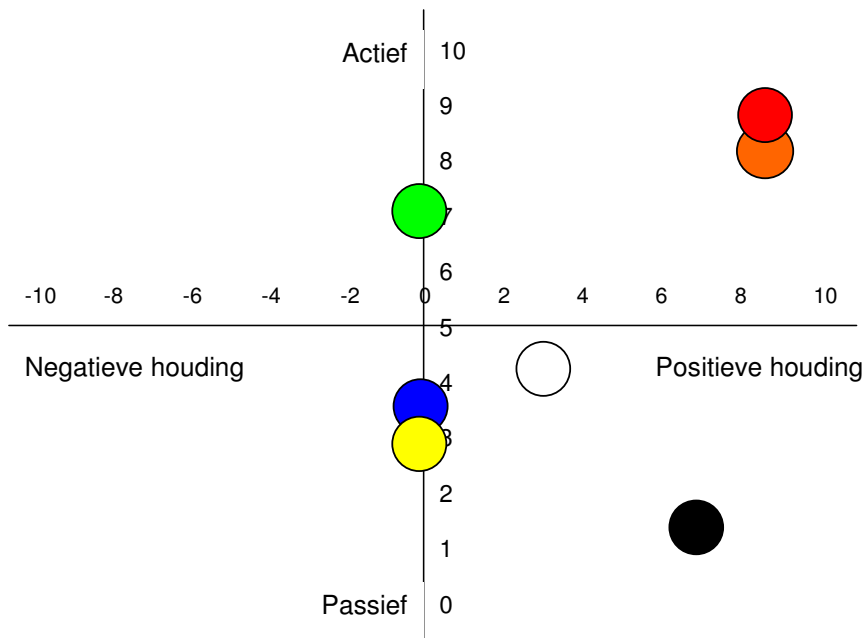
Voor een inventarisatie van het krachtenveld gebruiken we een krachtenveld-analyse

Slechts 2 correspondenten hebben zich (direct) uitgesproken over de positie en houding van stakeholders. Op basis daarvan is de onderstaande tabel opgesteld. Belangrijkste stakeholders zijn techniekontwikkelaars, projectontwikkelaars en energiebedrijven (die techniek gaan implementeren) en overheid in de vorm van EZ als verantwoordelijk orgaan voor energievoorziening.

Stakeholder	Relatief gewicht	Houding	Kleur
Techniekontwikkelaars ^a	20	Actief positief	Red
Projectontwikkelaars/ Woningstichtingen ^b	20	Passief neutraal	Blue
Energiebedrijven	20	Passief neutraal	Yellow
Gasunie	5	Actief gereserveerd	Green
Waterstofproducenten	10	Actief positief	Orange
Consumenten	5	Passief gematigd positief	Black
Overheid ^b	20	Gematigd passief positief	White

^a Vaillant (micro-WKK met PEMFC), Nedstack (PEMFC), Ballast Nedam (waterstofvulstations), Hygear (reformingtechnologie)

^b Er zijn enkele gemeenten en projectontwikkelaars die wel positief (en actief zijn)



Dit leidt tot een score van 6 punten (betrouwbaarheid categorie van 2).

7. Kosten en baten van het transitiepad

De kosten van een transitiepad zijn over het algemeen nog niet goed in te schatten. Daarvoor zijn het tenslotte transitiepaden. Om toch enigszins grip te krijgen op de kosten maken we een kwalitatieve inschatting van de belangrijkste kostencomponenten:

- R&D-kosten (voor de ontwikkeling van de optie)
- Implementatiekosten (om de optie door een leercurve te krijgen en zo de kosten te verlagen)
- Een structurele onrendabele top in vergelijking met concurrerende opties.

Uitwerking

- Er zijn naar verwachting nog grote (publieke en private) R&D inspanningen nodig om de kosten, performance en levensduur van de brandstofcel tot het gewenste niveau te brengen. De Amerikaanse regering heeft in 2003 voor de komende 5 jaar 1.7 miljard dollar beloofd voor het ontwikkelen van brandstofcellen en waterstof infrastructuur. In Japan worden de publieke R&D gelden (in 2002) voor ontwikkeling en demonstratie van waterstof en brandstofcellen geschat op 240 miljoen dollar. Het EU JTI R&D budget voor waterstof en brandstofcellen bedraagt 1.2 miljard (komende 10 jaar), waarvan 42% voor transport en waterstof productie, 25% voor industriële WKK en 33% voor WKK in huishoudens (<https://www.hfpeurope.org/>). Daarnaast zijn er de vele private R&D gelden, die variëren tussen de tientallen en honderden miljoenen dollars per jaar (van den Hoed, 2004). Op basis van de huidige R&D budgetten schatten we de R&D uitgaven op zijn minst in de miljarden (2 punten; onzeker).
- Brandstofcellen kunnen in serie geproduceerd in een wereldmarkt. Daardoor is het mogelijk om relatief snel door een leercurve heen te gaan. Dus: 2 punten.
- Volgens Nedstack kunnen vandaag de dag PEM stacks worden geproduceerd voor zo'n 1000 euro/kW, wat op zich voldoende is om te concurreren met stationaire micro en mini WKK. Echter de kosten van de benodigde reformers/electrolysers zijn nu nog te duur. Het is de vraag of de hogere kosten van waterstof gecompenseerd kunnen worden door het hogere rendement van de brandstofcel. Het is niet op voorhand uit te sluiten dat een onrendabele top blijft bestaan. Op basis daarvan kennen we 2 punten toe.

Dit leidt tot een score van 6 punten en een betrouwbaarheid categorie van 3

8 (Noodzakelijk) draagvlak van de burger

Voor dit criterium kijken we naar drie onderdelen:

- Publieke perceptie van het pad in algemene zin (bijvoorbeeld: waterstof is schoon, maar explosief);
- Mogelijke weerstanden op lokaal niveau (NIMBY),bijvoorbeeld weerstand tegen vulstations);
- Vereiste gedragsverandering van de burger (bijvoorbeeld bereidheid om biofuel auto te rijden en aardgas te tanken).

De publieke perceptie rondom waterstof is in het algemeen vrij positief, alhoewel er wat negatieve associaties zijn rondom veiligheid. De ervaringen met het experiment van waterstofbussen in Amsterdam zijn vooralsnog goed, alhoewel er enkele (tijdige) oppositie is geweest rondom productie/opslag site (vergunningen). Daarom schatten we de lokale perceptie iets lager in dan de algemene (licht) positieve perceptie. Echter: er hoeft maar 1 serieus ongeluk te gebeuren en de perceptie is ineens negatief (vandaar dat we deze score als minder zeker bestempelen).

De burger gaat weinig merken van stationaire waterstof toepassingen, enkel de installateurs zullen met andere procedures te maken krijgen.

Aspect		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1: Perceptie algemeen	Negatief							X				Positief
2: Perceptie lokaal	Negatief					X						Positief
3: Gedragsverandering	Veel (neg)									X		Weinig (pos)

Dit leidt tot een score van 8 punten en een betrouwbaarheid categorie van 2.

9. Vereiste beleidsmaatregelen

Voor de overheid is het van belang te weten in hoeverre de realisatie van het pad afhankelijk is van beleidsmaatregelen, en verder wat dan de belangrijkste vereiste maatregelen zijn.

Knelpunt	Beleidsmaatregel	Afhankelijkheid (hoog/laag)
Hoge kosten brandstofcellen	Meer R&D gelden	4 ^a
Prijsverschil met conventionele elektriciteit/warmte	Fiscaal voordeel waterstof	8
Weinig animo bij de consument	Voorlichting en communicatie strategieën	5 ^b
Ontbreken van waterstof infrastructuur	Complex, o.a. gezien de afhankelijk van succes brandstofcel in eindgebruik, welke erg onzeker is. Constructie vereist mogelijk publieke initiatieven (parallel aardgas net).	5




^a Hoge kosten PEMFC zijn een potentiële “show-stopper” voor dit transitiepad, vraag is in hoeverre meer publieke R&D van invloed is.

^b Het schone imago van waterstof kan ook ernstig worden verstoord indien er een serieuze calamiteit met waterstof gebeurt.

10. Aggregatie van de resultaten

Aspect	Laag (negatief)					Hoog (positief)					
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2. Potentieel											
Indicator 1: Technisch 2020											
Indicator 2: Technisch 2050											
Indicator 3: Markt 2020											
Indicator 4: Markt 2050											
3. Bijdrage verduurzaming											
Indicator 5: Netto besparing prim. energie											
Indicator 6: Netto besparing broeikasgas											
Indicator 7: Andere milieu-effecten											
Indicator 8: Stepping stone en lock-in											
4. Bijdrage voorzieningszekerheid											
Indicator 9: Voorzieningszekerheid											
5. Stadium van de techniek											
Indicator 10: Kansen voor bedrijfsleven											
Indicator 11: Risico, afhankelijkheid buitenland											
6. Stakeholders											
Indicator 12: Draagvlak bij stakeholders											
7. Kosten, baten (relatief)											
Indicator 13: Kosten											
8. Burger											
Indicator 14: Draagvlak bij de burger											
9. Beleid											
Zie onderstaand kader											

Knelpunt	Beleidsmaatregel	Afhankelijkheid (hoog/laag)
Hoge kosten brandstofcellen	Meer R&D gelden	4 ^a
Prijsverschil met conventionele elektriciteit/warmte	Fiscaal voordeel waterstof	8
Weinig animo bij de consument	Voorlichting en communicatie strategieën	5 ^b
Ontbreken van waterstof infrastructuur	Complex, o.a. gezien de afhankelijk van succes brandstofcel in eindgebruik, welke erg onzeker is. Constructie vereist mogelijk publieke initiatieven (parallel aardgas net).	5

Toelichting kleuren:	
	Zeker, gebaseerd op harde, betrouwbare gegevens
	Minder zeker, gebaseerd op weinig betrouwbare gegevens
	Onzeker, gebaseerd op ruwe gissingen en expert judgement

Bronnen

ECN (2005): *Energiescenario's in het kader van de WLO studie*. ECN, nog te verschijnen.

ECN/RIVM (2005): *Referentieraming Energie en Emissies 2005-2020*. ECN-C-05-018, 2005.

M. Menkveld, Y. Boerakker, R. Mourik, "Energietransitie in de gebouwde omgeving" ECN C-05-031

R. van den Hoed, "Driving Fuel Cell Vehicles. How Established Industries React to Radical Technologies", TU Delft, 2004.

Barten 2005: Interview met H.Barten, SenterNovem, senior manager waterstof en brandstofcellen.

de Bruijn 2005: Interview met F.A.de Bruijn, unit manager ECN Brandstofceltechnologie

Jeeninga 2005: Informatie H.Jeeninga, ECN unit Beleidsstudies.

van der Klein 2005: Interview met C.A.M.van der Klein, adjunct-directeur ECN

van der Meer 2005: Interview met Jan-Piet van der Meer, directeur van Nedstack BV

Thema 2: Ketenefficiency

Pad: 2.1 Papierindustrie

Auteurs: Ernst Worrell en Rogier Coenraads, Ecofys

1. Globale beschrijving van het transitiepad

De Vereniging Nederlandse Papier en Karton Industrie (VNP) en het Kenniscentrum Papier en Karton (KCPK) hebben de ontwikkeling van transitiepaden aangegrepen om te komen tot een drastische reductie (een halvering) van het energiegebruik in de papierketen in Nederland. De Nederlandse papier en kartonindustrie is relatief in de wereld erg efficiënt (tussen de fabrieken onderling is nog wel een spreiding in energie efficiency). Desondanks blijven energiekosten een belangrijke kostenpost, en zal deze in de toekomst waarschijnlijk stijgen. Dit is de uitdaging die de VNP heeft opgepakt, maar wel als onderdeel van het streven naar innovatieve papierindustrie waardoor Nederland een belangrijke internationale concurrerende vestigingsplaats blijft voor de in toenemende mate internationale papierindustrie. Met andere woorden, het transitieproject streeft naar een unieke positie van de Nederlandse papierindustrie op het gebied van energie-efficiency (zoals deze al heeft op het terrein van papierrecycling) zodat buitenlandse investeerders investeren in nieuwe papiermachines in Nederland en niet elders in Europa.

Het transitieproject richt zich niet op één specifieke technologie, maar richt zich voornamelijk op de identificatie van mogelijkheden binnen de gehele papierketen (inclusief grondstoffenvoorziening, papierproductie, papierverwerking, productontwerp, en recycling). Hiervoor is begonnen met twee teams (het zgn. science- and het consultants-team) die in competitie een inventarisatie maken van mogelijkheden om de doelstelling te realiseren. De resultaten van beide teams worden door een jury beoordeeld, die in november 2005 haar oordeel zal vellen. Naar verwachting zal er hierna een roadmap worden ontwikkeld om de doelstelling van het transitietraject te realiseren.

2. Wat kan het beschreven transitiepad ten minste en ten hoogste bereiken in de context van de Nederlandse energiehuishouding op langere termijn (2020, 2050)?

Bij deze vraag gaat het om het *bruto* effect van het pad op de energievoorziening. Het gaat hier dus *niet* om de netto energiebesparing of vermeden fossiele energie (Dat is terug te vinden in sectie 3). Deze vraag is uitgesplitst in een *technisch* potentieel en een *marktpotentieel*. Voor de inschatting daarvan zijn enkele algemenere gegevens nodig

2.1 Algemeen

De industrie streeft naar een halvering van het energiegebruik in de papierketen. Hoewel dit energiegebruik niet bepaald is, kan op basis van het energiegebruik van de Nederlandse papierindustrie tenminste een besparing van 16 PJ worden verwacht (uitgaande van het energiegebruik in 2000).

De papierindustrie gebruikt naar schatting circa 60% van het energiegebruik in de keten. Hiermee kan de totale energiebesparings-doelstelling geschat worden op 27 PJ.

2.2 Technisch potentieel voor 2020

Onder het technisch potentieel verstaan we het potentieel wanneer het pad volledig gebruikt wordt voor alle opties c.q. toepassingen waarvoor ze technisch geschikt is. Daarbij is wel rekening

gehouden met fysieke beperkingen (bijvoorbeeld de maximale biomassa-import, de maximale ruimte op de Noordzee, etc.)

Waar mogelijk is voor een inschatting van het potentieel gebruik gemaakt van de huidige en verwachte verbruikssaldi uit bijlage B van de referentieramingen en voor 2020 de cijfers van het GE-scenario. Ter informatie zijn de verbruiksgegevens per sector opgenomen in bijlage 1 van dit document. De schattingen worden zoveel mogelijk onderbouwd met argumenten.

Er vanuit gaande dat de groei in het energiegebruik van de papierketen net zo snel groeit als de papierindustrie in de referentieramingen (scenario GE) dan komt de te verwachten energiebesparing uit op 36 PJ in 2020.

Het pad zal bestaan uit een pakket aan opties waarvan een deel ruim voor 2020 beschikbaar zal zijn, en een aantal aan het begin van het implementatietraject zullen staan in 2020.

NB: In de referentieramingen voor de papierindustrie zit een vreemde aanname, met een sterke groei tot 2010 (2.1%/jaar), gevolgd door een groei van 1% per jaar in de periode 2010-2020. Dit werkt zeer bevreemdend en wordt niet nader verklaard in de referentieramingen.

2.3 Technisch potentieel voor 2050

Voor 2050 zijn geen gedetailleerde ramingen beschikbaar. Daarom werken we met een kwalitatieve inschatting van de ontwikkelingen tussen 2020 en 2050, om zo aan te geven of de potentiële groter of kleiner worden.

Dit is onmogelijk in te vullen voor de papierketen, mede gezien het ambitieniveau om de transitie reeds in 2020 bereikt te hebben.

2.4 Marktpotentieel 2020

Bij inschatting van het marktpotentieel gaat het om een kwalitatieve inschatting van het potentieel van het pad in markten waar het kan concurreren met de huidige referentie(s) en andere opties. Dat hangt dus samen met het ontwikkelingspad en talloze aspecten rond implementatie.

De doelstelling van de transitie in de papierketen is zodanig geformuleerd dat het marktpotentieel gelijk is aan het technisch potentieel.

2.5 Marktpotentieel 2050

Dit is onmogelijk in te vullen voor de papierketen, mede gezien het ambitieniveau om de transitie reeds in 2020 bereikt te hebben.

3. Bijdrage aan de verduurzaming van de energiehuishouding

Bij de bijdrage aan de verduurzaming van de energievoorziening kijken we naar vier aspecten:

- De *netto* vermeden primaire energie;
- De *netto* vermeden emissie van broeikasgassen
- De mogelijke andere (positieve of negatieve) milieu-effecten van het pad;
- De kans op stapsteen- en lock-in effecten.

Al deze effecten baseren we op het technisch potentieel voor 2020 (of, als het pad op langere termijn gericht is, 2050). Bovendien worden de *netto* effecten niet alleen gebaseerd op een vergelijking met ontwikkelingen in de huidige referentie, maar op met andere toekomstige opties voor verduurzaming in de betrokken sector(en).

3.1 Netto vermeden primaire energie 2020

Bij de netto vermeden primaire energie gaat het om de netto verlaging van het energieverbruik ten opzichte van de referentie en andere ontwikkelingen (

Dit is gelijk aan de te verwachten besparing in 2020: 36 PJ.

3.2 Netto vermeden broeikasgasemissies 2020

Voor de netto vermeden broeikasgasemissies zijn niet alleen de vermeden emissie van CO₂ in rekening gebracht, maar ook die van de belangrijkste andere broeikasgassen, zoals methaan, CFK's en anderen.

Aardgas is de dominante brandstof in de papierindustrie. Er vanuit gaande dat dat ook in 2020 het geval is wordt de vermeden hoeveelheid broeikasgasemissies geschat op 2.0 MtCO₂. Andere broeikasgasemissies zijn erg klein in de papierindustrie.

3.3 Mogelijke andere (positieve of negatieve) milieu-effecten

Ook bij het bepalen van de andere positieve of negatieve milieu-effecten is het van belang om de prestaties van het pad te vergelijken met die van de (toekomstige) referentie.

Er wordt gewerkt aan een menu van opties om de besparingen te bereiken. Het is zeer waarschijnlijk dat opties zoals materiaal efficiency en keten management hierin ook een rol spelen. Dit zou leiden tot reducties in afvalstromen.

Bovendien leidt ene vermindering in brandstofverbruik tot een vermindering in luchtverontreinigende emissies (m.n. NO_x).

3.4 Stapstenen en lock-ins

Het potentieel van het pad wordt ook sterk bepaald door de mate waarin het pad past binnen andere te voorziene ontwikkelingen. Is het pad een goede tussenstap richting nog ingrijpende vernieuwingen, of zorgt het juist voor lock-in effecten die fundamentele vernieuwingen zullen belemmeren?

Het pad omvat waarschijnlijk een breed menu aan opties die gecombineerd zullen bijdragen aan de realisatie van het transitiepad. Het is op voorhand moeilijk in te schatten of er lock-in effecten zullen optreden. Implementatie van het transitiepad zal gebeuren terwijl de industrie zich verder ontwikkelt, wat, samen met het menu aan technologische opties, het risico hiervan vermindert.

Het menu is op dit moment nog niet duidelijk. Er zijn twee studies uitgezet die zullen bijdragen aan de samenstelling van het menu. Deze worden gepresenteerd tijdens de VNP jaarvergadering op 22 November 2005.

4. Effect op de voorzienings- en leveringszekerheid

Voor dit onderdeel vijf criteria voorgesteld:

- Het effect op de vraag naar energiebronnen
- Het effect op het aandeel fossiele bronnen in de energievoorziening
- Het effect op het aandeel import van bronnen in de energievoorziening
- Het effect op het energie-portfolio: de mate waarin het pad bijdraagt aan een verdere spreiding over de verschillende fossiele en hernieuwbare energiebronnen
- Het effect op de stabiliteit en belastbaarheid van het elektriciteitsnet

Het transitiepad zal leiden tot een vermindering van de aardgas-en elektriciteitsvraag (en mogelijk grondstoffenvraag). Dit draagt bij aan afhankelijkheid van aardgasimport op de lange termijn. Een vermindering van de grondstofvraag kan leiden tot minder houtgebruik, en kan een (kleine) invloed hebben op biomassaprijzen.

Uiteindelijk draagt een vermindering van de vraag nog het meeste bij aan een risicoreductie; meer dan een differentiatie van de brandstofmix.

5. Aansluiting bij internationale kennis- en marktontwikkelingen

Veel transitiepaden zijn afhankelijk van R&D-inspanningen of marktontwikkelingen op Europees of mondiaal niveau. Het is daarom belangrijk om een beeld te krijgen van de internationale ontwikkelingen op dit gebied. Andere zijn een puur Nederlandse aangelegenheid, waarbij dat minder van belang is.

Bovendien is het een belangrijke vraag of het transitiepad nieuwe business-opportunities kan opleveren voor het Nederlandse bedrijfsleven.

5.1 Kansen voor het bedrijfsleven

Om dit te verkennen werken we met de onderstaande tabel. Deze is ingevuld voor het pad als geheel of, wanneer het pad een aantal verschillende componenten of technologieën bevat, per component.

1 Status vd techniek	2 Nationaal / mondiaal?	3 Nederlandse positie en kansen wat betreft				
		Kennisinfra	Bedrijfsleven	toeleveranciers	markt	Infrastruct.
Concept	nationaal	X	X	X		
R&D	Internat.	X	X			
Pilot-fase						
Near-to-market						
Bestaand			X			

Deze tabel is moeilijk in te vullen. Onduidelijk is wat er bedoeld wordt met de verschillende cellen.

Er is geen sprake van directe concurrentie met andere transitiepaden. De toekomst van de Nederlandse papier-en karton industrie is de centrale inzet. Dit kan slechts door innovatie behaald worden. De energietransitie wordt gezien als een drijvende kracht voor deze innovatie.

De energietransitie in de papierketen zal ondermeer gebruik moeten maken van toenemende WKK-capaciteit, en eventueel biomassagebruik voor binnenlandse pulpproductie. Toenemend gebruik van (gesubsidieerd) biomassa in de energievoorziening zorgt wel voor een verhoging van grondstofprijzen voor de papierindustrie. Op dit moment is het onduidelijk welke technologie een sleutelrol zal spelen in de realisatie van het transitiepad, en dus met welke transitiepaden er geconcurrereerd zal worden.

5.2 Risico's door afhankelijkheid van buitenlandse ontwikkelingen

De robuustheid van het pad wordt in hoge mate bepaald door de mate waarin het pad afhankelijk is van internationale ontwikkelingen, en natuurlijk door de mate waarin die ontwikkelingen er florissant uitzien.

Een deel van de technologie zal noodzakelijkerwijs uit andere (Europese) landen komen. De belangrijkste leveranciers van papiermachines komen uit Duitsland en Finland. De Scandinavische papierindustrie wordt gesteund door de regeringen voor de ontwikkeling van de industrie. Hierbij is

energie slechts een van de aandachtsgebieden. Overigens, is er sprake van een goede samenwerking tussen de Europese papierindustrie met betrekking tot R&D, waarin Nederland aandacht rekt met het transitietraject. Dit lijkt er toe te leiden dat Nederland hier in Europees verband een leiderschapsrol kan spelen.

Het zal bijdragen aan een internationaal concurrerende papier-en karton in Nederland. Mogelijkerwijs is er ook technologie (sensors, etc.) waar Nederland een commerciële kans kan creëren.

6. Draagvlak bij de meest relevante stakeholders

Voor een inventarisatie van het krachtenveld gebruiken we een krachtenveld-analyse

In het transitiepad werken vertegenwoordigers van alle papierfabrieken, de VNP, KCPK, alsmede relevante consultants en kennisinstituten samen. Ook nemen fabrikanten van technologie (o.a. papiermachinefabrikanten, gebruikers van papier) deel aan het proces. Door deze unieke samenwerking binnen de papierketen in vrijwel alle relevante stakeholders vertegenwoordigd.

De papier-en karton industrie, toeleveranciers, papier verbruikende industrie (verpakkingen, drukkerijen, communicatie) en papiergebruikers (diensten sector, detailhandel, consumenten. Belangrijk is om te realiseren dat de belangrijkste technologieleveranciers van de papierindustrie niet in Nederland zijn gevestigd (er zijn slechts twee belangrijke papiermachinefabrikanten in de wereld).

De benadering is van toepassing op elke sector in Nederland, en kan als zodanig inspireren. Tegelijkertijd is de rol van de VNP binnen haar industrie uniek, en zal een exacte kopie van de benadering niet toepasbaar zijn.

7. Kosten en baten van het transitiepad

De kosten van een transitiepad zijn over het algemeen nog niet goed in te schatten. Daarvoor zijn het tenslotte transitiepaden. Om toch enigszins grip te krijgen op de kosten maken we een kwalitatieve inschatting van de belangrijkste kostencomponenten:

- R&D-kosten (voor de ontwikkeling van de optie)
- Implementatiekosten (om de optie door een leercurve te krijgen en zo de kosten te verlagen)
- Een structurele onrendabele top in vergelijking met concurrerende opties.

Uitwerking

- Kosten voor R&D, technologie-ontwikkeling, inpassing in bestaande systeem
De kosten voor RD&D zijn op voorhand moeilijk in te schatten, zonder meer kennis van het menu aan opties (deze is nu in ontwikkeling, en zal in november duidelijker worden). Er zullen investeringen in RD&D nodig zijn, maar deze zullen ws. in een groot aantal sectoren plaatsvinden door de gehele keten.
- Hoewel investeringen in technologie en (gerichte) RD&D nodig zullen zijn, zullen de kosten in het algemeen slechts weinig afwijken van normale investeringscriteria. Hierbij wordt opgemerkt dat het pakket/menu aan opties nog onduidelijk is.
- Per definitie kan er geen onrendabele top bestaan, omdat de industrie dan in problemen kan komen met de Europese Commissie met betrekking tot staatshulp.
- Het zal bijdragen aan een betere positie van Nederland als kenniscentrum en producent van innovatieve papierproducten. Hierdoor zullen buitenlandse investeerders aangetrokken worden (22 van de 27 papierfabrieken zijn eigendom van multinationals).

8. (Noodzakelijk) draagvlak van de burger

Voor dit criterium kijken we naar drie onderdelen:

- Publieke perceptie van het pad in algemene zin (bijvoorbeeld: waterstof is schoon, maar explosief);
- Mogelijke weerstanden op lokaal niveau (NIMBY), bijvoorbeeld weerstand tegen vulstations);
- Vereiste gedragsverandering van de burger (bijvoorbeeld bereidheid om bifuel auto te rijden en aardgas te tanken).

Het transitietraject beslaat de hele papierketen, en kan ook leiden tot wijzigingen in het product (ontwerp). De eindgebruiker zal dit moeten accepteren om een markt te voor de nieuwe producten te genereren. (b.v. herbruikbare transportverpakking, herdrukbaar papier) Ook kan het leiden tot een andere vorm van papierinzameling (b.v. gescheiden inzameling bij de bron) dat alleen kan slagen met medewerking van de consument.

Aspect		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1: Perceptie algemeen	Negatief						X					Positief
2: Perceptie lokaal	Negatief					X						Positief
3: Gedragsverandering	Veel (neg)							X				Weinig (pos)

9. Vereiste beleidsmaatregelen

Voor de overheid is het van belang te weten in hoeverre de realisatie van het pad afhankelijk is van beleidsmaatregelen, en verder wat dan de belangrijkste vereiste maatregelen zijn.

Versterking van huidig beleid is noodzakelijk (denk hierbij aan eco-design, afvalvermindering, energiebesparing en klimaat), maar daarnaast zal gekeken dienen te worden hoe het beste

RD&D gestimuleerd kan in het kader van product/materiaalketens, en zal actievere ondersteuning door de overheid van innovatie binnen de papierketen noodzakelijk zijn.

Eventuele verandering in regelgeving zou mogelijk kunnen zijn, indien deze als barriere wordt gezien voor de realisatie van het transitietraject (denk hierbij aan milieuvergunning, afvalbeleid).

Actievere ondersteuning van de papierindustrie door de Nederlandse overheid is noodzakelijk om de industrie binnen het Europese krachtenveld te kunnen handhaven. Dit kan ondersteuning van deelname aan Europese programma's zijn (zoals de Scandinavische landen dit doen binnen het 7e Framework programma), of juist beleid ter versterking van de kracht van de Nederlandse papierindustrie (b.v. recycling, energie efficiency).

10. Aggregatie van de resultaten

Aspect	Laag (negatief)						Hoog (positief)			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2. Potentieel										
Indicator 1: Technisch 2020										
Indicator 2: Technisch 2050										
Indicator 3: Markt 2020										
Indicator 4: Markt 2050										
3. Bijdrage verduurzaming										
Indicator 5: Netto besparing prim. energie										
Indicator 6: Netto besparing broeikasgas										
Indicator 7: Andere milieu-effecten										
Indicator 8: Stepping stone en lock-in										
4. Bijdrage voorzieningszekerheid										
Indicator 9: Voorzieningszekerheid										
5. Stadium van de techniek										
Indicator 10: Kansen voor bedrijfsleven										
Indicator 11: Risico, afhankelijkheid buitenland										
6. Stakeholders										
Indicator 12: Draagvlak bij stakeholders										
7. Kosten, baten (relatief)										
Indicator 13: Kosten										
8. Burger										
Indicator 14: Draagvlak bij de burger										
9. Beleid										
Zie onderstaand kader										

Toelichting kleuren:	
	Zeker, gebaseerd op harde, betrouwbare gegevens
	Minder zeker, gebaseerd op weinig betrouwbare gegevens
	Onzeker, gebaseerd op ruwe gissingen en expert judgement

Thema 2: Ketenefficiency

Pad: 2.2 Algen en wieren³

Auteur : Esther Luiten

Vooraf

Hèt transitiepad algen en wieren bestaat niet. Binnen het platform Groene Grondstoffen zullen algen en wieren waarschijnlijk onderdeel gaan uitmaken van één transitiepad, dat ook de productie van andere bronnen van biomassa omvat waaronder een derde bron van mariene biomassa nl. zoute planten (halofyten in de zoutwaterlandbouw). In hoeverre het platform ketenefficiency algen en wieren een plek gaat geven binnen een van de te definiëren transitiepaden is nu nog onbekend.

Het valt niet binnen het kader van deze opdracht om het transitiepad algen en wieren te definiëren. Ook niet om deze toe te delen aan een van de platforms.

1. Globale beschrijving van het transitiepad

Vormen van mariene biomassa, zoals algen⁴ en wieren⁵, vormen een potentiële bron van groene grondstoffen. Afhankelijk van hun specifieke samenstelling (o.a. koolhydraten, lipiden en essentiële vetzuren, eiwitten, bio-actieve stoffen en pigmenten) kunnen specifieke soorten algen en wieren dienen als bron van (hoogwaardige) grondstoffen voor bijv. voer voor vee (varkens) en aquacultuur (o.a. vissen en mosselen), de chemie (polymeren, bio-materialen) of fijn-chemie, de farmacie en als biomassagrondstof voor de productie van transportbrandstoffen (zowel biodiesel, bioethanol, biogas als waterstof worden genoemd) of de productie van elektriciteit en warmte. Er zijn ook algen die met de energie uit zonlicht direct waterstof produceren.

Het aantal geïdentificeerde, potentiële toepassingen is groot; algen en wieren zijn hoogproductieve plantaardige organismen⁶ die op termijn (meer of minder grote) delen van de energievraag in verschillende sectoren kunnen overnemen. De productie en conversie van de grondstof tot de mogelijke toepassingen (producten) verloopt via heel verschillende omzettingroutes/ ketens⁷.

Algen en wieren lenen zich voor de co-productie van hoogwaardige producten en energie; hoogwaardige componenten worden eerst uit de algen of wieren gehaald, voor bulktoepassingen als bijv. voer- en energie komen de restanten aan bod. De grondstof is dus geschikt voor cascadeverwerking (bijv. productie fijn-chemicaliën en biodiesel), kan ingezet worden om kringlopen van nutriënten te sluiten (hergebruik afvalstromen en waterstromen in gesloten

³ Dit product omvat transitiepad C8 – aquatische biomassa en een onderdeel van transitiepad D2 – zuivel- en veevoederketen. Het tweede deel van het transitiepad D2, nl. de beperking van 'bederving' van geproduceerd voedsel, wordt niet meegenomen. Het transitiepad – C6 zoutwaterlandbouw wordt niet meegenomen. Het idee achter het transitiepad C10 – bioraffinage wordt bepleit voor de productie van algen en wieren.

⁴ Onder algen worden micro-algen verstaan. Micro-algen bestaan uit één of enkele cellen en zweven los in het water (zowel zoet als zout). Micro-algen zijn te klein in open water te telen. Ze worden geteeld in gesloten bassins/ reactoren.

⁵ Wieren zijn meercellige, bladachtige algen die zich in zeewater hechten hard substraat. Langs het strand tref je vaak losgeslagen blaaswier aan.

⁶ Productiviteit in Nederland is ongeveer 30.000 kg d.s. per ha/jr. Jaarlijkse eiwitopbrengst van verschillende producten (kg ds/ ha*jr): alg (spirulina) 24.300 kg; alg (chlorella) 15.700 kg; soja 716 kg; en tarwe 300 kg [Becker, 2003].

⁷ Voor een gedetailleerde beschrijving van productietechnieken voor micro-algen, oogstechnieken en energie-conversie technieken, zie Staats, N. et al. (2005). Toepassen van microalgenkweeksystemen. 5005-03-20-01-021. IVAM. Amsterdam.

productieconcepten⁸) en leent zich (afhankelijk van de toepassing en de soort alg of wier) voor meervoudig ruimtegebruik (bijv. offshorewindmolens en wierenproductie, waterberging en algenproductie, ...).

Op dit moment is de inzet van algen en wieren als bron voor bulktoepassingen zoals bijv. veevoer, visvoer, transportbrandstoffen, elektriciteit of warmte (waar een lagere kostprijs voor moet worden gerealiseerd) niet haalbaar. De winning van hoogwaardige componenten uit algen vereist nog (veel) onderzoek (o.a. bioraffinage) en marktontwikkeling.

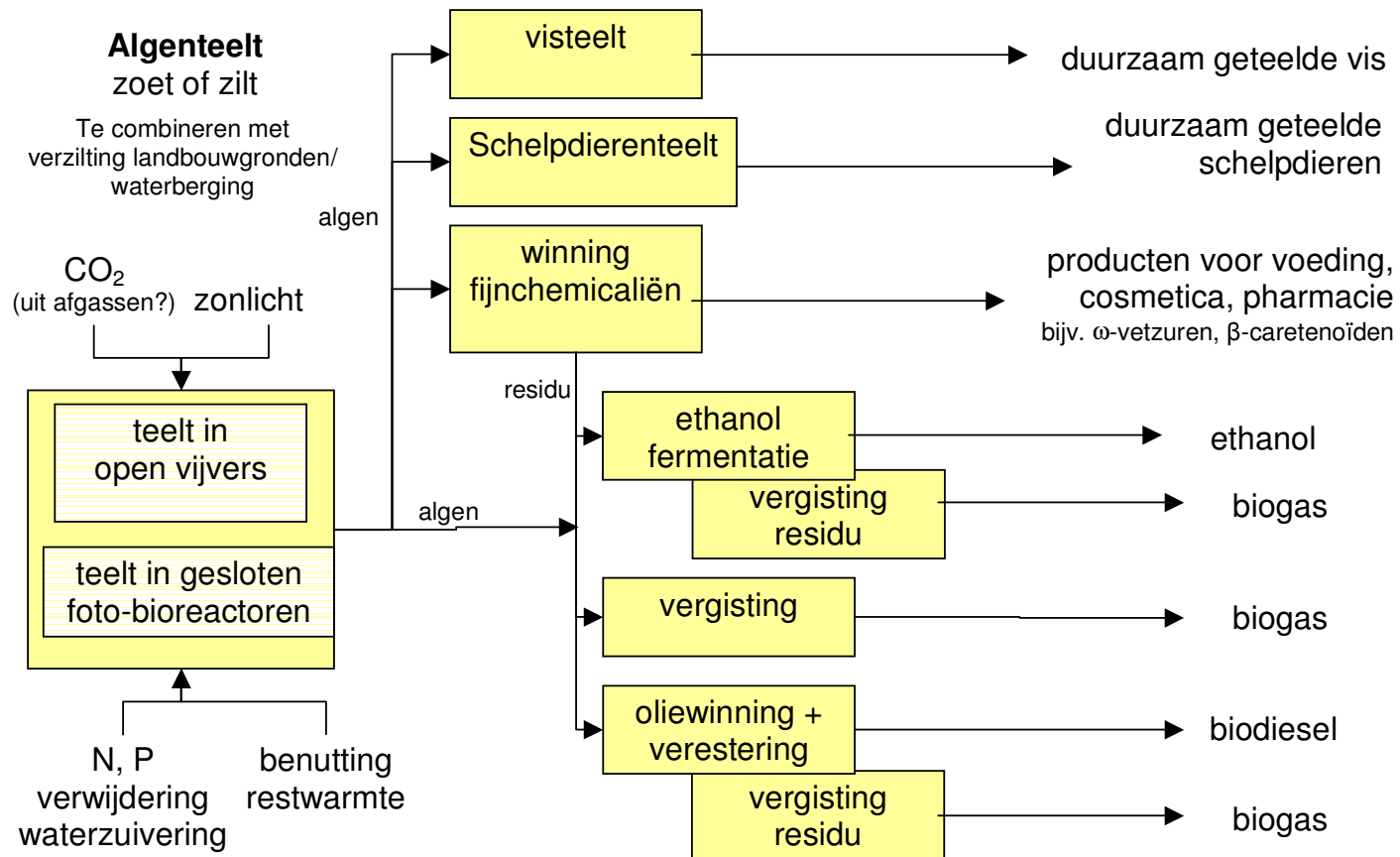
Door te kiezen voor hoogwaardige toepassingen die op de korte termijn marktwaardig zijn, kan de potentie van algen en wieren verkend worden en kan de maatschappij wennen aan deze nieuwe grondstof. Parallel daaraan moet gewerkt worden aan onderzoek en technologieontwikkeling om een significante kostprijsreductie te realiseren (zowel productietechnieken van micro-algen als wieren, oogstechnieken, maar ook bioraffinage tbv isolatie hoogwaardige componenten en energieconversietechnieken). Door deze twee sporen te stimuleren kan de kritische massa van dit pad vergroot worden.

Het is niet mogelijk om voor dit transitiepad een algemene referentie te beschrijven; voor elke potentiële toepassing is de referentie voor productie en verwerking anders.

⁸ Bijv. de productie van algen op basis van natuurlijke mineralen uit drijfmest. De algen worden gebruikt als eiwitcomponent voor veevoer.

De onderstaande figuur geeft een indruk van de cascadeprocessing van algen en wieren.

Bron: Bottema, S.R. et al. (2005). Grootschalige kweek van wieren in de Veenkoloniën voor food & feed, fijn-chemicaliën en energie. Van Hall Instituut. Energy Valley. Avebe. Leeuwarden.



2. Wat kan het beschreven transitiepad ten minste en ten hoogste bereiken in de context van de Nederlandse energiehuishouding op langere termijn (2020, 2050)?

Bij deze vraag gaat het om het *bruto* effect van het pad op de energievoorziening. Het gaat hier dus *niet* om de netto energiebesparing of vermeden fossiele energie (Dat is terug te vinden in sectie 3). Deze vraag is uitgesplitst in een *technisch* potentieel en een *marktpotentieel*. Voor de inschatting daarvan zijn enkele algemenere gegevens nodig.

2.1 Algemeen

Het transitiepad kan aangrijpen op de volgende sectoren:

- Agroproductie (o.a. koppelen van gemengde bedrijven, mestverwerking, nieuwe productiesoort voor bijv. glastuinbouw, maar ook de toepassing van algen als bodembemester).
- Voerindustrie (eiwitbron voor mengvoer voor bijv. varkensteelt, maar ook als gezondheidsbevorderende component in voer⁹).
- Aquacultuur (geïntegreerde cultures van algen en schelpdieren of van algen en vissen evt. icm waterzuivering).
- Organische bulkchemie (platform-chemicaliën¹⁰ via fermentatie).
- Voedingsmiddelenindustrie en fijn-chemie (denk aan componenten als o.a. gezonde vetzuren, phycocolloïden, pigmenten, anti-oxidanten en andere voedingsingrediënten).
- Farmacie.
- Verkeer en vervoer (transportbrandstoffen dmv fermentatie van koolhydraten tot bio-ethanol; anaërobe vergisting; extractie van olie gevolgd door verestering tot biodiesel; Hydro Thermal Upgrading voor biodiesel; en super kritische vergassing).
- Energiesector (elektriciteit of warmteproductie via anaërobe vergisting of evt. verbranding of vergassing¹¹).
- Waterzuivering en sanitatie (industriële, gemeentelijk (RWZI's) en decentrale huishoudelijke sanitatie) en waterbeheer.

Afhankelijk van de toepassing zullen algen en wieren bepaalde productie- en verwerkingstechnieken vervangen. Het is niet mogelijk om één referentie te geven; deze hangt af van de specifieke toepassing.

2.2 Technisch potentieel voor 2020

Onder het technisch potentieel verstaan we het potentieel wanneer het pad volledig gebruikt wordt voor alle opties c.q. toepassingen waarvoor ze technisch geschikt is. Daarbij is wel rekening gehouden met fysieke beperkingen (bijvoorbeeld de maximale biomassa-import, de maximale ruimte op de Noordzee, etc.)

De gegevens die voor handen zijn omvatten slechts bepaalde delen van het transitiepad algen en wieren. Waar mogelijk is voor een inschatting van het potentieel gebruik gemaakt van de huidige en verwachte verbruikssaldi uit bijlage B van de referentieramingen en voor 2020 de cijfers van het GE-scenario. Ter informatie zijn de verbruiksgegevens per sector opgenomen in bijlage 1 van dit document. De schattingen worden zoveel mogelijk onderbouwd met argumenten.

⁹ Onderzoek binnen het OTC-project Wieren in duurzame agroketens toont aan dat specifieke algen het niet specifieke immuunsysteem van vissen kunnen stimuleren, waardoor algen een mogelijk alternatief kunnen worden voor het gebruik van anti-biotica. Bron: AKK (2004). Wieren in duurzame agroketens. AKK9044/MvdH/ts. Den Bosch.

¹⁰ Ethanol, azijnzuur, butyraldehyde, adipine zuur, butanol, melkzuur, glycerol, 2-3 butanediol etc.

¹¹ Minder aantrekkelijk ivm noodzaak van drogen.

Het is niet goed mogelijk om een goede schatting te geven van het technisch potentieel in 2020 omdat de denkbare toepassingen waar algen en wieren technisch geschikt voor zijn in 2020 niet precie(s)(zer) zijn bepaald. Het is daardoor niet te bepalen welk deel van de vraag naar energie in verschillende sectoren vervangen kan worden door de inzet van algen en wieren.

Voor sommige specifieke toepassingen zijn schattingen beschikbaar (zoals bijv de co-productie van fijn-chemicaliën en energie uit micro-algen¹², de grootschalige teelt van wieren offshore icm offshore windparken¹³ en de productie van HTU-diesel en elektriciteit uit een ton algen¹⁴). Ook zijn er schattingen voor bepaalde schakels uit een volledige verwerkingsketen, zo wordt de primaire productie voor micro-algen en wieren geschat tussen de 600 en 1.900 GJ/ ha (afhankelijk van productietechniek). Voor 2020 is nog geen grootschalige toepassing van algen en wieren te verwachten.

- Indicator 1: geen redelijk betrouwbare inschatting mogelijk

2.3 Technisch potentieel voor 2050

De gegevens, die voor handen zijn richten zich op de lange termijn (vaak 2040 of 2050). Het is op dit moment niet mogelijk om een betrouwbare schatting te geven van het technisch potentieel voor 2050 (PJ). Het aantal potentiële toepassingen van algen en wieren zal groter zijn dan in 2020 door R&D en technologieontwikkeling van productie- en verwerkingstechnieken.

- Indicator 2: geen redelijk betrouwbare inschatting mogelijk

2.4 Marktpotentieel 2020

Bij inschatting van het marktpotentieel gaat het om een kwalitatieve inschatting van het potentieel van het pad in markten waar het kan concurreren met de huidige referentie(s) en andere opties. Dat hangt dus samen met het ontwikkelingspad en talloze aspecten rond implementatie.

Belangrijkste aspect voor de inschatting van het marktpotentieel voor 2020 is de vraag wie er op bepaalde toepassingen van algen en wieren zit te wachten; wie heeft behoefte aan een product en welke eisen stelt hij aan dat product?

- Indicator 3: niet mogelijk.

2.5 Marktpotentieel 2050

Algen en wieren kunnen worden toegepast in een veelheid van verschillende sectoren. Omdat niet bekend is wat de groeicijfers van deze sectoren zijn in Nederland en omdat de onzekerheden in de kostendaling per tot product groot zijn is het lastig om het marktpotentieel voor 2050 in te schatten.

- Indicator 4: niet mogelijk.

¹² Reith, J.H. (red) (2004). Duurzame co-productie van fijn-chemicaliën en energie uit micro-algen. Eindrapport EET project K99005/398510-1010. ECN-C--04-037. Petten.

¹³ Reith, J.H. et al. (2005). BIO-OFFSHORE. Grootschalige teelt van zeewieren icm offshore windparken in de Noordzee. ECN-C—05-008. Petten.

¹⁴ Staats, N. et al. (2005). Toepassen van microalgenkweeksystemen. 5005-03-20-01-021. IVAM. Amsterdam.

3. Bijdrage verduurzaming van de energiehuishouding

Bij de bijdrage aan de verduurzaming van de energievoorziening kijken we naar drie aspecten:

- De *netto* vermeden primaire energie;
- De netto vermeden emissie van broeikasgassen;
- De mogelijke andere (positieve of negatieve) milieu-effecten van het pad;
- De kans op stapsteen- en lock-in effecten.

Al deze effecten baseren we op het technisch potentieel voor 2020 (of, als het pad op langere termijn gericht is, 2050). Bovendien worden de netto effecten niet alleen gebaseerd op een vergelijking met ontwikkelingen in de huidige referentie, maar op met andere toekomstige opties voor verduurzaming in de betrokken sector(en).

3.1 Netto vermeden primaire energie 2020

Bij de netto vermeden primaire energie gaat het om de netto verlaging van het energieverbruik ten opzichte van de referentie en andere ontwikkelingen.

Er is energie nodig voor de productie van algen. Het energieverbruik verschilt sterk voor verschillende productietechnieken van algen en wieren. Om de duurzaamheid van toepassingen van algen goed te kunnen beoordelen zou een volledige massa- en energiebalans noodzakelijk zijn. Ook voor de verwerking van algen en wieren tot verschillende toepassingen is energie nodig. Daarnaast zijn gegevens nodig over de referentie.

Er zijn indicatieve gegevens beschikbaar voor verschillende productiesystemen voor algen en wieren, voor de benodigde verwerkingstechnieken en de gebruikte referentie¹⁵. Een ruwe inschatting stelt dat de helft van de energie-inhoud van micro-algen nodig is voor productie en oogsten. Vanwege het hoge watergehalte van algen en wieren liggen thermische conversietechnieken tbv energie niet voor de hand.

Op dit moment zijn de gegevens van onvoldoende kwaliteit om voor toepassingen het energieverbruik door te rekenen en de netto vermeden primaire energie te bepalen.

- Indicator 5: niet mogelijk.

3.2 Netto vermeden broeikasgasemissies 2020

Voor de netto vermeden broeikasgasemissies zijn niet alleen de vermeden emissie van CO₂ in rekening gebracht, maar ook die van de belangrijkste andere broeikasgassen, zoals methaan, CFK's en anderen.

Het is niet goed mogelijk om de netto vermeden emissie van CO₂ te bepalen. Voor specifieke toepassingen kan deze doorgerekend worden¹⁶; zo is voor biodiesel uit micro-algen bekend dat deze een emissiereductie van bijna 25 ton CO₂/ha*jr; voor de wierenproductie offshore tbv energie is bekend dat de netto CO₂-reductie tov ethanolproductie uit zetmeelgewassen en aardgas ongeveer 2,5 Mton CO₂ is in 2020 (en bijna 13 Mton in 2040). In zijn algemeenheid geldt dat algen en wieren zéér efficiënte vastleggers van CO₂ zijn.

¹⁵ Zie bijv. tabel 3.4 Vergelijking energieverbruik en CO₂ balans van 4 typen kweeksystemen voor micro-algen van teelt tot en met oogst (p. 51) in Staats, N. et al. (2005). Toepassen van microalgenkweeksystemen. 5005-03-20-01-021. IVAM. Amsterdam. Zie ook: hoofdstuk 5 in Bottema, S.R. et al. (2005). Grootschalige kweek van wieren in de Veenkoloniën voor food & feed, fijn-chemicaliën en energie. Van Hall Instituut. Energy Valley. Avebe. Leuwarden. Zie ook: hoofdstuk 5 in Reith, J.H. et al. (2005). BIO-OFFSHORE. Grootschalige teelt van zeewieren icm offshore windparken in de Noordzee. ECN-C—05-008. Petten.

¹⁶ Zie voetnoot 11.

Mogelijke reducties van andere broeikasgassen hangen samen met specifieke de toepassingen. In zijn algemeenheid kan daar niks over gezegd worden.

- Indicator 6: niet mogelijk

3.3 Mogelijke andere (positieve of negatieve) milieu-effecten

Ook bij het bepalen van de andere positieve of negatieve milieu-effecten is het van belang om de prestaties van het pad te vergelijken met die van de (toekomstige) referentie.

Algen en wieren kunnen ingezet worden om fosfaat en stikstofrijke waterstromen te zuiveren en zo nutriënten te hergebruiken. Ook kunnen ze een rol spelen in het oplossen van het mestprobleem.

- Indicator 7: niet mogelijk

3.4 Stapstenen en lock-ins

Het potentieel van het pad wordt ook sterk bepaald door de mate waarin het pad past binnen andere te voorziene ontwikkelingen. Is het pad een goede tussenstap richting nog ingrijpende vernieuwingen, of zorgt het juist voor lock-in effecten die fundamentele vernieuwingen zullen belemmeren?

Stapstenen

Er zijn potentieel geïnteresseerde afnemers voor producten obv algen en wieren te vinden (zoals bijv. mosselwekers die interesse hebben voor mosselzaad). Deze toepassers van kunnen de producten relatief makkelijk invoegen in bestaande ketens. Dit maakt het makkelijk om op korte termijn met specifieke producten op basis van algen en wieren aan de slag te gaan.

De ideeën cascade-processing en bioraffinage voor algen en wieren in combinatie met de flexibele inzet van deze groene grondstof voor verschillende toekomstige energieconversietechnieken, maken dat de grondstof ruim inzetbaar lijkt. Het pad algen en wieren lijkt een aardige bouwsteen richting vergaande vernieuwingen in de energie- en materiaalvoorziening.

Lockin

Op dit moment zijn deze niet geïdentificeerd.

- Indicator 8: 7 [categorie 1 zeker]

4. Effect op de voorzienings- en leveringszekerheid

Voor dit onderdeel vier criteria voorgesteld:

- Het effect op de vraag naar energiebronnen
- Het effect op het aandeel fossiele bronnen in de energievoorziening
- Het effect op het aandeel import van bronnen in de energievoorziening
- Het effect op het energie-portfolio: de mate waarin het pad bijdraagt aan een verdere spreiding over de verschillende fossiele en hernieuwbare energiebronnen
- Het effect op de stabiliteit en belastbaarheid van het elektriciteitsnet

Inzet van algen en wieren kan resulteren in energiebesparing (2 punten uit 0/2/4).

Het transitiepad kan een stevige besparing betekenen op gebruik van fossiele brandstoffen (2 punten uit 0/1/2).

Het is nog niet duidelijk welk deel van algen en wieren biomassa in Nederland of in het buitenland geproduceerd zal worden (0 punten uit 0/1).

Het pad is gunstig voor diversificatie in de energie-portfolio (1 punten uit 0/1).

En heeft voor zover nu bekend is geen invloed op de stabiliteit en belastbaarheid van het elektriciteitsnet (0 punten uit -2/0/2).

- Indicator 9: 5 [categorie 1 zeker]

5. Aansluiting bij internationale kennis- en marktontwikkelingen

Veel transitiepaden zijn *afhankelijk* van R&D-inspanningen of marktontwikkelingen op Europees of mondiaal niveau. Het is daarom belangrijk om een beeld te krijgen van de internationale ontwikkelingen op dit gebied. Andere zijn een puur Nederlandse aangelegenheid, waarbij dat minder van belang is.

Bovendien is het een belangrijke vraag of het transitiepad nieuwe business-opportunities kan opleveren voor het Nederlandse bedrijfsleven.

5.1 Kansen voor het bedrijfsleven

Om dit te verkennen werken we met de onderstaande tabel. Deze is ingevuld voor het pad als geheel of, wanneer het pad een aantal verschillende componenten of technologieën bevat, per component. Geef expliciet aan waarvoor het pad is ingevuld.

Nederland heeft internationaal gezien een respectabele kennispositie op het gebied van algen en wieren. De kennisbasis is diep op een groot aan relevante deelonderwerpen, maar niet heel stevig (in termen van aantallen fte's). Er wordt door Nederlandse kennisinstellingen nauw samen gewerkt met internationale partners.

Nederland heeft ook een goede kennisinfrastructuur op het gebied van productie en verwaarding agro-grondstoffen, veevoer en biomassa.

Nederland is sterk in sectoren waar algen en wieren geproduceerd dan wel mogelijk toegepast kunnen worden; er is traditioneel een sterke veevoerindustrie, er is hoogwaardige aquacultuurindustrie en een innovatief bedrijfsleven op het gebied van de agroproductie en -verwerking en een innovatief bedrijfsleven in de chemie en voedingsmiddelen. Stimuleert ook kennisintensieve MKB.

Tenslotte zijn in Nederland benodigde productiefactoren zoals water (zout en zoet) en nutriënten en CO₂ beschikbaar.

De tabel is ingevuld voor het pad als geheel.

- Indicator 10: 9,5 (=19/20*10) [categorie 1 zeker].

1	2	3				
		Nederlandse positie en kansen wat betreft				
Status vd techniek	Nationaal / mondiaal?	Kennisinfra	Bedrijfsleven	Toeleveranciers	Markt	Infrastruct.
Concept						
R&D	Nationaal	1	1	1	1	1
Pilot-fase	Nationaal	1	1	1	1	1
Near-to-market	Nationaal	1	1	1	1	1
Bestaand	Nationaal	1	1	1	0	1

5.2 Risico's door afhankelijkheid van buitenlandse ontwikkelingen

De robuustheid van het pad wordt in hoge mate bepaald door de mate waarin het pad afhankelijk is van internationale ontwikkelingen, en natuurlijk door de mate waarin die ontwikkelingen er florissant uitzien.

De economische haalbaarheid van producten op basis van algen en wieren wordt voor de meeste toepassingen bepaald in een internationale markt. Zeker voor bulktoepassingen is de internationale concurrentie gebaseerd op kostprijs.

- Indicator 11: 8 [categorie 2 minder zeker]

6. Draagvlak bij de meest relevante stakeholders

Voor een inventarisatie van het krachtenveld gebruiken we een krachtenveld-analyse.

Voor dit pad zijn de volgende stakeholders van belang.

Kennisinstellingen [A]:

- WUR (verschillende universitaire onderzoeksgroepen en onderzoeksinstituten)
- ECN
- IVAM
- VU
- TNO

Bedrijven – Kwekers [B]:

- Individuele producenten van algen en wieren (veelal pioniers die experimenteren met commerciële algenkweek o.a. TechnoGrow in Made)
- Bedrijven met reststromen waar algen op kunnen groeien, o.a. viskwekers
- Tuinbouw
- Moderne gemengde en geschakelde productiebedrijven (zgn. “agro-parken”)

Bedrijven – Ondernemers die potentieel behoefte hebben aan producten obv algen en wieren [C]:

- Mossel- en oesterkwekers (bijv. mosselzaad dat in gesloten systemen groeit op algen)
- Viskwekers
- Veevoerindustrie
- Visvoerindustrie (o.a. Nutreco, Coppens en Provimi)
- Waterzuiveringsbedrijven
- Bedrijven in fijn-chemicalieën als Numico, CSK Food Enrichment, Koninklijke Sanders en DSM.
- Energiebedrijven

Financiers [D]:

- Venture capitalists

Bedrijven - Toeleveranciers (machines, productietechnieken en grondstoffen) [E]:

- Machinebouwers (o.a. fotobioreactoren en fermentoren, maar ook andere productie-, droog-, scheiding- en (energie-)conversietechnieken)
- Philips (licht tbv productie)

Anderen bijv. mede-exploitanten die mee moeten doen [F]:

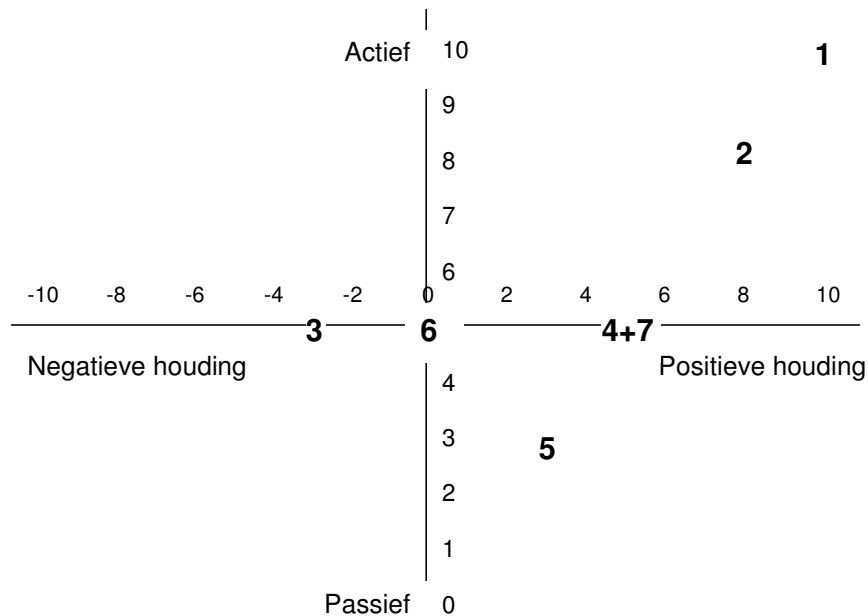
- Waterschappen
- Windmolenexploitanten

Overheden [G]:

- Nationaal
- Lokaal of provinciaal
- Brussel

De zeven categorieën geïdentificeerde stakeholders [A t/m/ G] zijn geplaatst in de matrix actief-passief en positief negatief. Of er echt energie zit van consortia op algen en wieren moet veel meer gezocht worden op het niveau van toepassingen dan in zijn algemeenheid; in de categorie [C] is bijvoorbeeld de mosselsector positief terwijl bedrijven als DSM, Numico en anderen zich een afwachtende houding kunnen veroorloven.

- Indicator 12: 7 [categorie 2 minder zeker]



7. Kosten en baten van het transitiepad

De kosten van een transitiepad zijn over het algemeen nog niet goed in te schatten. Daarvoor zijn het tenslotte transitiepaden. Om toch enigszins grip te krijgen op de kosten maken we een kwalitatieve inschatting van de belangrijkste kostencomponenten:

- R&D-kosten (voor de ontwikkeling van de optie)
- Implementatiekosten (om de optie door een leercurve te krijgen en zo de kosten te verlagen)
- Een structurele onrendabele top in vergelijking met concurrerende opties.

Op dit moment zijn er weinig betrouwbare gegevens beschikbaar om tot een goede inschatting te komen voor dit criterium voor de alle denkbare toepassingen die onder het pad algen en wieren kunnen vallen.

R&D-kosten:

Geen goede schatting mogelijk. Intuïtief: orde grootte miljoenen euro per jaar.

Implementatiekosten:

Geen goede schatting mogelijk.

Onrendabele top:

Wanneer de kosten van de grondstof (voor de verschillende toepassingen) hoger zullen zijn dan een alternatief dat in de markt verkrijgbaar is zullen algen en wieren niet toegepast gaan worden.

NB Algen en wieren zullen minimaal dezelfde, maar liever een betere (dan wel een unieke) kwaliteit moeten hebben dan het alternatieve grondstof, zullen op voldoende schaal geproduceerd moeten kunnen worden en zullen stipt aangeleverd moeten kunnen worden tbv verwerking. Wanneer ondernemers aan de toepassingskant geen garanties krijgen mbt deze aspecten zullen zij niet geïnteresseerd zijn in deze grondstof.

- Indicator 13: waarschijnlijk $5 + 1 + 3 = 9$ [categorie 3 onzeker]

8. (Noodzakelijk) draagvlak van de burger

Voor dit criterium kijken we naar drie onderdelen:

- Publieke perceptie van het pad in algemene zin (bijvoorbeeld: waterstof is schoon, maar explosief);
- Mogelijke weerstanden op lokaal niveau (NIMBY), bijvoorbeeld weerstand tegen vulstations);
- Vereiste gedragsverandering van de burger (bijvoorbeeld bereidheid om bifuel auto te rijden en aardgas te tanken).

In principe hoeft de burger niet veel te merken van het toepassen van componenten uit algen in producten of het toepassen van algen en wieren als grondstof voor groene energie of transportbrandstof.

Algen en wieren lopen in zijn algemeenheid wel aan tegen een onbekendheid van de grondstof. Burgers denken aan blauwalgen in zwembadwater (negatieve associatie).

Wanneer en aan consumptiegoederen als vlees, vis of gezondheidsproducten een legitieme gezondheidsclaim kan worden gelegd door de aanwezigheid van componenten uit algen, zal de burger positief gecharmeerd zijn. Om geloofwaardig te zijn moeten claims onderbouwd worden.

Om tot en hogere productiviteit te komen van algen en wieren of om de accumulatie van bepaalde gewenste componenten in algen en wieren te verbeteren (hogere concentraties waardevolle componenten) zou genetische modificatie ingezet kunnen worden. Deze mogelijke stap in onderzoek brengt algen en wieren in discussies over GMO.

Wanneer er sprake is van een vorm van algen en wierenproductie die veel ruimte gaat vragen (hectares) ontstaat er mogelijk een discussie over ruimtelijke inpassing en conflicten met andere gebruikers die een claim hebben in dat gebied.

➤ Indicator 14: $(0,25*7) + (0,25*5) + (0,5*10) = 8$ [categorie 1 zeker]

Aspect		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1: Perceptie algemeen	Negatief											Positief
2: Perceptie lokaal	Negatief											Positief
3: Gedragsverandering	Veel (neg)											Weinig (pos)

9. Vereiste beleidsmaatregelen

Voor de overheid is het van belang te weten in hoeverre de realisatie van het pad afhankelijk is van beleidsmaatregelen, en verder wat dan de belangrijkste vereiste maatregelen zijn.

Knelpunt	Beleidsmaatregel	Past beleid (0=past; 10=past perfect)	Afhankelijkheid (hoog/laag)
Focus in toepassingen	Stimuleren van concrete coalities rondom specifieke toepassingen obv algen en wieren (ontwerp en realisatie van pilotprojecten)	8	Hoog, pad is onderzoeksgedreven, interesse markt moet actief aangejaagd worden
Haalbare toepassingen vanuit de markt	Fonds voor afdekken van hoog afbreukrisico en hoge aanloopkosten voor industriële bedrijven	5	Hoog
Kennisontwikkeling voor grote verscheidenheid aan technieken	R&D stimulering of speerpunten (o.a. realiseren doorbraak in kostprijs productie en oogsttechnieken; screening componenten), incl. terugkoppeling onderzoek met marktpartijen	8	Hoog
Regelgeving, bijv. erkenning van componenten in regelgeving tbv food producten	Facilitering	8	Laag, er zijn vele toepassingen denkbaar
Koppelen en combineren van verschillende industriële productiefuncties	Positief stimuleringsbeleid cascade-verwerking en meervoudig ruimtegebruik (o.a. via vergunning en subsidies)	5	Hoog

10. Aggregatie van de resultaten

Aspect	Laag (negatief)						Hoog (positief)			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2. Potentieel										
Indicator 1: Technisch 2020										
Indicator 2: Technisch 2050										
Indicator 3: Markt 2020										
Indicator 4: Markt 2050										
3. Bijdrage verduurzaming										
Indicator 5: Netto besparing prim. energie										
Indicator 6: Netto besparing broeikasgas										
Indicator 7: Andere milieu-effecten										
Indicator 8: Stepping stone en lock-in										
4. Bijdrage voorzieningszekerheid										
Indicator 9: Voorzieningszekerheid										
5. Stadium van de techniek										
Indicator 10: Kansen voor bedrijfsleven										
Indicator 11: Risico, afhankelijkheid buitenland										
6. Stakeholders										
Indicator 12: Draagvlak bij stakeholders										
7. Kosten, baten (relatief)										
Indicator 13: Kosten										
8. Burger										
Indicator 14: Draagvlak bij de burger										
9. Beleid										
Zie onderstaand kader										

Knelpunt	Beleidsmaatregel	Afhankelijkheid (hoog/laag)

Toelichting kleuren:	
	Zeker, gebaseerd op harde, betrouwbare gegevens
	Minder zeker, gebaseerd op weinig betrouwbare gegevens
	Onzeker, gebaseerd op ruwe gissingen en expert judgement

Bronnen

Er zijn gesprekken gevoerd met:

- Prof.dr.ir. R. Wijffels, WUR, Wageningen Universiteit (6 okt 2005)
- Dr.ir. W.A. Brandenburg, WUR, PRI, Wageningen (6 okt 2005)
- Drs. J.C Verhoogt, Van Hall Instituut Business Center, Leeuwarden (13 okt 2005)
- Drs. M. van der Heuvel, AKK, Den Bosch (21 okt 2005)
- Mevr. E. Engelen, SenterNovem, Sittard (9 november 2005)

Bottema, S.R. et al. (2005). Grootschalige kweek van wieren in de Veenkoloniën voor food & feed, fijn-chemicaliën en energie. Van Hall Instituut. Energy Valley. Avebe. Leeuwarden.

Langeveld H. et al (2005). Nieuwe landbouw. Inventarisatie van kansen. Nota 330. Plant Research International, Wageningen UR, Wageningen.

Luiten, E.E.M. (red) (2004). Zee in zicht. Zilte waarden, duurzaam benut. STT 67. Stichting Toekomstbeeld der Techniek, Den Haag.

MEK2 (2003). Met energie naar duurzaam produceren – Visie, transitiepaden, experimenten, overzicht 2003. projectteam Met Energie naar Duurzaam Produceren Projectgroep (MEK2). Den Haag.

Reith, J.H. (red) (2004). Duurzame co-productie van fijn-chemicaliën en energie uit micro-algen. Eindrapport EET project K99005/398510-1010. ECN-C--04-037. Petten

Reith, J.H. et al (2003). Transitiepad: Energie en grondstoffen uit Aquatische biomassa. Transitiepad #12.

Reith, J.H. et al. (2005). BIO-OFFSHORE. Grootschalige teelt van zeewieren icm offshore windparken in de Noordzee. ECN-C—05-008. Petten.

Staats, N. et al. (2005). Toepassen van microalgenkweeksystemen. 5005-03-20-01-021. IVAM. Amsterdam.

Thema 4: Alternatieve motorbrandstoffen

Pad: 4.1 Rijden op aardgas (CNG voor mobiliteit)

Auteur: Marc Londo, ECN

1. Globale beschrijving van het transitiepad

Met relatief eenvoudige aanpassingen zijn Otto-motoren geschikt te maken voor aardgas als brandstof. Aardgas is niet geschikt voor conventionele dieselmotoren, er zijn wel prototypes van aardgasmotoren op basis van het Diesel-principe. Dit pad introduceert een nieuwe grondstof voor motorbrandstoffen en vermindert de afhankelijkheid van aardolie in de transportsector. Bovendien claimt de werkgroep Rijden op Groen Gas dat de inzet van aardgas in mobiliteit een opstap vormt voor de introductie van methaan op basis van biomassa (biogas) en wellicht uiteindelijk waterstof. Naast dit ontwikkelingstraject wordt rijden op aardgas gezien als een belangrijke mogelijkheid om op korte termijn de emissies van fijn stof en NO_x te reduceren, gezien de veel lagere emissies ten opzichte van conventionele dieselmotoren.

Het pad valt op te delen in een aantal stappen, die deels door elkaar kunnen lopen:

1. Introductie van rijden op fossiel aardgas, met name in wagenparken zoals stads- en streekbussen, vuilniswagens, taxi's.
2. Doorgroei richting bredere inzet van aardgas, ook in de particuliere markt.
3. Verschuiving van de resource base van fossiel aardgas naar aardgas uit biomassa
4. Verschuiving richting waterstof in plaats van aardgas.

Het pad vervangt op korte termijn de inzet van brandstoffen op basis van aardolie (stappen 1 en 2). Dat zijn dan ook op dit moment de concurrerende opties. De overgang richting aardgas uit biomassa (stap 3) zal vooral gedreven worden door (Europese) doelstellingen op het gebied van biobrandstoffen, waarbij rijden op aardgas uit biomassa concurreert met andere biobrandstoffen, zoals biodiesel en bio-ethanol. Het pad richting waterstof (4) kan gedreven worden door de noodzaak van ingrijpende reductie van broeikasgasemissies, waarbij waterstof het voordeel heeft boven aardgas dat vrijkomend CO_2 centraal bij de waterstofproductie kan worden afgevangen. Zo kan waterstof uit fossiel aardgas CO_2 -neutraal worden gemaakt en waterstof uit biomassa zelfs leiden tot netto CO_2 -opname. Daarbij concurreert rijden op waterstof dan met andere grootschalige opties voor CO_2 -emissiereductie, zoals CO_2 -afvang bij elektriciteitscentrales. Een andere drijvende kracht richting waterstof ontstaat wanneer de brandstofcel in auto's de interne verbrandingsmotor gaat verdringen. Waterstof concurreert dan met andere opties voor de brandstofcel, zoals aardgas of vloeibare brandstoffen in combinatie met on-board reforming.

Al met al fungeert aardgas in de mobiliteitsmarkt dus als *transitiebrandstof*, waarbij het deels mogelijkheden opent richting biobrandstoffen en waterstof.

2. Wat kan het beschreven transitiepad ten minste en ten hoogste bereiken in de context van de Nederlandse energieuishouding op langere termijn (2020, 2050)?

Bij deze vraag gaat het om het *bruto* effect van het pad op de energievoorziening. Het gaat hier dus *niet* om de netto energiebesparing of vermeden fossiele energie (Dat is terug te vinden in sectie 3). Deze vraag is uitgesplitst in een *technisch* potentieel en een *marktpotentieel*. Voor de inschatting daarvan zijn enkele algemenere gegevens nodig

2.1 Algemeen

- Het pad grijpt aan op de sector transport, een van de weinige sectoren waarin de afgelopen jaren energieverbruik én CO₂-emissies steeds zijn toegenomen.
- Bij stappen 1 en 2 vervangt het pad fossiele vloeibare brandstoffen, bij stap 3 vervangt het pad andere brandstoffen op basis van biomassa, en bij stap 4 vervangt het pad andere brandstoffen voor de brandstofcel hetzij andere centrale opties voor CO₂-emissiereductie.

2.2 Technisch potentieel voor 2020

Onder het technisch potentieel verstaan we het potentieel wanneer het pad volledig gebruikt wordt voor alle opties c.q. toepassingen waarvoor ze technisch geschikt is. Daarbij is wel rekening gehouden met fysieke beperkingen (bijvoorbeeld de maximale biomassa-import, de maximale ruimte op de Noordzee, etc.)

Waar mogelijk is voor een inschatting van het potentieel gebruik gemaakt van de huidige en verwachte verbruikssaldi uit bijlage B van de referentieramingen en voor 2020 de cijfers van het GE-scenario. Ter informatie zijn de verbruiksgegevens per sector opgenomen in bijlage 1 van dit document. De schattingen worden zoveel mogelijk onderbouwd met argumenten.

Technisch gezien is er geen beperking om al het vervoer op de weg te laten omschakelen naar aardgas. De referentieramingen schatten de brandstofafzet voor 2020 in rond 650 PJ/jaar. Wanneer we geen rekening houden met daling van de efficiency die optreedt wanneer dieselmotoren worden vervangen door aardgasmotoren op basis van het Otto-principe is dit het technisch potentieel voor rijden op aardgas. In 2020 kan dat nog volledig worden ingevuld door fossiel gas, binnenlands of import. Ook wanneer er een verplicht gedeelte van de brandstofmix gebaseerd moet zijn op biomassa dan is in 2020 de technologie voor methanisering van biomassa zover gevorderd dat dit geen technische belemmering is, en ook de te verwachten potentiëlen aan biomassa zijn voldoende voor de biofuel-doelstellingen die in 2020 te verwachten zijn (bijvoorbeeld 15%). De doorschakeling naar waterstof is op deze termijn nog niet aan de orde. De score op deze indicator komt hiermee in feite boven de 20 uit, oftewel maximaal (10). De betrouwbaarheid van deze gegevens is groot (cat 1).

2.3 Technisch potentieel voor 2050

Voor 2050 zijn geen gedetailleerde ramingen beschikbaar. Daarom werken we met een kwalitatieve inschatting van de ontwikkelingen tussen 2020 en 2050, om zo aan te geven of de potentiëlen groter of kleiner worden.

Aannames hierbij zijn:

- Het energieverbruik voor vervoer op de weg groeit of stabiliseert tussen 2020 en 2050, maar neemt in elk geval niet af. Als indicatie nemen we hier een verbruik van 700 PJ/jaar in 2050.
- In 2050 is het Nederlandse aardgas weliswaar op, maar de voorraden uit Rusland en het midden-oosten zijn toereikend om de sterke groei in de vraag op te vangen.
- Voor biobrandstoffen gelden tegen 2050 wellicht hogere doelstellingen, of wellicht kunnen biobrandstoffen rond 2050 al concurreren met brandstoffen op fossiele basis. Wellicht wordt de beschikbaarheid van biomassa dan een knelpunt, maar dat biedt geen concurrentievoordeel voor andere biobrandstoffen in vergelijking met aardgas uit biomassa.

Daarmee is ook voor 2050 het technisch potentieel voor dit pad groot, met een score boven de 10 en een betrouwbaarheid van cat 1.

2.4 Marktpotentieel 2020

Bij inschatting van het marktpotentieel gaat het om een kwalitatieve inschatting van het potentieel van het pad in markten waar het kan concurreren met de huidige referentie(s) en andere opties. Dat hangt dus samen met het ontwikkelingspad en talloze aspecten rond implementatie.

Aannames hierbij zijn:

- Tot 2020 zal onze energievoorziening hoofdzakelijk gebaseerd zijn op fossiele brandstoffen. Gezien de 5,75%-doelstelling in de EU voor biobrandstoffen in 2010 zou 15% biobrandstoffen in 2020 al ambitieus zijn. Volgens een verkenning van biobrandstoffen met het BIOTRANS model zal hiervan 10% worden gedekt door aardgas uit biomassa, dus ca 1,5% van het totale brandstofverbruik.
- In de concurrentie met fossiele brandstoffen zal aardgas vooral ingezet worden in wagenparken en nutsvervoer (bussen, taxi's etc.), daar zijn alle geïnterviewden het wel over eens. Dit omdat daar de externe voordelen (verbetering stedelijke luchtkwaliteit) het grootst zijn en de problemen bij introductie van aardgas (andere modellen voertuigen, het opzetten van een vulpunteninfrastructuur) relatief het kleinst. Voor een ordegrootte-schatting:
 - Hier gaan we er hier van uit dat het personenvervoer blijft rijden op vloeibare brandstoffen;
 - Alle bussen en speciale voertuigen gaan over op aardgas, dat levert circa 3% aandeel in het totale energieverbruik van verkeer en vervoer
 - 20% van de bestelauto's en vrachtwagens gaan op aardgas rijden, wat overeenkomt met 7%.
 - Deze ordegrootte wordt op termijn mogelijk door de EU ondersteund: in een voorlopig paper worden als ideeën voor doelstellingen voor alternatieve brandstoffen in verkeer en vervoer in 2020 genoemd: 10% (fossiel) aardgas en 10% biobrandstoffen, waarvan dan 2% waterstof en 8% vloeibare biobrandstoffen (Breunese, 2005).

In totaal komt deze schatting dan uit op 11,5% van het totale brandstofverbruik. Daar zitten mogelijk dubbeltellingen bij, omdat ook biobrandstoffen wellicht eerst in wagenparken zullen worden ingezet. Daarom is 10% van het verbruik in verkeer en vervoer een redelijke aanname, oftewel 64 PJ/jaar.

De score op deze indicator komt daarmee uit op 4, met een betrouwbaarheid van cat 2.

2.5 Marktpotentieel 2050

Voor de periode tot 2050 nemen we aan dat de volgende ontwikkelingen van invloed zullen zijn:

- Het aandeel fossiele brandstoffen in de energiemix begint langzaam af te nemen. Olie raakt het eerst uitgeput, mondiaal zijn er nog wel voldoende aardgasvoorraden. Het Nederlandse aardgas is inmiddels op.
- Het aandeel biobrandstoffen groeit gestaag verder, vooral door actief EU- en Nederlands beleid op dit gebied, maar de concurrentiekracht van biobrandstoffen ten opzichte van fossiele bronnen wordt ook groter.
- Tegen 2050 wordt de interne verbrandingsmotor gaandeweg verdrongen door de brandstofcel.

De eerste twee ontwikkelingen betekenen dat er meer kansen ontstaan voor aardgas op de mobiliteitsmarkt. Wat betreft de laatste ontwikkeling is dat nog onzeker: met on-board reforming kan aardgas een rol blijven spelen. Veel nauwkeuriger zijn deze ontwikkelingen niet te voorspellen, maar op basis van deze overwegingen laten we de score voor 2050 stijgen van 4 naar 7. De onzekerheden hierbij zijn echter groot (cat 3).

3. Bijdrage aan de verduurzaming van de energiehuishouding

Bij de bijdrage aan de verduurzaming van de energievoorziening kijken we naar drie aspecten:

- De *netto* vermeden primaire energie;
- De netto vermeden emissie van broeikasgassen
- De mogelijke andere (positieve of negatieve) milieu-effecten van het pad;
- De kans op stapsteen- en lock-in effecten.

Al deze effecten baseren we op het technisch potentieel voor 2020 (of, als het pad op langere termijn gericht is, 2050). Bovendien worden de netto effecten niet alleen gebaseerd op een vergelijking met ontwikkelingen in de huidige referentie, maar op met andere toekomstige opties voor verduurzaming in de betrokken sector(en).

3.1 Netto vermeden primaire energie 2020

Bij de netto vermeden primaire energie gaat het om de netto verlaging van het energieverbruik ten opzichte van de referentie en andere ontwikkelingen.

De netto hoeveelheid primaire energie die wordt uitgespaard door de inzet van aardgas is te verwaarlozen. Wanneer conventionele dieselmotoren worden vervangen door Ottomotoren op aardgas is er zelfs sprake van een (beperkte) ontsparing. Daarmee scoort dit pad 0 op deze indicator, en dat resultaat is vrij betrouwbaar (cat 1).

3.2 Netto vermeden broeikasgasemissies 2020

Voor de netto vermeden broeikasgasemissies zijn niet alleen de vermeden emissie van CO₂ in rekening gebracht, maar ook die van de belangrijkste andere broeikasgassen, zoals methaan, CFK's en anderen.

We gaan er hier van uit dat in 2020 15% van de brandstofmix is gebaseerd op biobrandstoffen. Wanneer we er van uit gaan dat aardgas hier concurreert met andere geavanceerde biobrandstoffen stijgt de netto CO₂-emissiereductie hierbij niet significant wanneer bio-aardgas wordt ingezet in plaats van bijvoorbeeld geavanceerde bio-ethanol, bio-methanol of biodiesel. Bij de 85% die met fossiele bronnen wordt voorzien geeft de inzet van fossiel aardgas circa 23% minder CO₂-emissies per PJ dan de inzet van fossiele olieproducten (ca 73 kg CO₂ per GJ voor benzine en diesel, ca 56 kg CO₂ voor aardgas, verliezen tijdens winning en productie hier niet meegerekend), maar rijden op aardgas is minder energie-efficiënt dan rijden op diesel. We gaan er van uit dat gerekend over de brandstofmix er een netto CO₂-emissiereductie zal optreden van rond de 10%. Dit betekent dat in de 85% van de geschatte 650 PJ voor het verkeer een netto emissiereductie optreedt van circa 4 Mton CO₂ per jaar.

Hiermee komt de score op deze indicator op 2. De betrouwbaarheid hiervan is vrij groot (cat 1)

3.3 Mogelijke andere (positieve of negatieve) milieu-effecten

Ook bij het bepalen van de andere positieve of negatieve milieu-effecten is het van belang om de prestaties van het pad te vergelijken met die van de (toekomstige) referentie.

De belangrijkste positieve externe effecten van rijden op aardgas zijn vergaande reducties van de emissies van NO_x (met name NO₂), fijn stof en (in mindere mate) geluid. Dit is vooral het geval in vergelijking met conventionele dieselmotoren. Een veel geciteerde TNO-studie schat in dat CNG in vergelijking met diesel reducties van NO₂ en fijn stof geeft in de orde van 80-90%. Belangrijke positieve effecten, zeker omdat het verkeer een van de grootste veroorzakers is van deze emissies. Het is echter onzeker of deze sterke verschillen in emissies in de komende 15 jaar zo blijven. Diverse automerken werken inmiddels aan systemen voor diesels die de emissies van

NO_x en fijn stof sterk doen verminderen. Aan de andere kant blijft aardgas een inherent schonere brandstof dan diesel, waardoor emissies van aardgasmotoren potentieel altijd lager zullen liggen dan bij diesel. Daarom op deze indicator 1 punt voor de NO_x-emissiereductie en 1 punt voor de reductie van fijn stof. Ook voor de dalende geluidsemissies kennen we 1 punt toe.

Daarmee komt de score op deze indicator op 8 uit. De betrouwbaarheid is cat 2.

3.4 Stapstenen en lock-ins

Het potentieel van het pad wordt ook sterk bepaald door de mate waarin het pad past binnen andere te voorziene ontwikkelingen. Is het pad een goede tussenstap richting nog ingrijpende vernieuwingen, of zorgt het juist voor lock-in effecten die fundamentele vernieuwingen zullen belemmeren?

Het pad rijden op aardgas *kan* stapstenen bevatten richting vergaande vernieuwingen. Rijden op fossiel aardgas kan een opstap zijn richting de introductie van aardgas op basis van biomassa: de infrastructuur voor vulpunten en de aangepaste voertuigen zijn dan al beschikbaar. Dit hangt echter in hoge mate af van de toekomstige succeskans van bio-aardgas in vergelijking met andere, vloeibare biobrandstoffen. Sommige hiervan, zoals geavanceerde biodiesel op basis van Fischer-Tropsch-synthese, zijn vrijwel direct in te passen in de huidige brandstofmix. Ook geavanceerde bio-ethanol past goed in de infrastructuur voor vloeibare brandstoffen. Het is in beperkte mate (tot ca 5%) bij te mengen in benzine; met enkele aanpassingen kunnen benzinemotoren op (vrijwel) pure ethanol rijden.

Veel van de technologieën voor productie van geavanceerde biobrandstoffen zijn momenteel nog in een ontwikkelingsstadium, waardoor de winnaars momenteel nog niet zijn aan te wijzen. Dat geldt ook voor aardgas uit biomassa: biogas uit vergisting van mest en andere reststromen is weliswaar vrij ver ontwikkeld, maar heeft een beperkt potentieel, ook omdat toepassing als brandstof moet concurreren met directe omzetting in elektriciteit en warmte. Voor bio-aardgas als motorbrandstof is de productieroute via vergassing van (droge) biomassa en methanisering het meest kansrijk, maar deze technologie heeft nog zeker 5 jaar ontwikkelingstijd nodig.

Ook uit de berekeningen met het BIOTRANS-model blijkt dat bio-aardgas zeker één van de kanshebbers is, maar de marges tussen de kosten van de brandstofketens zijn klein en de onzekerheden zijn nog groot. Bovendien is de ontwikkeling van nieuwe biobrandstoffen een mondiale inspanning, waarbij Nederland geen dominante rol kan spelen. Daarom kan vergaande inzet op aardgas in Nederland, terwijl er uiteindelijk een vloeibare brandstof is die het pleit wint, leiden tot lock-in effecten. Deze onzekerheden zullen over circa 5 jaar, wanneer de doorbraak van geavanceerde biobrandstoffen wordt verwacht, zeker kleiner zijn geworden.

Tenslotte nog de functie van aardgas als opstap richting waterstof. Aardgas kan inderdaad de markt en de infrastructuur voorbereiden op andere gasvormige brandstoffen. De fysische en chemische kenmerken van waterstof (permeatie door materialen, corrosiviteit) zijn echter dermate anders dan die van waterstof dat de aardgasinfrastructuur pas na ingrijpende aanpassingen kan worden gebruikt voor waterstof. Aardgas is in die zin een beperkte en zeker geen volledige opstap richting waterstof. Aan de andere kant van lock-in-effecten door de inpassing van fossiel aardgas is echter ook weinig sprake, zeker wanneer de introductie in eerste instantie beperkt blijft tot wagenparken. De aanpassingen aan de (toch al uitgebreide) Nederlandse aardgas-infrastructuur zijn beperkt, en kunnen bovendien nog goed worden afgeschreven binnen de komende vijftien jaar of meer waarin Nederland nog veel eigen productie van aardgas heeft.

Op basis van deze overwegingen verdient het pad op deze indicator niet meer dan de gemiddelde score van 5. De betrouwbaarheid hiervan is redelijk, cat 2.

4. Effect op de voorzienings- en leveringszekerheid

Voor dit onderdeel vier criteria voorgesteld:

- Het effect op de vraag naar energiebronnen
Rijden op aardgas levert geen significante energiebesparing. Daarom 0 punten op dit criterium.
- Het effect op het aandeel fossiele bronnen in de energievoorziening
Rijden op aardgas dringt in eerste instantie niet het aandeel fossiel bronnen in de energievoorziening terug. Bij de inzet van bio-aardgas verandert dat, maar die inzet zal puur beleidsgedreven zijn, waardoor dit effect ook zal optreden wanneer de doelstelling voor biobrandstoffen niet met bio-aardgas maar met een vloeibare biobrandstof wordt ingevuld. Daarom 0 punten op dit criterium.
- Het effect op het aandeel import van bronnen in de energievoorziening
Op korte termijn vervangt het pad de import van aardolie met binnenlands gewonnen aardgas. Rond 2020 zal het Nederlandse gas echter duidelijk over zijn piek heen zijn, waardoor ook dit pad steeds meer afhankelijk wordt van importen (uit Rusland of het Midden-Oosten, waar de grootste gasvoorraden liggen). Daarom op dit criterium 0 punten.
- Het effect op het energie-portfolio: de mate waarin het pad bijdraagt aan een verdere spreiding over de verschillende fossiele en hernieuwbare energiebronnen
Het pad leidt tot een verschuiving in gebruik tussen twee energiebronnen die al buitengewoon dominant zijn in de Nederlandse energie-portfolio (olie beslaat ca 700 PJ van ons primair verbruik, aardgas ca 1500 PJ). Het levert dus geen positieve of negatieve bijdrage aan de spreiding in het portfolio. 0 punten.
- Het effect op de stabiliteit en belastbaarheid van het elektriciteitsnet
Geen effecten, 0 punten.

De totaalscore op deze indicator komt hiermee op 0 punten, met een grote mate van betrouwbaarheid (cat 1).

5. Aansluiting bij internationale kennis- en marktontwikkelingen

Veel transitiepaden zijn afhankelijk van R&D-inspanningen of marktontwikkelingen op Europees of mondiaal niveau. Het is daarom belangrijk om een beeld te krijgen van de internationale ontwikkelingen op dit gebied. Andere zijn een puur Nederlandse aangelegenheid, waarbij dat minder van belang is.

Bovendien is het een belangrijke vraag of het transitiepad nieuwe business-opportunities kan opleveren voor het Nederlandse bedrijfsleven.

5.1 Kansen voor het bedrijfsleven

Om dit te verkennen werken we met de onderstaande tabel. Deze is ingevuld voor het pad als geheel of, wanneer het pad een aantal verschillende componenten of technologieën bevat, per component.

Het pad gebaseerd op fossiel aardgas bevindt zich in de fase near-to-market: de gasvulpunten zijn er nog niet en er tijden nog nauwelijk aardgasvoertuigen in Nederland, maar de techniek is er

en de voertuigen zijn 'van de plank' te koop. Wat betreft distributie en levering van aardgas zijn er diverse kansen voor het Nederlandse bedrijfsleven, wat betreft de voertuigen zijn die er nauwelijks aangezien Nederland geen eigen automobielindustrie meer heeft. Wel is er het bedrijf NoNOX, dat inmiddels een draaiend prototype heeft van een gasmotor op basis van het Diesel-principe. Daaruit blijkt dat er voor toeleveranciers wel degelijk kansen kunnen zijn. Het schema komt er dan als volgt uit te zien:

1	2	3				
		Nederlandse positie en kansen wat betreft				
Status vd techniek	Nationaal / mondiaal?	Kennisinfra	Bedrijfsleven	toeleveranciers	markt	Infrastruct.
Concept						
R&D						
Pilot-fase						
Near-to-market	Mondiaal	0	0	1	1	1
Bestaand	Mondiaal	0	0	1	1	1

Voor de doorgroei richting groen gas (stap 3) ligt er nog een knelpunt in de beschikbaarheid van groen gas. Het potentieel voor groen gas uit vergisting of stortgas is weliswaar circa 1 miljard m³ (Tromp, 2005), maar dit gas komt vooral decentraal in kleine stromen beschikbaar, waardoor voor deze bronnen aanwending richting groene stroom meer voor de hand ligt. Daarom moet het meeste moet worden verwacht van vergassing en methanisering van biomassa. Deze techniek bevindt zich globaal tussen de R&D- en pilot-fase in, en er wordt in meerdere landen aan gewerkt (wat ook nodig is gezien het grootschalige en hoogtechnologische karakter van deze route). Uiteraard past groen gas uitstekend in de Nederlandse energiemix vanwege de beschikbaarheid van een fijnmazig gasnet. Het schema komt er dan als volgt uit te zien:

1	2	3				
		Nederlandse positie en kansen wat betreft				
Status vd techniek	Nationaal / mondiaal?	Kennisinfra	Bedrijfsleven	toeleveranciers	markt	Infrastruct.
Concept						
R&D	Mondiaal	1	1	1	1	1
Pilot-fase	Mondiaal	1	1	1	1	1
Near-to-market	Mondiaal	0	1	1	1	1
Bestaand	Mondiaal	0	1	1	1	1

De doorgroei richting waterstof is afhankelijk van zoveel externe factoren dat deze stap bij de inschatting van de kansen voor het bedrijfsleven buiten beschouwing wordt gelaten.

De score op deze indicator komt op basis van deze velden op 8 (24 uit 30). Deze gegevens zijn vrij betrouwbaar (cat 1).

5.2 Risico's door afhankelijkheid van buitenlandse ontwikkelingen

De robuustheid van het pad wordt in hoge mate bepaald door de mate waarin het pad afhankelijk is van internationale ontwikkelingen, en natuurlijk door de mate waarin die ontwikkelingen er florissant uitzien.

Met name wat betreft de beschikbaarheid van voertuigen op aardgas is Nederland sterk afhankelijk van ontwikkelingen in het buitenland. Simpel gezegd: wanneer rijden op aardgas landen als Duitsland geen succes wordt zal het ook in Nederland geen succes worden. Dit is dus een belangrijke onzekere factor rond dit pad. Tegelijk zijn er diverse Europese landen waar rijden op aardgas momenteel duidelijk in ontwikkeling is, zoals Duitsland (waar binnen afzienbare tijd 1000 vulstations voor personenvoertuigen beschikbaar zijn), hoewel daar ook berichten zijn dat de aanleg van de vulpunten weliswaar succesvol verloopt, maar dat de verkoop van aardgas- of bi-fuel auto's nog achterblijft (Breunese, 2005). In Italië heeft rijden op aardgas al enige positie opgebouwd. Een land als Frankrijk lijkt in momenteel meer in te zetten op bio-ethanol dan op aardgas. Dit maakt dat de autofabrikanten in deze landen relatief meer of minder aardgas- of flex-

fuel-modellen beschikbaar hebben: Fiat heeft er bijvoorbeeld veel, terwijl Franse merken achterblijven.

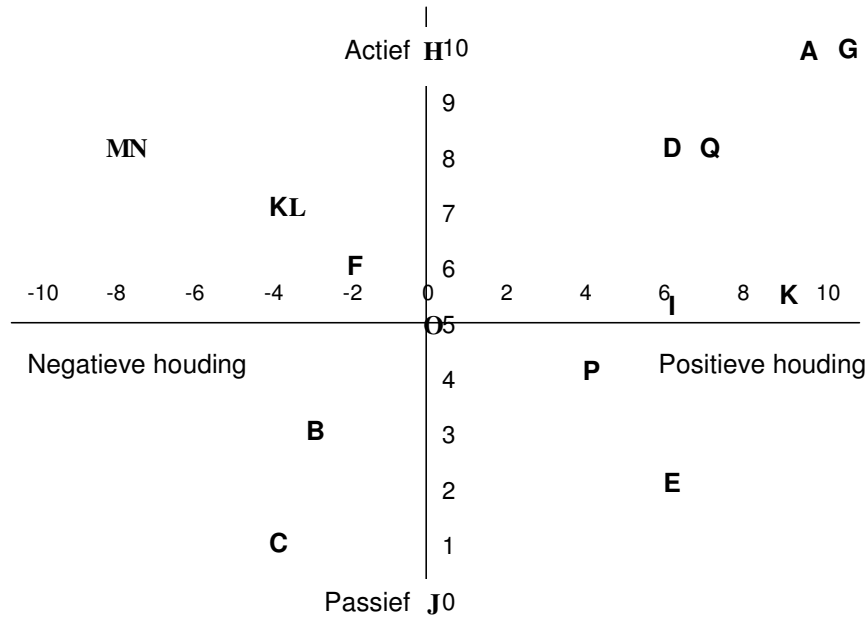
Op de indicator met een schaal van 10 leidt de afhankelijkheid van het buitenland tot een score van maximaal vijf. Omdat de buitenlandse ontwikkelingen er nog onzeker, maar ook niet onverdeeld negatief voor staan geven we hier een score van 3, met een betrouwbaarheid van cat 2.

6. Draagvlak bij de meest relevante stakeholders

Voor een inventarisatie van het krachtenveld gebruiken we een krachtenveld-analyse.

De indrukken die de respondenten gaven waren redelijk consistent. De genoemde partijen zijn opgenomen in onderstaande tabel; Breunese (2005) gaf alle partijen expliciet onderling gewicht, voor de andere gesprekken is hun onderlinge gewicht geschat op basis van onze indruk tijdens de gesprekken (tijdens deze gesprekken was de methode voor deze vraag nog niet volledig uitgekristalliseerd, waardoor niet gevraagd is naar de relatieve gewichten).

Partij	Relatief gewicht	Letter in schema
Lokale overheden, concessieverleners	11	A
VROM	4	B
Autofabrikanten	2	C
Fabrikanten van trucks en bussen	9	D
Gasleveranciers	2	E
Oliemaatschappijen	4	F
Nieuwe spelers zoals DutCH4	9	G
Kennisinstellingen	7	H
Natuur- en milieu-organisaties	4	I
Consumenten	4	J
Chauffeurs van bus- en taxibedrijven	9	K
Onderhoudsdiensten bij vervoerders	7	L
Busmaatschappijen	9	M
Taxi-ondernemers	9	N
Banken, financiers	2	O
Subsidieverleners	2	P
EZ	7	Q



Daarmee is de score op deze indicator 6 punten. Hierbij merkt Breunesse overigens op dat een aantal partijen die in eerste instantie negatief zijn (busmaatschappijen, buschauffeurs) vrij snel in positieve zin kunnen veranderen wanneer ze in hun eigen praktijk succesvol ervaring hebben opgedaan. Wat dit betreft is de waterstofbus in Amsterdam ook een goed voorbeeld: waar de chauffeurs daar in eerste instantie nogal wantrouwig tegenover stonden is dat nu de bus waar elke chauffeur graag op rijdt.

Gezien de relatieve consistentie van de diverse partijen, maar de mogelijkheid op verandering op (niet al te lange) termijn heeft deze score een betrouwbaarheid van cat 2.

7. Kosten en baten van het transitiepad

De kosten van een transitiepad zijn over het algemeen nog niet goed in te schatten. Daarvoor zijn het tenslotte transitiepaden. Om toch enigszins grip te krijgen op de kosten maken we een kwalitatieve inschatting van de belangrijkste kostencomponenten:

- R&D-kosten (voor de ontwikkeling van de optie)
- Implementatiekosten (om de optie door een leercurve te krijgen en zo de kosten te verlagen)
- Een structurele onrendabele top in vergelijking met concurrerende opties.

Voor de inschatting van de kosten baseren we ons op het volgende:

- De R&D-kosten voor de eerste twee stappen (rijden op fossiel aardgas) zijn verwaarloosbaar. Om rijden op groen gas op enige schaal van de grond te krijgen is nog de nodige R&D nodig rond vergassing en methanisering, werk dat overigens ook relevant is voor de inzet van bijvoorbeeld groen gas in het aardgasverbruik van huishoudens. Het geheel zal waarschijnlijk niet veel boven de grootteorde miljard Euro komen: daarom 4 punten.
- Voor rijden op aardgas zijn nog leereffecten te verwachten in het installeren van vulpunten en in het vergroten van het aantal aardgasvoertuigen. Beide systemen kunnen seriematig worden geproduceerd en dus vrij snel leiden tot economies of scale. Voor groen gas geldt dat de conversietechnologie grootschalig is, daardoor leereffecten daar minder snel zullen optreden, maar dat effect zal ook optreden bij andere opties voor biobrandstoffen. Daarom overall 2 punten.

- Op basis van voorlopige berekeningen valt bij inzet van fossiel gas in wagenparken een bescheiden onrendabele top te verwachten, vooral door de kleinere afzetmarkten voor aardgasvoertuigen en -infrastructuur dan voor conventionele opties. Bij personenvervoer is dit verschil met oliegebaseerd vervoer wat groter. Bij de inzet van groen gas maken we weer de vergelijking met andere biobrandstoffen. Op basis van de huidige kennis lijkt het erop dat groen gas hier in dezelfde kosten-bandbreedte als andere opties. Daarom 2 punten.

Dit brengt de totale score op deze indicator op 8 punten. De betrouwbaarheid hiervan is cat 2.

8. (Noodzakelijk) draagvlak van de burger

Voor dit criterium kijken we naar drie onderdelen:

- Publieke perceptie van het pad in algemene zin (bijvoorbeeld: waterstof is schoon, maar explosief);
- Mogelijke weerstanden op lokaal niveau (NIMBY),bijvoorbeeld weerstand tegen vulstations);
- Vereiste gedragsverandering van de burger (bijvoorbeeld bereidheid om bifuel auto te rijden en aardgas te tanken).

We maken hier onderscheid tussen stap 1 (introductie in wagenparken) en stap 2 (bredere introductie).

- Wat betreft de algemene publieke perceptie geldt voor beide stappen vooral dat aardgas in het algemeen een goede reputatie heeft als een schone energiedrager. Ook groen aardgas zal positief ontvangen worden. Een score van 8.
- Wat betreft weerstanden op lokaal niveau zal er mogelijk bezorgdheid zijn rond vulstations, vergelijkbaar met de problemen rond LPG-stations. Aangezien aardgas veiliger is dan LPG zijn deze zorgen waarschijnlijk goed weg te nemen. In stap 1 zal het aantal vulpunten beperkt zijn en vooral gelegen zijn op bedrijventerreinen, waardoor deze weerstand beperkt zal blijven. De verbetering van stedelijke luchtkwaliteit door inzet van aardgasbussen zal zeker op lokaal niveau positief worden ontvangen. Ook wanneer met geavanceerde diesels (bijna) vergelijkbare emissiereducties te realiseren zijn zal aardgas door zijn schone imago bij de burger een streepje voor hebben. Daarom een score van 8. Bij stap 2, de bredere introductie in het personenvervoer, zal het effect op de luchtkwaliteit diffuser zijn en zullen de vulpunten juist beter zichtbaar zijn; daarom voor die stap een lagere score van 4.
- Bij inzet van aardgas in wagenparken (stap 1) wordt van de burger weinig gedragsverandering gevraagd. Het is zelfs aannemelijk dat een stillere, schonere aardgasbus populairder wordt onder de klanten. De enige gedragsverandering ligt dan bij de chauffeurs van bussen en dergelijke. Onder hen schijnt rijden op gasvormige brandstoffen overigens geen goede naam te hebben (Tromp, Breunese, 2005). Daarom een score van 5.
Bij bredere inzet in het personenvervoer (stap2) zullen automobilisten gas moeten gaan tanken en er rekening mee moeten houden dat (zeker in het begin) het aantal vulstations nog beperkt is. Zeker gezien de beperktere actieradius van gastanks is dan een sterke gedragsverandering noodzakelijk. Op basis van deze overwegingen geven we een score van 2.

Aspect		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1: Perceptie algemeen	Negatief								XX			Positief
2: Perceptie lokaal	Negatief				X				X			Positief
3: Gedragsverandering	Veel (neg)		X			X						Weinig (pos)

Daarmee komt de totaalscore op deze indicator op 5. De betrouwbaarheid hiervan is cat 2.

9. Vereiste beleidsmaatregelen

Voor de overheid is het van belang te weten in hoeverre de realisatie van het pad afhankelijk is van beleidsmaatregelen, en verder wat dan de belangrijkste vereiste maatregelen zijn.

Knelpunt	Beleidsmaatregel	Afhankelijkheid (hoog (10) /laag (0))
Geen lange-termijn visie bij de overheid over de rol van rijden op aardgas, daardoor inconsistenties tussen lokale overheden en het rijk, met ook verschillen tussen EZ, VROM en V&W	Heldere visie ontwikkelen op de (transitie)rol van aardgas in de mobiliteitsmarkt, inclusief heldere doelen die daaruit voortvloeien voor de markt.	7
Kip-ei probleem: zonder infrastructuur van vulpunten geen voertuigen op aardgas, zonder voertuigen op aardgas geen vulpunten	Stimuleren van de realisatie van vulpunten, bijvoorbeeld voor wagenparken met toegang voor particulieren	8
Knelpunten rond vergunningverlening en ijking bij de realisatie van vulstations	Faciliteren van de introductie van deze stations	7
(Voorlopig) nog een kostprijsverschil tussen rijden op aardgas en rijden op benzine of diesel	Fiscale (deel)vrijstelling voor aardgas aan de pomp, in enkele jaren waarschijnlijk af te bouwen	7
Onbekendheid van het publiek met rijden op aardgas	Dit pad breder uitdragen	6
Concessietijd van maximaal 6 jaar verkort afschrijvingstermijn van bussen en vulstations	Mogelijkheid bieden tot langere concessietijden	7
Rijden op aardgas kan een nieuw 'subsidie-infuus' (Breunesse) worden voor voorheen publieke bedrijven	Duidelijk maken dat de overheid zal bijspringen in de eerste periode van implementatie, maar dat rijden op aardgas daarna zonder steun moet renderen	5

10. Aggregatie van de resultaten

Aspect	Laag (negatief)					Hoog (positief)					
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2. Potentieel											
Indicator 1: Technisch 2020											
Indicator 2: Technisch 2050											
Indicator 3: Markt 2020											
Indicator 4: Markt 2050											
3. Bijdrage verduurzaming											
Indicator 5: Netto besparing prim. energie											
Indicator 6: Netto besparing broeikasgas											
Indicator 7: Andere milieu-effecten											
Indicator 8: Stepping stone en lock-in											
4. Bijdrage voorzieningszekerheid											
Indicator 9: Voorzieningszekerheid											
5. Stadium van de techniek											
Indicator 10: Kansen voor bedrijfsleven											
Indicator 11: Risico, afhankelijkheid buitenland											
6. Stakeholders											
Indicator 12: Draagvlak bij stakeholders											
7. Kosten, baten (relatief)											
Indicator 13: Kosten											
8. Burger											
Indicator 14: Draagvlak bij de burger											
9. Beleid											
Zie onderstaand kader											

Knelpunt	Beleidsmaatregel	Afhankelijk
Geen lange-termijn visie bij de overheid over de rol van rijden op aardgas, daardoor inconsistenties tussen lokale overheden en het rijk, met ook verschillen tussen EZ, VROM en V&W	Heldere visie ontwikkelen op de (transitie)rol van aardgas in de mobiliteitsmarkt, inclusief heldere doelen die daaruit voortvloeien voor de markt.	7
Kip-ei probleem: zonder infrastructuur van vulpunten geen voertuigen op aardgas, zonder voertuigen op aardgas geen vulpunten	Stimuleren van de realisatie van vulpunten, bijvoorbeeld voor wagenparken met toegang voor particulieren	8
Knelpunten rond vergunningverlening en ijking bij de realisatie van vulstations	Faciliteren van de introductie van deze stations	7
(Voorlopig) nog een kostprijsverschil tussen rijden op aardgas en rijden op benzine of diesel	Fiscale (deel)vrijstelling voor aardgas aan de pomp, in enkele jaren af te bouwen	7
Onbekendheid van het publiek met rijden op aardgas	Dit pad breder uitdragen	6
Concessietijd van maximaal 6 jaar verkort afschrijvingstermijn van bussen en vulstations	Mogelijkheid bieden tot langere concessietijden	7
Rijden op aardgas kan een nieuw 'subsidie-infuus' (Breunesse) worden voor voorheen publieke bedrijven	Duidelijk maken dat de overheid zal bijspringen in de eerste implementatie, maar dat rijden op aardgas daarna zelf moet renderen	5

Bronnen:

Er zijn gesprekken gevoerd met:

- Cees Peereboom, RAI-vereniging (Amsterdam, 27 september 2005)
- Peter Tromp, gemeente Haarlem (Haarlem, 4 oktober 2005)
- Menno Groeneveld, Gasunie (Utrecht, 31 oktober 2005)
- Ewald Breunese, Shell Nederland (Den Haag, 16 november 2005)

Londo, M.: Rijden op aardgas, eerste inventarisatie beschikbare gegevens voor het project verdieping transitiepaden.

Wakker, A. et al: VIEWLS: Biofuel implementation scenarios op tu 2030 explore by the BIOTRANS model. Accepted for the 14th Conference on Biomass for energy, industry and climate protectie, Parijs, oktboer 2005.

Hamelinck, C.: Outlook for advanced biofuels. Academisch Proefschrift, Universiteit Utrecht, 2004