

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/292158642>

Naar een toekomstbestendig energiesysteem voor Nederland

Technical Report · March 2013

CITATIONS

0

READS

14

11 authors, including:



Andre Faaij

University of Groningen

542 PUBLICATIONS 14,908 CITATIONS

SEE PROFILE



Machteld van den Broek

Utrecht University

53 PUBLICATIONS 584 CITATIONS

SEE PROFILE



Marc Londo

Energy Research Centre of the Netherlands

37 PUBLICATIONS 689 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



S2Biom [View project](#)



Sustainable development potentials and pathways for biobased economy options: an integrated approach on land use, energy system and economy and environment. [View project](#)

TNO-rapport

TNO 2013 R10325

Naar een toekomstbestendig energiesysteem voor Nederland

Behavioural and Societal Sciences

Van Mourik Broekmanweg 6
2628 XE Delft
Postbus 49
2600 AA Delft

www.tno.nl

T +31 88 866 30 00
F +31 88 866 30 10
infodesk@tno.nl

Datum 1 Maart 2013

Auteur(s) **TNO**
Rob Weterings (Projectleider), Toon van Harmelen, Jonna Gjaltema,
Sophie Jongeneel, Walter Manshanden, Evgueni Poliakov

Copernicus Instituut, Universiteit Utrecht
André Faaij, Machteld van den Broek, Just Dengerink



Universiteit Utrecht

ECN
Marc Londo, Koen Schoots



Oplage 150
Aantal pagina's 99 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen 4
Opdrachtgever Mart van Bracht
Projectnaam Naar een toekomstbestendig energiesysteem voor Nederland
Projectnummer 056.02061

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.

© 2013 TNO

Managementuittreksel

Titel : Naar een toekomstbestendig energiesysteem voor Nederland
Auteur(s): TNO
Rob Weterings (Projectleider), Toon van Harmelen, Jonna Gjaltema, Sophie Jongeneel, Walter Manshanden, Evgueni Poliakov

Copernicus Instituut, Universiteit Utrecht
André Faaij, Machteld van den Broek, Just Dengerink

ECN
Marc Londo, Koen Schoots

Datum : 1 maart 2013
Opdrachtnr. : 056.01801
Rapportnr. : TNO 2013 R10325

Inhoudsopgave

	Managementuittreksel.....	3
	Management samenvatting	7
1	Inleiding	15
1.1	Doelstelling	15
1.2	Motieven voor de energietransitie	16
1.3	Aanpak en leeswijzer.....	17
2	Het energiesysteem in Nederland.....	19
2.1	Het Nederlandse energiesysteem	19
2.2	Sterkten	21
2.3	Zwakten	21
2.4	Kansen.....	23
2.5	Bedreigingen.....	24
2.6	Samenvattend.....	25
3	Toekomstbeelden van ons energiesysteem	27
3.1	De toekomst van de energievoorziening in scenario's	27
3.2	Achtergrond van Nederlandse scenario's.....	30
3.3	Contrasterende toekomstbeelden	32
3.4	Sleutelfactoren in de toekomstige energievoorziening.....	36
3.5	Conclusies	40
4	Duurzaamheid van energie-opties	43
4.1	Methodiek	43
4.2	Voorbeelden: illustratieve factsheets.....	47
4.3	Conclusies	53
5	Energie in de Nederlandse economie.....	55
5.1	Aanbod van energie.....	56
5.2	Gebruik van energie	57
5.3	Toegevoegde waarde naar sector.....	57
5.4	Energie gerelateerde belasting inkomsten	61
5.5	Conclusies	61
6	Kansen voor bedrijven	63
6.1	Methodiek	64
6.2	Voorbeelden: analyse biobrandstoffen en wind op zee.....	67
6.3	Conclusies	70
7	Conclusies en ontwerp voor vervolg.....	73
7.1	Belangrijkste conclusies	73
7.2	Ontwerp voor een structurele ondersteuning	77

Management samenvatting

Wereldwijd is de energievoorziening ingrijpend aan het veranderen. Terwijl de groei van de energievraag in Europa en de VS afvlakt, gaan opkomende economieën als China, India, Brazilië en Rusland nu de meest energie-intensieve fase van hun ontwikkeling in. De mondiale energievraag neemt hierdoor in de periode tot 2035 nog met ruim 30% toe. Algemeen wordt verwacht dat aardolie, aardgas en kolen de komende decennia dominant blijven in de mondiale energiemix. Tegelijkertijd is er onder invloed van klimaatbeleid een sterke drive om het gebruik van deze fossiele brandstoffen te verminderen en hernieuwbare bronnen in te zetten. Deze ontwikkelingen zullen grote invloed hebben op de betrouwbaarheid, betaalbaarheid en duurzaamheid van het energiesysteem in Europa en Nederland. Wat dit zal betekenen voor de Nederlandse energiehuishouding is echter nog onduidelijk.

Om met haar R&D activiteiten zo goed mogelijk te kunnen anticiperen op de maatschappelijke en economische gevolgen van genoemde ontwikkelingen, heeft TNO het initiatief genomen de mogelijke ontwikkeling van het Nederlandse energiesysteem nader te analyseren. De studie is uitgevoerd samen met ECN en het Copernicus Instituut van de Universiteit van Utrecht.

De uitgevoerde analyse heeft twee doelen:

- In beeld brengen van de belangrijkste kansen en bedreigingen van de transitie naar een duurzame energievoorziening voor economie en samenleving van Nederland.
- Nagaan waar belangrijke lacunes liggen in de benodigde kennis voor een transitie naar een toekomstbestendig energiesysteem in Nederland.

Nederlands energiesysteem is gespecialiseerd op fossiele bronnen

Met een gunstige ligging aan zee en goede havenfaciliteiten vormt Nederland een poort naar Europa voor de grootschalige in- en doorvoer van energie- en grondstofstromen, zoals olie en olieproducten. Dit heeft ook geleid tot de ontwikkeling van een omvangrijke raffinage-industrie. Daarnaast beschikt ons land over substantiële aardgasvoorraden waaruit gas voor binnenlands gebruik en export wordt gewonnen. Karakteristiek is ook het fijnmazige en kwalitatief hoogwaardig gas-, olie- en elektriciteitsnet.

In vergelijking met andere EU-lidstaten is een relatief klein aandeel (minder dan 5%) van de energiemix afkomstig van hernieuwbare energiebronnen. Het economisch belang van ons huidige energiesysteem hangt sterk samen met de winning van gas uit eigen bodem en de grootschalige invoer, raffinage en export van aardolie(producten). Het merendeel van deze stromen aardgas en aardolie(producten) is bestemd voor de export, waarmee Nederland een sleutelrol heeft in de Noordwest Europese energiemarkt. Slechts een beperkt deel van deze stromen is bestemd voor binnenlands gebruik.

Een kwart van het binnenlands energiegebruik komt voor rekening van energie-intensieve bedrijfstakken. Tabel 1 geeft een overzicht van het energiegebruik van energie-intensieve Nederlandse industrie, hier gedefinieerd als sectoren die meer dan 10 eurocent energie verbruiken per euro toegevoegde waarde.

Tabel 1. Energie intensiteit, toegevoegde waarde en energiegebruik van energie intensieve sectoren (2010, basisprijzen)

	Energie/TW	Toegevoegde waarde	Energiegebruik
	Euro energie per euro toegevoegde waarde	Miljoen euro	
Vervoer door de lucht	3,28	468	1.537
Visserij	1,43	126	180
Chemische industrie	1,03	11.354	11.650
Vervoer over water	0,57	1.198	684
Basismetaalindustrie	0,54	1.796	963
Delfstoffenwinning (geen olie en gas)	0,35	353	124
Landbouw	0,26	9.215	2.418
Vervoer over land	0,25	10.760	2.675
Papierindustrie	0,22	1.528	330
Afval, -waterbeheer en sanering	0,20	3.602	711
Elektrische apparatenindustrie	0,19	1.039	202
Bouwmaterialenindustrie	0,18	2.127	385
Verhuur van roerende goederen	0,17	4.815	833
Sport en recreatie	0,17	1.451	244
Logiesverstrekking	0,13	2.929	376
Voedingsmiddelenindustrie	0,12	10.591	1.257
Rubber- en kunststofproductindustrie	0,11	2.050	235
Totaal energie intensieve sectoren		65.402	24.804
Totaal Nederland		525.921	92.456

Bron: CBS/bewerking TNO

Deze energie-intensieve bedrijfstakken dragen samen 12,4 % bij aan het bruto binnenlands product. Het gaat dan met name om de chemie, het goederenwegvervoer, de glastuinbouw en de voedingsmiddelenindustrie. Grote bedrijfstakken met een toegevoegde waarde van 9 tot 11 miljard euro per jaar, die internationaal concurrerend zijn en van groot belang voor de Nederlandse exportpositie.

Ook voor de rijksbegroting zijn aardolie en aardgas van groot belang. Tabel 2 geeft een overzicht van de directe aardgasbaten, de energie-accijnzen en de opbrengsten uit winst- en loonbelasting van de energieleverende bedrijven én de energie-intensieve industrie. De totale opbrengst voor de Nederlandse schatkist van het Nederlandse energiesysteem in 2010 komt uit op een bedrag van circa 50 miljard euro op jaarbasis. Dit is ongeveer éénvijfde deel van de jaarlijkse inkomsten van de Nederlandse staat.

Tabel 2. Bijdrage energie productie, levering en gebruik door energie-intensieve sectoren aan de collectieve middelen (2010).

	mIn Euro
Aardgasbaten	15.882
Accijnzen	12.008
Loonbelasting energie levering	777
Winstbelasting energielevering	4.883
Loonbelasting energie int. sectoren	9.067
Winstbelasting energie int. sectoren	6.306
Totaal	48.923

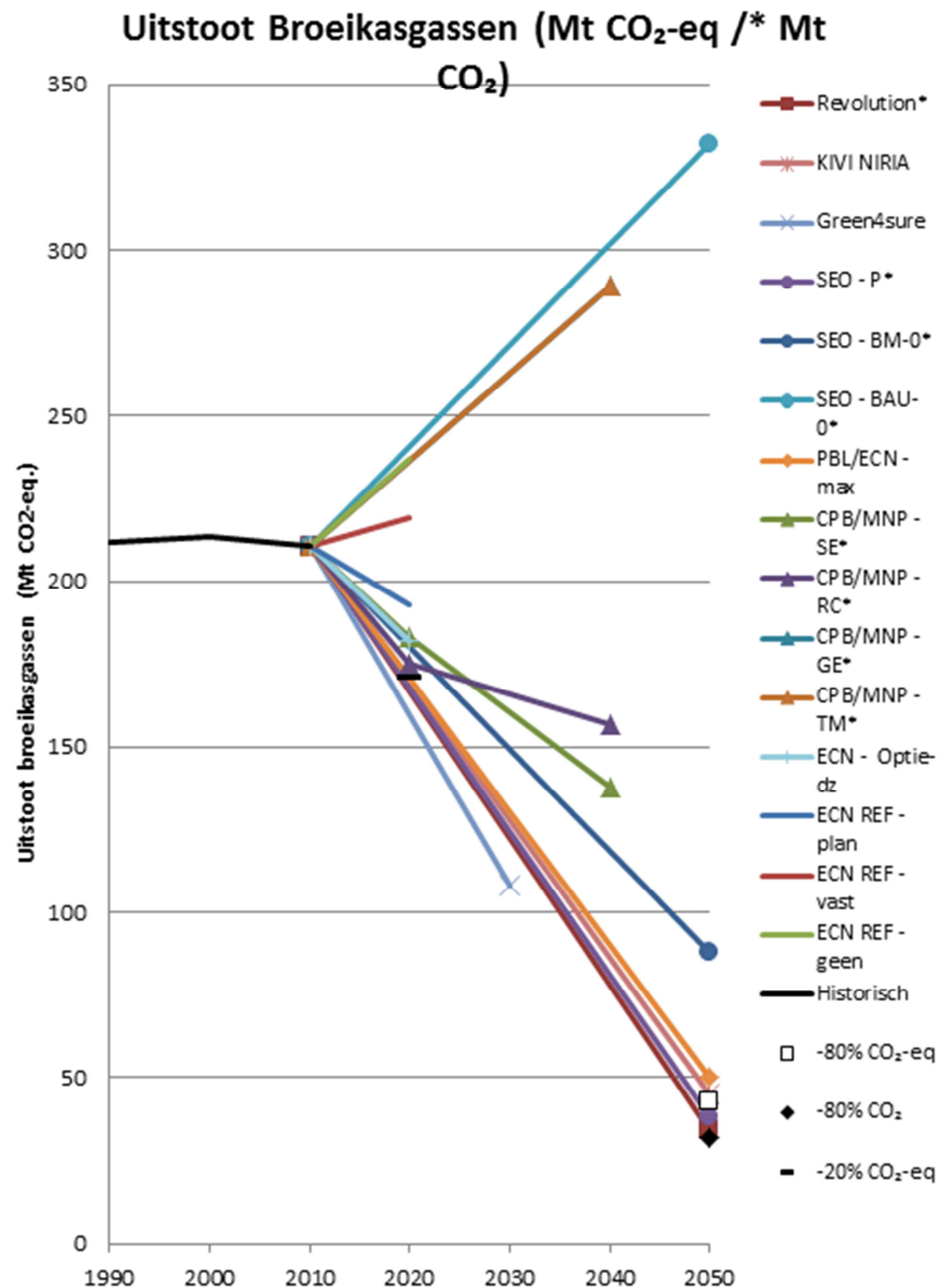
Bron: CBS/bewerking TNO

Veel onduidelijkheid over het toekomstige energiesysteem van Nederland

Over de toekomstige ontwikkeling van het Nederlandse energiesysteem zijn de afgelopen jaren diverse studies uitgebracht. Een aantal studies heeft een tijdshorizon tot 2020 of 2030, andere kijken verder tot 2040 of 2050. De focus ligt daarbij soms op het totale energiesysteem, maar ook wel op onderdelen daarvan (gas, hernieuwbare energie). Samen omvatten deze studies 20 toekomstscenario's voor vraag en aanbod van energie in Nederland.

Om een beeld te krijgen van het toekomstige energiesysteem van Nederland is een review van deze toekomstscenario's uitgevoerd. Deze review laat zien dat er grote verschillen bestaan tussen de toekomstbeelden. Deze verschillen zijn terug te voeren op sterk uiteenlopende aanname's, bijvoorbeeld over de ontwikkeling van fossiele energieprijzen en het al dan niet slagen van ambitieus internationaal klimaatbeleid.

De prognoses van de toekomstige Nederlandse energievraag (richtjaren 2040 / 2050) lopen uiteen. Het energiegebruik kan van de huidige 3400 PetaJoules (anno 2010) dalen naar 1600 PetaJoules, maar ook stijgen naar circa 5000 PetaJoules per jaar. Ook de verwachtingen m.b.t. de toekomstige uitstoot van CO₂ emissies variëren sterk tussen de verschillende scenario's. De laagste schatting voor 2050 bedraagt 38 Mt CO₂, de hoogste 332 Mt CO₂. Alleen trendbreuk-scenario's, die een duurzame energievoorziening anno 2040/2050 als vertrekpunt nemen en via backcasting laten zien welke ingrijpende veranderingen nodig zijn, realiseren de voor 2020 en 2050 gestelde klimaatdoelen: respectievelijk een reductie van 20% en 80% ten opzichte van 1990.



Figuur 1: Uitstoot Broeikasgassen (Mt CO₂-equivalenten en met *:alleen Mt CO₂) in diverse toekomstscenario's en broeikasgasreductie-doelstellingen

Trendbreuken in vraag en aanbod van energie zijn nodig om de klimaatdoelen te realiseren, maar geen van de beschouwde trendbreukscenario's biedt inzicht in de gevolgen van bijvoorbeeld de vervanging van fossiele door hernieuwbare energiebronnen voor de betaalbaarheid van energie, de concurrentiepositie van energie-intensieve sectoren, de werkgelegenheid en de staatsfinanciën van Nederland. De trendbreukscenario's schetsen een forse groei in hernieuwbare energie, maar de kansen die dit oplevert voor onze concurrentiepositie en werkgelegenheid blijven onderbelicht.

Ook de economische gevolgen van de scenario's zonder trendbreuken, waarin onze energiemix anno 2040/2050 sterk lijkt op de huidige energievoorziening, blijven onderbelicht. Toch kunnen deze gevolgen substantieel zijn. Wanneer de gaswinning uit eigen voorraden terugloopt, verandert ons land rond 2030 van gasexporteur in netto importeur. Wanneer dit gepaard gaat met hoge energieprijzen in Europa, komen de energie-intensieve sectoren in ons land onder druk te staan, wat ten koste kan gaan van de Nederlandse concurrentiepositie.

Conclusies

De uitgevoerde studie maakt zichtbaar dat Nederland beschikt over een sterk gespecialiseerd energiesysteem waarin aardgas en aardolie een dominante rol spelen. Dit systeem is van cruciaal belang voor de Nederlandse economie. Circa 20% van de staatsinkomsten is gerelateerd aan het huidige energiesysteem. Voor de Nederlandse economie vitale bedrijfstakken zoals de chemie, het goederenwegvervoer, de glastuinbouw en de voedingsmiddelenindustrie zijn voor hun voortbestaan sterk afhankelijk van stabiele en betaalbare energieprijzen en een betrouwbare en hoogwaardige energie infrastructuur. Met dit bijzondere energiesysteem onderscheidt ons land zich van EU-lidstaten als Denemarken, Zweden en Duitsland. Terwijl deze landen al enkele jaren structureel investeren in windenergie, bio-energie en zon-pv, staat niet vast of dit voor Nederland economisch gezien de optimale route is.

De geanalyseerde toekomstscenario's tonen grote verschillen die zijn terug te voeren op sterk uiteenlopende aannames. De in internationale klimaatafspraken vastgelegde doelen voor reductie van CO₂ emissies worden alleen gehaald met trendbreukscenario's. Onze startpositie in de transitie naar een duurzame energievoorziening is wezenlijk anders dan die van veel andere EU-lidstaten. Nederland heeft een sleutelrol in de Noord West Europese markt voor aardgas en aardolie en de energie-intensieve bedrijfstakken hebben een vitale rol in onze economie. De trendbreuken die nodig zijn om de klimaatdoelen te halen kunnen onze economische positie wezenlijk verzwakken. Bij de transitie naar een toekomstbestendige, duurzame energievoorziening voor Nederland moet dan ook worden gewerkt aan oplossingen waarmee ons land haar -aan ons huidige energiesysteem gerelateerde - sterke economische positie kan behouden. Dit is een enorme opgave.

Hoewel er een brede kennisbasis is voor de transitie naar een toekomstbestendig energiesysteem in Nederland, wijst deze studie uit dat deze kennis op een aantal punten verbetering behoeft. De beschouwde toekomstscenario's verschillen sterk in transparantie, kwaliteit en volledigheid van de onderliggende aannames. Energiebesparing is in veel toekomstscenario's onderbelicht. Inzichten in de totale kosten en baten van verwachte ontwikkelingen zijn op basis van het beschikbare materiaal nog te indicatief.

In de onderhavige studie is getracht voor een tiental energie-opties - zoals zon-pv, biobrandstoffen, wind op zee en geothermie – de belangrijkste sterktes en zwaktes op het gebied van duurzaamheid overzichtelijk in beeld te krijgen en tevens zicht te krijgen op de belangrijkste randvoorwaarden en barrières die van invloed zijn op implementatie van deze opties. Daarbij is gebleken dat de beschikbaarheid en kwaliteit van de data sterk varieert. Het is nog niet goed mogelijk om een eenduidig, integraal beeld van hun potentiële impact samen te stellen. Ook is er nog maar beperkt inzicht in economische kansen die deze energie-opties bieden

voor het Nederlandse bedrijfsleven op de buitenlandse markt. Naast inschattingen van marktontwikkelingen is het hiervoor nodig om fundamenteel inzicht te hebben op welke terreinen Nederlandse partijen zich qua kennisportfolio en kerncompetenties onderscheiden van buitenlandse. Op dit moment is er maar beperkte informatie beschikbaar om op dit punt tot betrouwbare conclusies te komen.

Samenvattend kan worden geconcludeerd dat Nederland niet beschikt over een consistente transitiestrategie en dat de daarvoor benodigde kennisbasis versterking behoeft. Dit is zorgelijk. We zijn onvoldoende voorbereid op een transitie die vitale economische belangen zal raken en nieuwe economische kansen kan opleveren. Juist omdat de energietransitie vitale belangen in ons land raakt, is een consistente transitiestrategie nodig, gebaseerd op een gedegen en breed gedragen lange termijn visie op ons energiesysteem.

Aanbevelingen

Om te kunnen anticiperen op de maatschappelijke en economische gevolgen van de transitie naar een toekomstbestendige energievoorziening is een consistente, op de lange termijn gerichte transitiestrategie noodzakelijk. Belangrijke elementen van deze strategie zijn:

1. *Een integrale aanpak*, waarbij betrouwbaarheid, duurzaamheid en betaalbaarheid integraal in beschouwing worden genomen. Hierbij moet uitdrukkelijk gekeken worden vanuit een Europees perspectief, gezien de sleutelpositie van Nederland in de energie- en grondstofstromen binnen Noord West Europa.
2. *Keuze van hernieuwbare energiebronnen die goed aansluiten bij onze sterkten en specialisatie*. Het is voor Nederland van vitaal belang dat de energietransitie nieuwe economische activiteiten oplevert, waarmee bedrijven ook op de buitenlandse markt kunnen excelleren en die op termijn de huidige op fossiele brandstoffen gebaseerde activiteiten kunnen vervangen. Gezien het economische belang van aardgas en aardolie is dit een ongekende uitdaging.
3. *Investeren in vergaande energiebesparing*. In de industrie en de gebouwde omgeving is energiebesparing de eenvoudigste manier om CO₂ emissies te reduceren. Verdere sprongen in energiebesparing zijn met de opgebouwde kennis en praktijkervaring nodig en mogelijk.
4. *Effectief beprijsen van CO₂ uitstoot*. Voor een verduurzaming van het huidige energiesysteem lijken aanvullende maatregelen die CO₂ uitstoot beprijsen onontbeerlijk. Een forse versterking van het Europese systeem voor emissiehandel (ETS) is hiervoor nodig.
5. *Ruimte bieden aan de energieke samenleving*. Lokale initiatieven met hernieuwbare energie en innovatieve financieringsconstructies. Deze initiatieven stimuleren innovatie en dragen positief bij aan betrokkenheid van burgers. Betrokken en gemotiveerde burgers zijn van groot belang om de transitie van onze energievoorziening te kunnen realiseren.

De kennisbasis voor deze transitiestrategie voor Nederland dient te worden versterkt. Veel methoden, modellen en databases zijn al beschikbaar maar de onderlinge samenhang laat te wensen over. De onderhavige studie mondt uit in een ontwerp op hoofdlijnen voor structurele ondersteuning van overheid en bedrijfsleven. Dit ontwerp heeft als belangrijkste karakteristieken:

- Een integrale systeembenadering, waarin duurzame én fossiele energiedragers, centrale én decentrale energie-infrastructuur in hun samenhang worden beschouwd en die rekening houdt met de dynamische wisselwerking tussen energievraag en aanbod
- Benchmarking van de fysieke en economische karakteristieken van het Nederlandse energiesysteem ten opzichte van andere EU-lidstaten, als basis voor ontwikkeling van een op maat gesneden transitiestrategie die de sterke punten van Nederland benut en mogelijkheden creëert om verdienvermogen en duurzaamheid van de energiesector te versterken
- Ontwerp en kwantificering van coherente transitiepaden die duurzaam, betrouwbaar en betaalbaar kunnen voorzien in de ontwikkelende energievraag en zicht bieden op een optimale tijdsfasering van de implementatie
- Versterking van integrale databases voor de performance en implementatie van energie- en besparingsopties en een sterk verbeterde modelinfrastructuur ten behoeve van een nieuwe generatie scenario's.

Het beoogde resultaat is een versterkte kennisbasis die het mogelijk maakt om een realistische, op gedegen inzicht gebaseerde, transitiestrategie voor het Nederlandse energiesysteem te ontwikkelen.

1 Inleiding

Wereldwijd is de energievoorziening ingrijpend aan het veranderen. Terwijl de groei van de energievraag in Europa en de VS afvlakt, gaan opkomende economieën als China, India, Brazilië en Rusland nu de meest energie-intensieve fase van hun ontwikkeling in. De mondiale energievraag neemt hierdoor in de periode tot 2035 nog met ruim 30% toe. Algemeen wordt verwacht dat aardolie, aardgas en kolen de komende decennia dominant blijven in de mondiale energiemix. Tegelijkertijd is er onder invloed van klimaatbeleid een sterke drive om het gebruik van deze fossiele brandstoffen te verminderen en hernieuwbare bronnen te ontwikkelen.

Genoemde ontwikkelingen zullen grote invloed hebben op de betrouwbaarheid, betaalbaarheid en duurzaamheid van het Europese energiesysteem. Voorzieningszekerheid en betaalbaarheid van energie staan op termijn onder druk en Europa heeft zich gecommitteerd aan ambitieuze klimaatdoelstellingen. Europa en Nederland hebben daarmee een aantal stevige motieven om het innovatievermogen te concentreren op de transitie naar een toekomstbestendig energiesysteem.

Tegen de achtergrond van een financiële crisis is het voor Nederland extra urgent om verstandig te investeren in de transitie naar een toekomstbestendig energiesysteem. Wanneer de middelen schaars zijn, dwingt dit tot goede afwegingen en heldere keuzen. Een cruciale vraag is welke innovaties de komende decennia mogelijk én nodig zijn om het Nederlandse energiesysteem toekomstbestendig te maken in economisch, ecologisch en sociaal opzicht.

1.1 Doelstelling

Over de transitie naar een toekomstbestendige energiehuishouding zijn de laatste jaren vele beleidsnotities, visies en analyses verschenen. Een aantal daarvan richt zich specifiek op Nederland. Het gaat dan om studies van gerenommeerde nationale (o.m. ECN, PBL, Ecorys, CPB) en internationale (o.m. Brattle Group, Roland Berger) bureaus. Veel van deze studies richten zich op de ontwikkeling van specifieke energietechnologieën (zon, wind, biomassa, etc.) en hun potentiële bijdrage aan de nationale energieproductie. Andere studies richten zich op de potentiële reductie van broeikasgasemissies door toepassing van (combinaties van) technologieën en kwantificeren de investeringskosten om reducties van 20% in 2020 en 80% in 2050 te realiseren. Een beperkt aantal studies richt zich op de R&D-inspanningen, de economische omvang en de toekomstige potenties van duurzame energie voor Nederland.

In de genoemde studies is de strategische prioritering van opties echter zwak onderbouwd en zijn het handelingsperspectief en de inbedding in de Nederlandse economie en samenleving onderbelicht. Het blijft daarmee een grote vraag hoe Nederland de transitie naar een toekomstbestendig energiesysteem zal gaan maken. Er is geen breed gedragen wensbeeld van dat toekomstige energiesysteem, een stabiel lange termijn energiebeleid ontbreekt en de bestaande kennisbasis biedt onvoldoende onderbouwing voor een eenduidige strategie in innovatie en beleid.

Hoewel op onderdelen en aspecten van onze energiehuishouding veel bekend is, ontbreekt tot dusver een integrale analyse van het energiesysteem. Het primaire doel van de onderhavige studie is een aanzet te doen tot een integrale systeemanalyse die de belangrijkste kansen en bedreigingen in beeld brengt van een energietransitie voor economie en samenleving van Nederland.

Een tweede doelstelling is na te gaan in hoeverre de bestaande data, modellen en inzichten voldoende onderbouwing en guidance bieden voor beleid en onderzoek dat de transitie naar een toekomstbestendig energiesysteem in Nederland bevordert.

1.2 Motieven voor de energietransitie

Deze studie vertrekt niet vanuit één vastomlijnd toekomstbeeld van het Nederlandse energiesysteem. Wat we precies verstaan onder een toekomstbestendig energiesysteem hangt immers direct samen met de eisen die we als samenleving nu en in de toekomst aan ons energiesysteem stellen.

Op dit moment ontbreekt een gemeenschappelijke visie op dat energiesysteem. Er is sprake van uiteenlopende beelden, variërend van Nederland als gas-hub van Europa (waarin aardgas een vitale pijler van onze economie vormt), via een Nederland als all-electric society (gebaseerd op elektriciteit uit hernieuwbare bronnen) tot Nederland als Biobased Economy (waarin alle reststromen biomassa uiteindelijk worden omgezet in energie). Deze uiteenlopende beelden bestaan naast en los van elkaar en reflecteren uiteenlopende motieven voor de transitie van ons energiesysteem.

Die onderliggende motieven spelen een belangrijke rol in de legitimatie van het Nederlandse energiebeleid van de afgelopen decennia. In beleidsdocumenten wordt een aantal motieven aangevoerd om de urgentie van een energietransitie te onderbouwen:

- *Voorzieningszekerheid*: onze energievoorziening is voor een belangrijk deel afhankelijk van de instabiele geopolitieke situatie in regio's met een grote aardolie- en aardgasreserve. Deze afhankelijkheid verminderen draagt bij aan voorzieningszekerheid.
- *Uitputting*: de fysieke voorraden van aardolie, aardgas en steenkolen worden in hoog tempo gebruikt. Op wereldschaal zijn deze voorraden nog lang niet uitgeput, zeker wanneer onconventionele en moeilijk winbare voorraden worden meegerekend. Echter, eigen voorraden kun wel degelijk uitgeput raken. In dat geval zijn de voorzieningszekerheid (geopolitieke afhankelijkheid) en de betaalbaarheid van in het geding
- *Betrouwbaarheid*: de beschikbaarheid van voldoende energie om op elk moment te kunnen voorzien in een wisselende energiebehoefte wordt in alle geïndustrialiseerde landen beschouwd als een basale verworvenheid
- *Betaalbaarheid*: ook al kunnen marktprijzen van energiedragers op korte termijn flink fluctueren, het streven is energie voor de gebruiker betaalbaar te houden.
- *Veiligheid en milieukwaliteit*: een energievoorziening zonder (milieu)risico's voor mens, milieu en leefomgeving
- *Klimaatverandering*: de uitstoot van CO₂ (en andere broeikasgassen) ten gevolge van menselijke activiteiten wordt algemeen gezien als de belangrijkste

oorzaak van klimaatverandering. Het streven is deze uitstoot zoveel mogelijk terug te dringen.

- *Nieuwe business kansen*: de marktintroductie van nieuwe energietechnologieën kan nieuwe kansen voor bedrijven en daarmee nieuwe werkgelegenheid creëren.

Elk van deze motieven onderstreept een kans, noodzaak of randvoorwaarde voor innovaties en investeringen in onze energievoorziening. Opeenvolgende Kabinetten blijken steeds andere (combinaties van) motieven aan te voeren voor hun beleidsdoelen en instrumenten. Dit heeft niet bijgedragen aan een stabiel en consistent energiebeleid, vooral niet waar het gaat om innovatie en uitrol van nieuwe opties. Door motieven als betaalbaarheid, betrouwbaarheid en klimaatverandering te combineren ontstaat bovendien onhelderheid over het te volgen transitiepad. Uit oogpunt van korte-termijn betaalbaarheid en betrouwbaarheid lijkt het verstandig om de bestaande infrastructuur voor aardolie en aardgas zo lang mogelijk uit te baten. Uit oogpunt van klimaatverandering lijken diepte-investeringen in hernieuwbare energietechnologieën verstandig, in combinatie met een versnelde uitfasering van aardolie en aardgas. Het stapelen van deze motieven creëert onduidelijkheid omtrent de ambities en prioriteiten van beleid.

1.3 Aanpak en leeswijzer

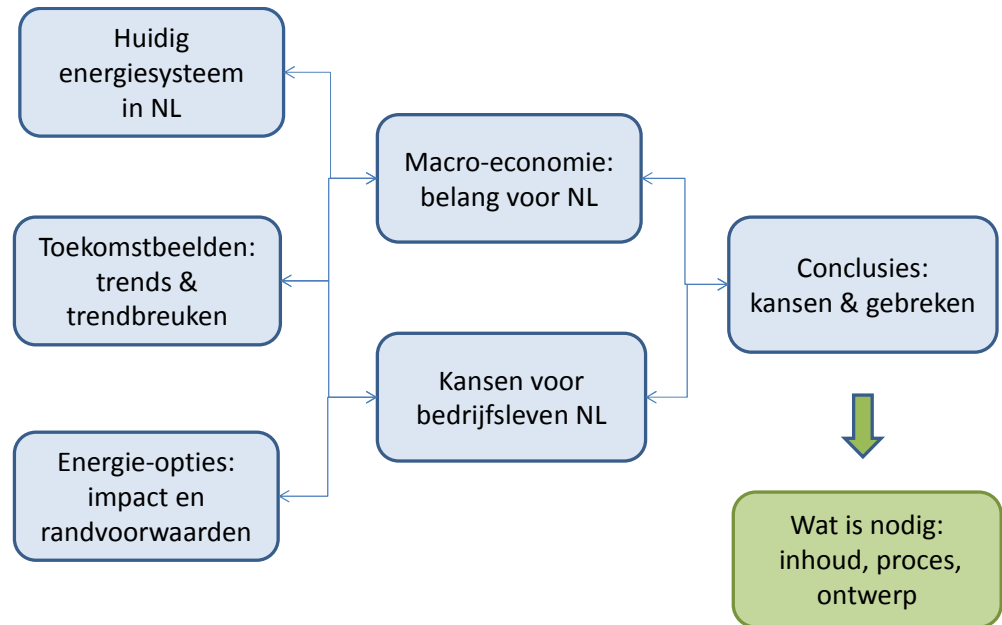
In hoofdlijnen kent deze studie de volgende onderdelen:

- een beschouwing van sterkten, zwakten, kansen en bedreigingen van het Nederlandse energiesysteem als geheel (hoofdstuk 2)
- een review van een twintigtal gezaghebbende toekomstscenario's, om zicht te krijgen op mogelijke ontwikkelingen in het Nederlandse energiesysteem gedurende de komende decennia (hoofdstuk 3)
- een analyse van het duurzaamheidsprofiel van een tiental energie-opties, die een belangrijke rol spelen in de genoemde toekomstscenario's, waarbij gelet wordt economisch, sociaal en milieukundige sterktes en zwaktes over de gehele levenscyclus (hoofdstuk 4)
- een macro-economische analyse van kosten en benefits, op niveau van bedrijfstakken en macro-economisch (Nederland), die het economische belang van het energiesysteem kwantificeert (hoofdstuk 5)
- een verkenning van de energie-opties waarvan de ontwikkeling en implementatie in de komende decennia substantiële marktkansen biedt voor Nederlandse bedrijven op de internationale markt (hoofdstuk 6)

De analyse mondt uit in een beoordeling van de bestaande kennisbasis met het oog op de onderbouwing en guidance die noodzakelijk is voor een innovatiestrategie die de transitie naar een toekomstbestendig energiesysteem in Nederland bevordert. De voorlopige resultaten zijn voorgelegd aan experts van de drie betrokken kennisinstellingen en aan sleutelpersonen uit de sector (zie bijlage B). Het laatste onderdeel van deze studie is mede gebaseerd op deze dialoog:

- een ontwerp voor structurele ondersteuning, met aanbevelingen voor doorontwikkeling van bestaande methoden, modellen en databases tot de beoogde integrale benadering van het energiesysteem, ten behoeve van overheid en bedrijfsleven (hoofdstuk 7)

In de onderstaande figuur staan deze werkzaamheden in onderlinge samenhang weergegeven.



Figuur 1.1: Overzicht van de onderdelen van deze studie

2 Het energiesysteem in Nederland

De energiesector is van groot belang voor de Nederlandse economie, zowel direct als indirect. De traditionele energiesector (delfstoffenwinning en openbare nutsbedrijven excl. water¹) levert een substantiële bijdrage aan de Nederlandse staatskas en draagt fors bij aan de Nederlandse exportpositie. Daarnaast is er het indirecte belang dat samenhangt met de rol van de energiesector als toeleverancier voor alle andere sectoren. Een kwetsbare energievoorziening betekent een kwetsbare samenleving. Behalve het binnenlands verbruik kent de Nederlandse productiestructuur een aanzienlijke energie-intensieve export, met name door de landbouw en de chemie. Dit kon tot stand komen op basis van een stabiel aanbod van goedkope olie en de eigen grote gasvoorraad.

Dit hoofdstuk geeft een beknopte analyse van de sterkten en zwakten, kansen en bedreigingen voor het Nederlandse energiesysteem in internationaal perspectief.

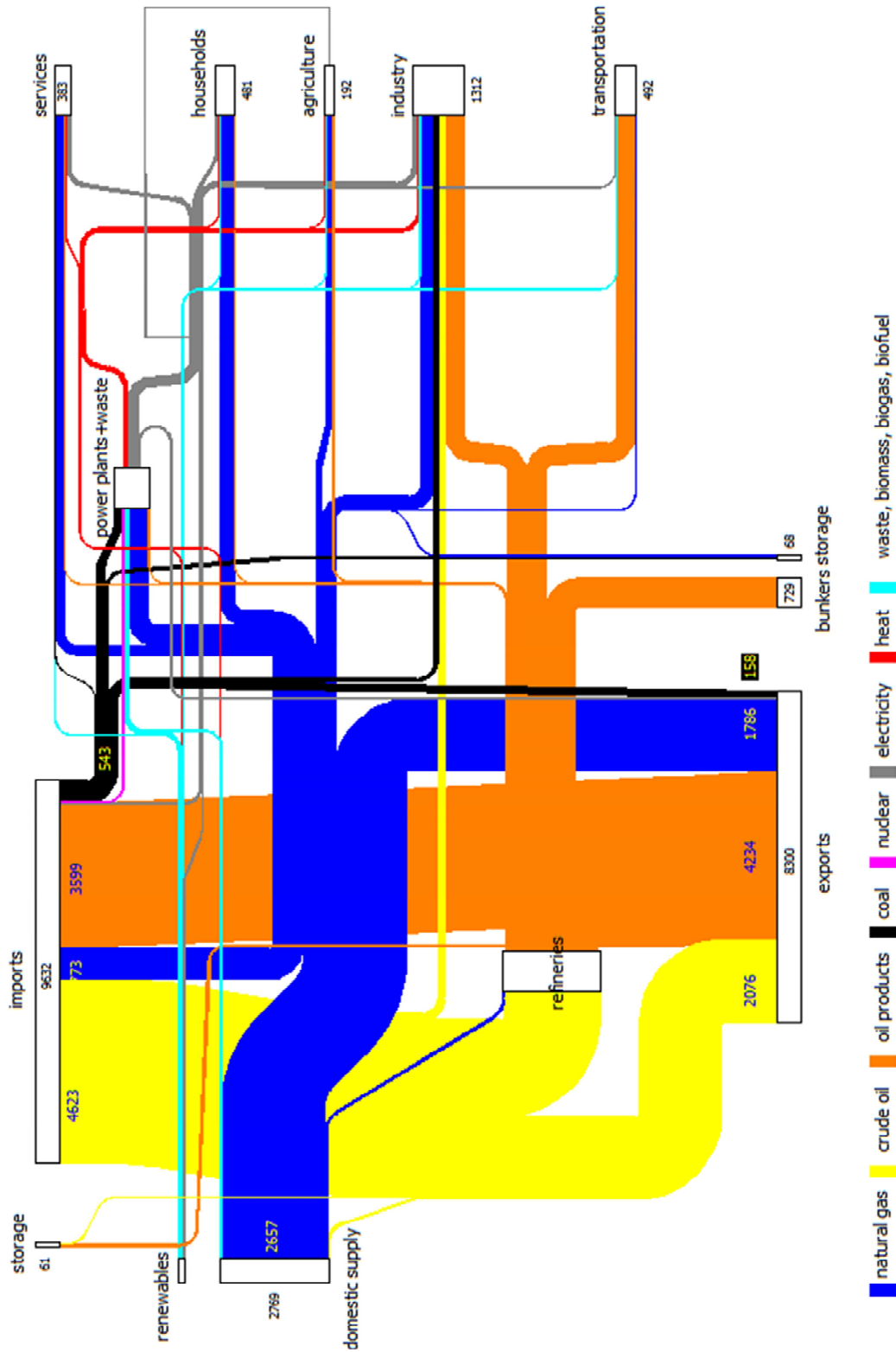
2.1 Het Nederlandse energiesysteem

Op basis van de energiestatistieken van het CBS voor 2010 is het onderstaande Sankey diagram gemaakt, dat de herkomst en bestemming van energiestromen in Nederland aangeeft. De dikte van de lijnen wordt bepaald door de omvang van de energiestromen.

De verschillende energiedragers (aardgas, ruwe olie, olieproducten, kolen, kernenergie, elektriciteit, warmte en afval, biomassa, biogas en biobrandstof) zijn alle in PJoules, maar in verschillende kleuren weergegeven. Deze energiedragers worden voornamelijk gewonnen in eigen aardgasvelden (ca. 2.800 PJoules) dan wel geïmporteerd (ca. 10.000 PJoules). Deze energiedragers worden ingezet voor binnenlands gebruik in diverse sectoren (ca. 2.900 PJoules) en export (inclusief bunkering en opslag ca. 9.100 PJoules).

Figuur 2.1 laat in één oogopslag het bijzondere karakter van het Nederlandse energiesysteem zien. Opvallend is de omvangrijke doorvoer van olie en olieproducten. Ook is het belang van de raffinaderijsector in Nederland te zien. De daar geproduceerde olieproducten worden slechts beperkt in eigen land gebruikt, ze zijn vooral voor de export bestemd. In het binnenlands verbruik speelt aardgas een dominante rol. Hernieuwbare bronnen hebben een zeer beperkte rol in aanbod en verbruik van energie.

¹ Bedrijfstak nr. 10 tot en met 14 en 41, volgens de Standaard Bedrijfstakken Indeling van het CBS (1993)



Figuur 2.1: Energiestromen in Nederland (data CBS, 2010)

2.2 Sterkten

Landen met een grote reserve aan fossiele brandstoffen ontleen een belangrijk deel van hun welvaart aan de productie van deze delfstoffen en aan industriële sectoren die daaraan gerelateerd zijn. Ook Nederland baseert zijn financiële positie deels op de beschikbare aardgasreserves en op sectoren die gas verbruiken, zoals binnen de chemie en in de glastuinbouw.

Met een gunstige ligging (aan zee), goede havenfaciliteiten voor grootschalige invoer van brandstoffen (zoals olie en kolen) en biomassa, substantiële gasvoorraden, een dicht en kwalitatief hoogwaardig gas-, olie- en elektriciteitsnet en relatief veel koelwater is het voor internationale partijen interessant om in Nederland te investeren. Sinds 2009 is Nederland per saldo exporteur van elektriciteit naar landen in Noordwest-Europa. In de investeringsplannen van producenten voor de Noordwest-Europese elektriciteitsmarkt komt de gunstige positie van Nederland als vestigingsland duidelijk naar voren.

Qua kennispositie is Nederland een internationaal toonaangevende speler waar het gaat om de exploratie, productie en distributie van gas. Ook op andere gebieden heeft internationaal een vooraanstaande kennispositie, zoals in windenergie, biomassa, biobrandstoffen en fotovoltaïsche zonne-energie, geothermie en op het gebied van intelligente energiesystemen. De Nederlandse kennisinstellingen staan internationaal goed aangeschreven en zijn op vele onderwerpen goed aangesloten bij internationale netwerken. Internationale bedrijven binnen de chemiesector besteden een substantieel van hun R&D in Nederland.

Een substantieel deel van de landelijke ruimte in beheer van de Nederlandse land- en tuinbouw, die zich wereldwijd profileert als koploper in innovatie. De eerste toepassingen van geothermie zijn in de tuinbouw gerealiseerd. Ook nemen steeds meer groepen boeren, maar ook gemeenten, bedrijven en groepen burgers op lokaal niveau initiatieven op het gebied van hernieuwbare energie, bijvoorbeeld met gezamenlijke windparken, collectieve inkoop van zonnepanelen of de start van lokale energiebedrijven. De hoge ruimtelijke dichtheid in stedelijke agglomeraties biedt gunstige voorwaarden voor de benutting van industriële restwarmte.

2.3 Zwakten

Mede door de internationale aandacht voor klimaatverandering groeit het aandeel van energie uit hernieuwbare bronnen zoals wind, zon, waterkracht en biomassa. In Nederland bedraagt het aandeel duurzame energie minder dan 5% van het totale energiegebruik, een relatief klein aandeel in vergelijking met koplopers Duitsland (m.n. zonne-energie), Denemarken (m.n. windenergie) en Zweden (m.n. biomassa). Wel blijkt de Nederlandse samenleving zich goed te lenen als proeftuin voor de eerste introductie van nieuwe producten en diensten. Dit geldt ook voor ontwikkeling van hernieuwbare energie-opties, maar de commerciële toepassing, marktpenetratie en opschaling in de samenleving verlopen relatief langzaam.

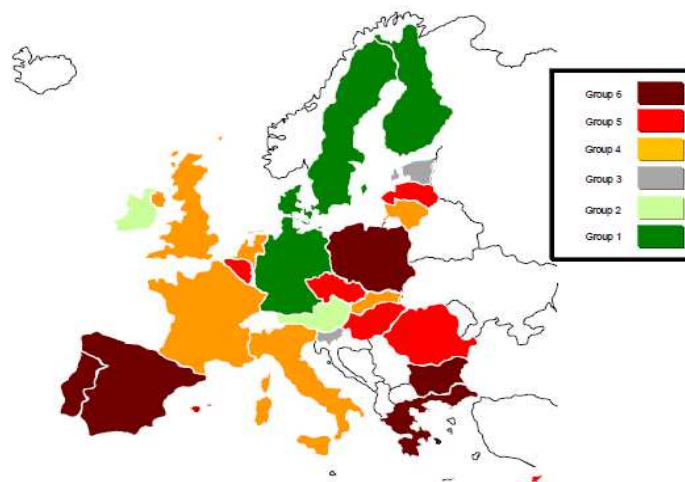
Nederland is met zijn havens, hoogwaardige infrastructuur en gasvoorraden aantrekkelijk als vestigingslocatie voor grootschalige, thermische elektriciteitscentrales (m.n. gas en kolen). Bovendien is de afgelopen decennia veel

kapitaal geïnvesteerd de bestaande, centrale energie-infrastructuur voor gas en elektriciteit. Deze specialisatie op fossiele energiebronnen heeft als keerzijde dat in zekere mate een lock in-situatie is ontstaan. Bij elke nieuwe energie-investering speelt de afweging tussen verdere optimalisatie van de bestaande constellatie en de start van een alternatieve route die in eerste instantie een lager rendement zal kennen.

Om private partijen te stimuleren tot ontwikkeling van hernieuwbare energie, heeft de Nederlandse overheid het afgelopen decennium een veelzijdig stimuleringsbeleid ontwikkeld. Zo zijn publieke middelen beschikbaar gesteld voor onderzoek en ontwikkeling, is de netwerkvorming tussen bedrijven en kennisinstellingen actief gestimuleerd en is de marktintroductie met gericht beleid bevorderd. De marktintroductie van hernieuwbare energie is met name gestimuleerd met exploitatiesubsidies (zoals de genoemde SDE-regeling en zijn voorgangers) en andere financiële instrumenten die de extra kosten eenzijdig bij de overheid leggen. Mede door de economische crisis die de overheid dwingt tot heroverweging van zijn uitgaven is deze financiële stimulering onder druk komen staan

De realisatie van energieproductie uit duurzame bronnen wordt belemmerd door grote discontinuïteit van het Nederlandse energiebeleid. Beleidsdoelen en het bijbehorende instrumentarium wordt door elk nieuw Kabinet aangepast. Ook effectieve stimuleringsregelingen, zoals de Stimuleringsregeling Duurzame Energie (SDE) kunnen tijdelijk worden gestopt wanneer de beschikbare middelen uitgeput raken door de grote respons. Dit creëert een relatief ongunstig investeringsklimaat voor ondernemers in duurzame energie. Ook de historisch lage prijs van CO₂ binnen het Europese Emission Trading System (ETS) draagt bij aan dit ongunstige investeringsklimaat.

De onderstaande figuur geeft een indeling van EU-lidstaten in zes groepen, op basis van het aantal niet-financiële belemmeringen voor de ontwikkeling van duurzame energie (Ecorys, 2010a). Landen binnen groep 1 (groen) kennen het kleinste aantal belemmeringen, landen in groep 6 (bruin) het grootste aantal. Nederland is ingedeeld in groep 4.



Figuur 2.2: Benchmark van EU-27: belemmeringen voor duurzame energie (Ecorys, 2010a)

Naast de eerder genoemde lokale innovatiedynamiek is er in Nederland, maar ook in andere Europese landen, lokaal ook veel weerstand tegen de bouw van windmolens, ondergrondse CO₂ opslag en winning van schaliegas. De lokale bevolking maakt bezwaar tegen risico's voor veiligheid of milieu, of accepteert niet dat hun gemeenschap de lasten draagt van maatregelen die voor anderen baten opleveren. Deze lokale weerstand blijkt in Nederland een forse belemmering op te leveren in de realisatie van innovaties op het gebied van energie en klimaat.

2.4 Kansen

Met goede havenfaciliteiten voor grootschalige invoer van brandstoffen (zoals olie en kolen) en biomassa, substantiële gasvoorraden, een kwalitatief hoogwaardig gas-, olie- en elektriciteitsnet, relatief geringe hinder in het vergunningentraject en relatief veel koelwater is het voor internationale bedrijven interessant om in Nederland te investeren. Bij een groeiend aanbod aan gas uit onconventionele bronnen kunnen onze gasgestookte centrales die met hoog rendement en hoge productie zeer gunstig in de markt komen te liggen. Voor de komende jaren wordt een verdere groei van het productievermogen voorzien, gezien de nieuwbouwplannen voor m.n. grootschalige thermische centrales. Tot 2019 wordt een uitbreiding van 10 Gigawatt verwacht, een groei met 50 procent ten opzichte van het huidige productievermogen. Na 2019 lijkt de tot dan toe stijgende tendens van plannen tot nieuwbouw van vermogen gestabiliseerd.

Nederland wordt wel genoemd als toekomstige gas-hub van Europa. De hoogwaardige (gas)infrastructuur in combinatie met de sterke kennispositie in de winning, conversie en transport van gas geeft Nederland een natuurlijke voorsprong op omliggende landen. Bovendien zouden lege aardgasvelden als buffer kunnen fungeren voor aardgas dat van elders (m.n. Rusland) wordt geïmporteerd. En de mogelijkheden voor eigen winning uit schaliegas worden ook positief ingeschat. Duurzame energie wordt voor een groot deel lokaal opgewekt bij bronnen als zon en wind en kent een sterk in de tijd fluctuerend aanbodpatroon. Dit stelt nieuwe eisen aan de energie-infrastructuur en aan het vermogen om een fluctuerende vraag en een fluctuerend aanbod op elkaar af te stemmen. Het creëert ook kansen voor innovatieve bedrijven op het gebied van opslag van (elektrische) energie, voor optimale benutting van onze hoog ontwikkelde energie-infrastructuur en voor een rol als koploper bij de ontwikkeling en implementatie van intelligente energiesystemen.

Als klein land met een open economie en een sterke kennispositie binnen Europa kan Nederland bij uitstek profijt hebben van innovaties waartoe andere lidstaten het initiatief nemen. Door de ontwikkeling van specifieke energietechnologieën (zon, wind, biomassa, etc.) in ons land af te stemmen met investeringsplannen van Duitsland en andere EU lidstaten, benutten we de kans om effectief te investeren in een optimale mix van energieopties, vanuit een samenhangende lange termijn visie op het Nederlandse energiesysteem als onderdeel van Europa.

Niet alleen de ontwikkeling van nieuwe vormen van energieproductie biedt kansen voor het Nederlandse bedrijfsleven. Ook liggen er kansen voor substantiële verbetering van energie- en materiaalefficiëntie in productie en eindgebruik. Met name in de procesindustrie, in het transport en in de gebouwde omgeving liggen er

mogelijkheden voor energiebesparing. Zo is de gebouwde omgeving verantwoordelijk voor ca. 35% van het primair energiegebruik en ca. 30% van de CO₂ uitstoot. Uit onderzoek (bron SEV) is gebleken dat door vraagreductiemaatregelen de primaire energievraag in de gebouwde omgeving met ca. 50-70% teruggebracht kan worden. Dit, in combinatie met het opwekpotentieel op gebouwen, maakt het mogelijk dat medio deze eeuw de gebouwde omgeving netto energie duurzaam kan opwekken.

2.5 Bedreigingen

Scenariostudies van International Energy Agency (IEA), Clingendael, ECN, Shell en ExxonMobil gaan uit van een groei van de wereldbevolking en een groei van het mondiale BNP. Ze zijn het er over eens dat de groei van de energievraag in Europa en de VS zal afvlakken, maar dit leidt nog niet tot een ont koppeling tussen de stijging van de levensstandaard en de toename van het energieverbruik per persoon. Opkomende economieën als China, India, Brazilië en Rusland gaan daarentegen de meest energie-intensieve fase van hun ontwikkeling in. Ook in veel ontwikkelingslanden, met name in Afrika stijgt de energiebehoefte. De mondiale energievraag neemt hierdoor in de periode tot 2035 nog met ruim 30% toe.

Door zorgen over de negatieve effecten van het gebruik van fossiele brandstoffen op het klimaat en het milieu is er mondiaal een sterke drive om het gebruik van fossiele brandstoffen te verminderen. In 2007 zijn de leden van de Europese Unie overeengekomen om in 2020 20% minder energie te gebruiken, 20% energie uit hernieuwbare energiebronnen te produceren en 20% te reduceren op de uitstoot aan CO₂ ten opzicht van 1990. Voor 2050 is de ambitie de broeikasgasemissies terug te hebben gebracht met 80%. We zien een groeiende inzet van overheden en bedrijven om de energievoorziening te verduurzamen en een groeiend aandeel van energie uit hernieuwbare bronnen zoals wind, zon, waterkracht en biomassa.

Ook al neemt het belang van hernieuwbare bronnen toe, met 80% is het aandeel van fossiele brandstoffen tot in 2030 nog steeds dominant. Vanwege beperkte mogelijkheden om in OPEC-landen nieuwe olieprojecten te ontwikkelen, neemt de beschikbaarheid van 'low cost oil' af. Winningen in moeilijk toegankelijke gebieden (arctische gebieden, diepzee) of van onconventioneel winbare voorraden (teerzanden, schaliegas) dreigt een grotere druk op de omgeving te veroorzaken en vraagt ontwikkeling van nieuwe technieken. Door innovatieve methodes voor exploratie en productie van bestaande olie- en gasvelden kan het slinken van de conventionele olie- en gasvoorraden worden afgezwakt. De exploitatie van schaliegas in de Verenigde Staten zal daar leiden tot een lager aandeel van kolen in de primaire energievoorziening, maar de verwachte toename in Azië en mogelijk Europa is zodanig dat netto de inzet van kolen op mondiaal niveau naar verwachting zal groeien.

De beschikbaarheid van gas uit eigen voorraden op het Nederlandse continentaal plat neemt de komende decennia af. Dat is een bedreiging voor Nederland omdat de overheid in onze energiemarkt een duidelijk financieel belang heeft. Een omvangrijk deel van de belastinginkomsten voor de Nederlandse overheid loopt via energie: accijns op verbruik, winstbelasting bij producenten, baten uit export enzovoort. Door deze bijzondere positie zal de Nederlandse staat bij stijgende

olieprijzen, bij teruglopende (eigen) gasvoorraden én bij de overschakeling naar duurzame energiebronnen haar inkomsten substantieel zien teruglopen. Bovendien is de beschikbaarheid van relatief goedkoop gas uit eigen voorraden tot dusver gebruikt om een gunstige vestigingsklimaat te creëren voor energie-intensieve bedrijvigheid (metaal, kassentuinbouw, chemie). Die strategie is mogelijk de komende decennia niet langer houdbaar.

2.6 Samenvattend

Tabel 2.1 geeft een samenvattend overzicht van de kansen en bedreigingen waar het Nederlandse energiesysteem de komende decennia mee te maken kan krijgen.

Tabel 2.1: Sterkten, zwakten, kansen en bedreigingen voor het Nederlandse energiesysteem

<p>Sterkten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Een uitstekende ligging (zeehavens) voor handel en transport • Beschikbaarheid van eigen gasvoorraden • Unieke kennispositie m.b.t. de exploratie, productie en distributie van olie en gas • Dichte en hoogwaardige infrastructuur voor olie, gas en elektriciteit • Internationale bedrijven binnen de chemiesector besteden een substantieel van hun R&D in Nederland • Nederlandse land- en tuinbouw is wereldwijd innovatieve koploper • Hoge ruimtelijke dichtheid in stedelijke agglomeraties • Goede proeftuin voor introductie van nieuwe producten en diensten • Energieke samenleving met sterke, lokale innovatiedynamiek 	<p>Zwakten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Een samenhangende en gedragen lange termijn visie op het Nederlandse energiesysteem ontbreekt • Instabiel Nederlands beleid creëert ongunstig investeringsklimaat voor ondernemers in duurzame energie • Duurzame energie is gestimuleerd met exploitatie subsidies en financiële instrumenten die kosten eenzijdig bij de overheid leggen • Lokale weerstand tegen innovatieve oplossingen, zoals ondergrondse CO₂-opslag, windmolens en winning van schaliegas
<p>Kansen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nederland ontwikkelt zich als exporteur van elektriciteit met grote capaciteit van centrales op kolen, biomassa en gas • Ontwikkeling tot de gas hub van Europa, met een hoogwaardige gas-infrastructuur, kennispositie en gasvelden • Kansen voor Nederlandse off shore industrie bij constructie en onderhoud van windparken op zee • Als klein land met een open economie in Europa kan Nederland profiteren van de innovaties in andere EU-lidstaten • Benutting van de mogelijkheden voor verbetering van energie- en materiaalefficiëntie in productie en eindgebruik. 	<p>Bedreigingen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bij uitputting van Nederlandse voorraden aardgas wordt ons land netto importeur • Bij stijgende olie- en gasprijzen wordt Nederland voor energie-intensieve industrie minder aantrekkelijk • Rotterdamse haven als toegangspoort naar Europa neemt in betekenis af • Energie-gerelateerde inkomsten van de overheid (uit aardgasbaten en accijnzen) nemen sterk af bij transitie naar lokale energieopwekking • Gevestigde belangen in centrale energievoorziening kunnen de opkomst van decentrale opties belemmeren. • Financiële crisis beperkt middelen voor innovatiestimulering.

Veel van de genoemde kansen en bedreigingen hangen direct samen met de sterke specialisatie van ons land op fossiele energiebronnen. Het is van groot belang om scherper in beeld te brengen hoe en wanneer deze kansen en bedreigingen zich de komende jaren kunnen ontwikkelen, om daarmee de basis te leggen voor beleid en onderzoek dat de transitie naar een toekomstbestendig energiesysteem in Nederland bevordert.

3 Toekomstbeelden van ons energiesysteem

Voor het ontwikkelen van effectief energiebeleid met de juiste innovatieprioriteiten is het belangrijk om zicht te krijgen op mogelijke ontwikkelingen in de komende decennia en een beeld te hebben van denkbare transitiepaden naar een toekomstbestendig energiesysteem voor Nederland.

Scenariostudies zijn een veelgebruikte tool om een beeld te krijgen van mogelijke toekomsten en 'wat als'-vragen te beantwoorden. Er zijn dan ook veel scenariostudies voorhanden op nationaal, EU- en mondiaal niveau. Deze studies, hoewel ze allemaal een toekomstbeeld geven, onderscheiden zich door hun specifieke vraagstellingen:

- (I) Er zijn studies die de gevolgen van overheidsbeleid doorrekenen, en vooral een voorspellend karakter hebben binnen een redelijk beperkte tijds termijn.
- (II) Een tweede vraagstelling is het exploreren van uiteenlopende scenario's om het hele mogelijk spectrum van de energievoorziening in beeld te brengen, vaak op de wat langere termijn.
- (III) Er zijn ook studies die met visionaire verbeelding willen laten zien hoe een duurzame energievoorziening er uit kan zien. Deze normatieve studies gebruiken vaak een backcasting methode.

In dit hoofdstuk geven we een overzicht en analyse van de recente toekomstscenario's en van de verwachtingen die daarin worden gegeven over de mogelijke ontwikkeling van het Nederlandse energiesysteem. Bijzondere aandacht wordt besteed aan de veronderstellingen in de scenario's en aan de vragen die met het huidig beschikbare modelinstrumentarium niet goed beantwoord kunnen worden.

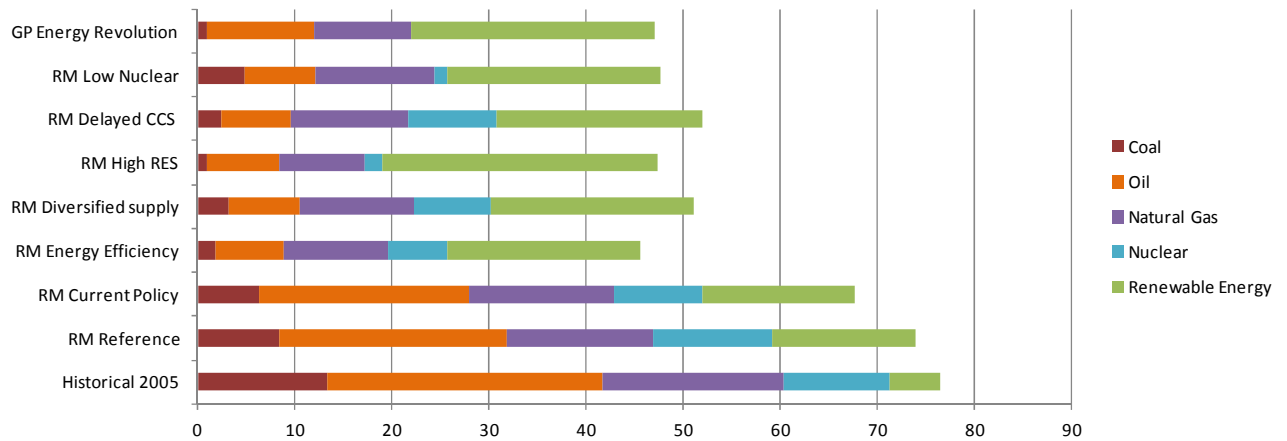
3.1 De toekomst van de energievoorziening in scenario's

Toekomstbeelden van de Europese energiehuishouding

De Europese context voor de Nederlandse toekomstbeelden is van belang en wordt geschetst in een aantal Europese scenariostudies van o.a. de Europese Commissie (EC, 2011), Greenpeace (Greenpeace et al., 2005) en de Energy Climate Foundation (ECF, 2010). Figuur 3.1 geeft een overzicht van het totale energieaanbod in de verschillende Europese scenario's van de eerste twee studies. De ECF studie wordt niet getoond, omdat deze zich beperkt tot de elektriciteitssector.

In de Energy Roadmap 2050 (EC, 2011) onderzoekt de Europese Commissie hoe de EU zijn doelstelling om tussen nu en 2050 de uitstoot van broeikasgassen met 80 tot 95 % te verminderen waar kan maken. Deze scenariostudie laat zien dat zonder significante extra kosten de energievraag in 2050 met 41% gedaald kan zijn, dat het aandeel hernieuwbare energie in die periode kan stijgen tot 75%, dat CO₂-heffingen bijdragen aan de gestreefde emissievermindering en dat ook zonder de bouw van nieuwe kerncentrales de gewenste energietransitie kan worden gerealiseerd. Elk van de transitie-scenario's wordt gekenmerkt door hoge investeringskosten, een verdubbeling van het aandeel elektrisch energiegebruik,

veel energiebesparing en een stijging in energieprijzen voor huishoudens. Het aandeel hernieuwbare energie stijgt in deze scenario's tot 41 % in 2050 of meer.



Figuur 3.1: Europees primair energieaanbod in 2050 (in EJ). RM: Roadmap scenario's van EC, GP: GreenPeace.

Toekomstbeelden van de Nederlandse energiehuishouding

Ook over de toekomst van de Nederlandse energievoorziening is veel geschreven. Alleen al in de periode 2006 – 2012 zijn er minstens tien studies uitgebracht die het energiesysteem van de komende decennia in kaart brengen door middel van scenario's. Sommige studies hebben een tijdshorizon tot 2020 of 2030, andere kijken verder tot 2040 of zelfs 2050. De focus in al deze rapporten ligt op het totale energiesysteem. Een andere groep studies richt zich op een deel van het energiesysteem. Zo schetst het rapport 'Economic impact of the Gas Hub Strategy on the Netherlands' (The Brattle Group, 2010) een toekomstbeeld voor de Nederlandse gasector. Een flink aantal rapporten heeft een specifieke focus op hernieuwbare energie. Goede voorbeelden zijn de twee door consultancy bureaus (Ecorys, 2010; Roland Berger, 2010) uitgewerkte toekomstbeelden van de duurzame energiesector.

Aan de hand van acht scenariostudies (zie tabel 3.1) en de bovengenoemde deelstudies laten we in dit hoofdstuk zien hoe de studies over de toekomst van de energievoorziening verschillen in input en uitkomsten. Ook zullen we op basis van de openbare rapporten de voornaamste overeenkomsten in kaart brengen. Aan de hand van de resultaten kunnen we een beeld geven van wat we weten over het toekomstige energiesysteem en sleutelfactoren voor energietransitie.

Tabel 3.1: Toekomstbeelden van de Nederlandse energievoorziening gemaakt om verschillende redenen

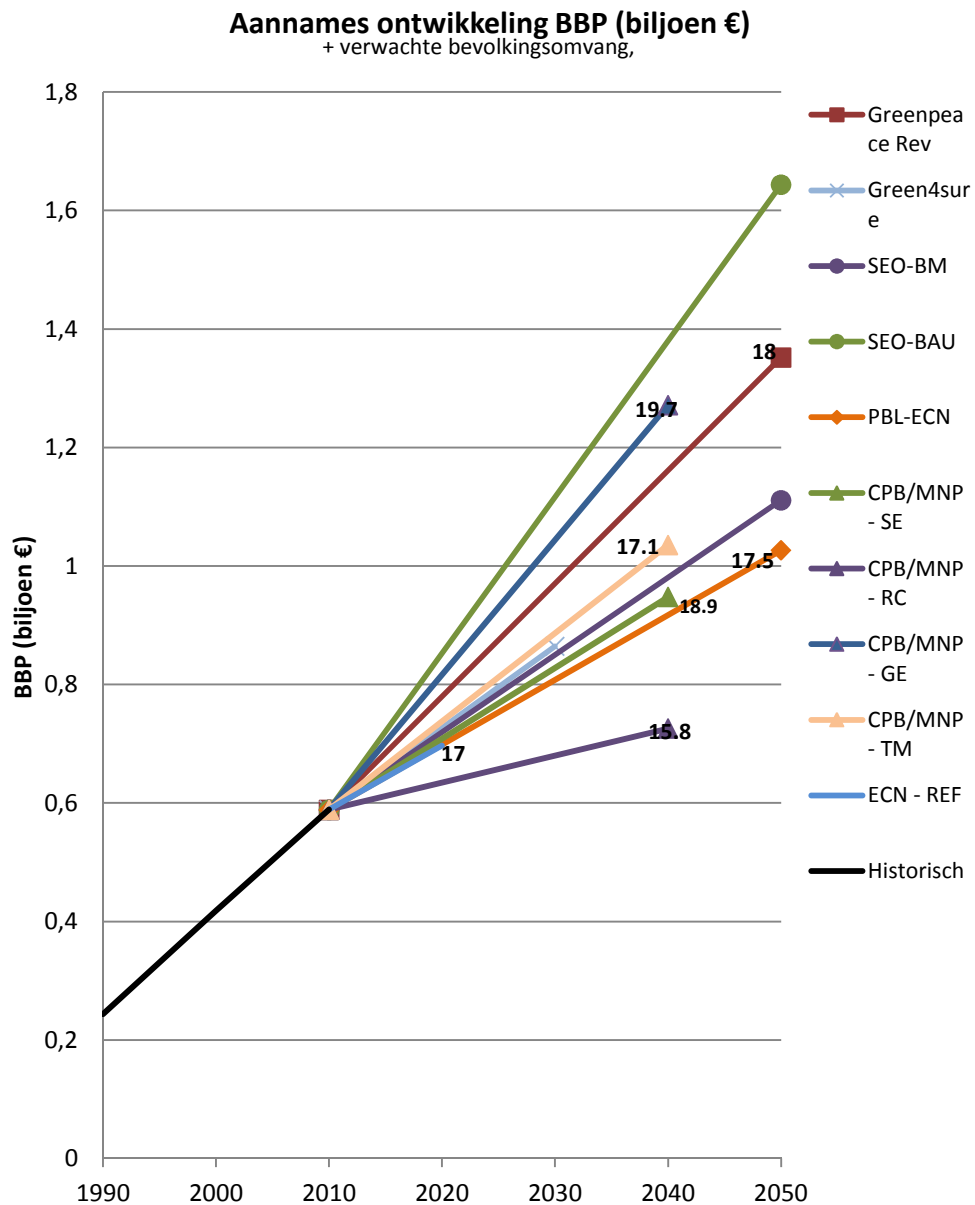
Studies	Bestudeerde scenario's (gebruikte afkorting)	Toepassing
Energy revolution, a sustainable pathway to a clean energy future for the Netherlands (Greenpeace, 2006)	Energy Revolution Scenario (<i>Revolution</i>) Reference Scenario (<i>Reference</i>)	III ^{a, c}
De energievoorziening van Nederland Vandaag (en morgen?) (KIVI/NIRIA/TU DELFT, 2006)	Transitie Scenario op basis van emissiereductie 80% in 2050 en inzet van duurzame energie van eigen bodem. (<i>KIVI NIRIA</i>)	III
Green4sure, het groene energieplan voor Nederland (Vakbonden & NGO's, 2007)	Transitie Scenario op basis van bereiken halvering broeikasgasemissies in 2030 (<i>Green4Sure</i>)	III ^{a, b, c}
Naar een schone economie in 2050: routes verkend (PBL/ECN, 2010)	Transitie scenario met maximale besparing, met autonome efficiency verbetering en met huidige technologie (<i>PBL/ECN-max/auto/nu</i>) + Referentie scenario (PBL/ECN-Ref)	III
Investeren in een schone toekomst (SEO, 2010)	Business as Usual Scenario (BAU) en een Blue Map scenario met geen extra beleid, zgn. nulvariant (0), en een Projectalternatief waarin 80% emissiereductie wordt bereikt (<i>SEO-BAU/BM-0/P</i>).	II ^b
Welvaart en Leefomgeving, Energie (CPB/MNP, 2010)	Global Economy, Transatlantic Markets, Strong Europe, Regional Communities (<i>CPB/MNP-SE;RC;GE:TM</i>)	II
Actualisatie Optiedocument 2010 (ECN, 2010)	NREAP: National Renewable Energy Action Plan (<i>Optied-duurz</i>)	I ^a
Referentieraming energie en emissies 2010 – 2020 (ECN, 2010)	Drie referentiescenario's:: met uitvoerig vaststaand en voorgenomen beleid van kabinet Balkenende IV, met alleen vaststaand beleid, en met geen beleid (<i>REF-Plan/Vast/Geen</i>)	I
Versterking van de Nederlandse duurzame energiesector (Ecorys, 2010)	Transitie Scenario: Focus op uitbreiding duurzame sector	III ^{a, c}
Stimulering van de economische potentie van hernieuwbare energie voor Nederland (Roland Berger, 2010)	Transitie Scenario: Focus op potentie hernieuwbare energie	III ^{a, b, c}
Economic Impact of the Gas Hub Strategy on The Netherlands (The Brattle Group, 2010)	Gas Hub Scenario; Base Case Scenario	I

- Inclusief identificatie van kosteneffectieve transitie-paden bij bepaalde ambitieniveaus van klimaatbeleid en inventarisatie van technologieën die belangrijk kunnen worden in de energiemix.
- Inclusief analyse van de maatschappelijke kosten en baten van transitiepaden.
- Inclusief identificatie van benodigd beleid om bijvoorbeeld het perspectief voor een technologie te veranderen of eventuele andere randvoorwaarden zoals infrastructuurontwikkeling te waarborgen.

3.2 Achtergrond van Nederlandse scenario's

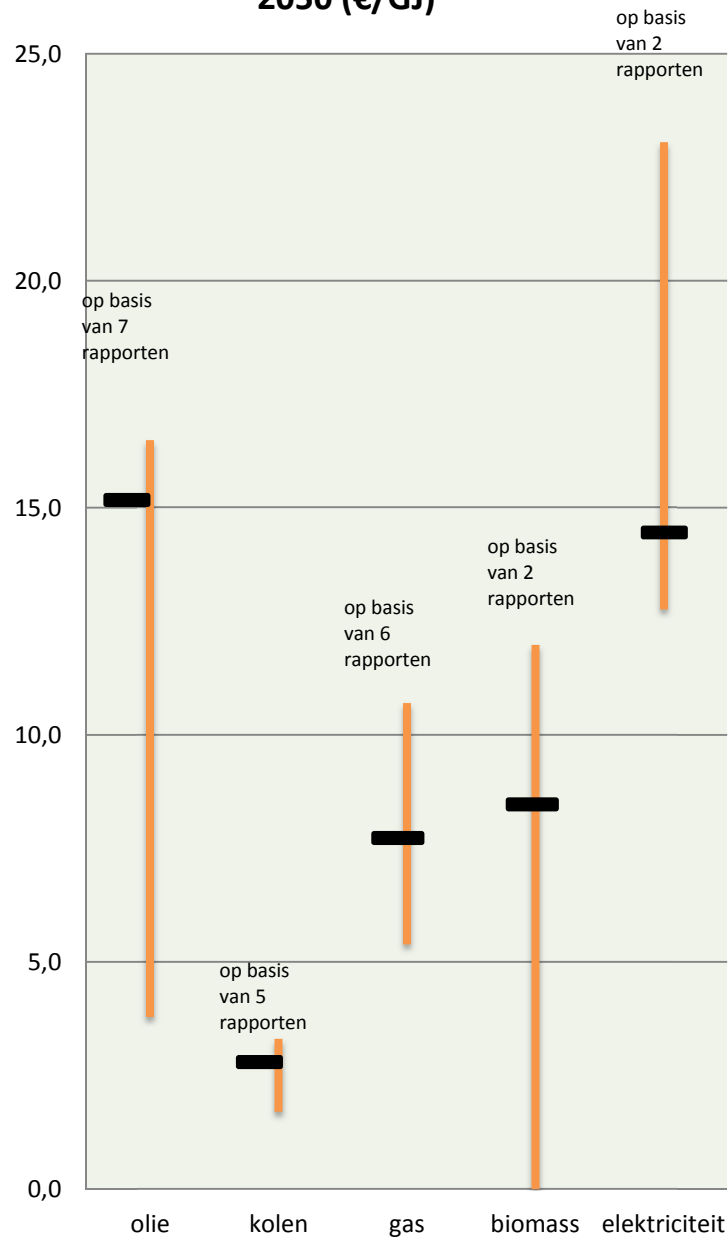
Economische groei

In de scenario's worden zeer uiteenlopende ontwikkelingen voor Nederland geschetst. In een groot aantal scenario's wordt aangenomen dat de internationale samenwerking op klimaatgebied zich flink zal uitbreiden terwijl in andere een zwak mondiaal klimaatbeleid wordt verondersteld. In de eerste groep stijgt de energievraag in de komende 20 tot 40 jaar, terwijl die daalt in de meeste van de tweede groep. Ook in de verwachte bevolkingsgroei zitten enorme verschillen: het aantal inwoners in de verschillende scenario's varieert van 15.8 miljoen tot 19.7 miljoen. De jaarlijkse economische groei in de komende decennia loopt uiteen van 0.7 % in het ene scenario tot 2.6 % in een andere. Figuur 3.2 geeft een overzicht van deze variatie in BBP groei met het verwachte aantal inwoners erbij vermeld.



Figuur 3.2 Aannames ontwikkeling BBP (biljoen €) Getallen geven aantal inwoners aan (mln.)

Bandbreedte in aanname energieprijzen voor de periode 2030 - 2050 (€/GJ)



Figuur 3.3 Bandbreedte in aannames energieprijzen (€/GJ)

Energieprijzen en kostprijsontwikkeling technologieën

Zoals zichtbaar in Figuur 3.3 variëren ook de aannames voor de energieprijzen voor de komende decennia ten opzichte van de huidige energieprijzen (in zwart weergegeven). Veel rapporten rapporteren de energieprijzen überhaupt niet. Zo wordt in drie van de acht bestudeerde studies de kolenprijs niet vermeld en in zes studies staan geen aannames van biomassa en elektriciteitsprijzen. Hoewel deze een grote rol spelen in de haalbaarheid en economische effecten van een

transitietraject naar een duurzamere energievoorziening, is het vaak onduidelijk of en hoe deze prijzen zijn meegenomen als input voor de scenario's. Alleen in de Welvaart en Leefomgeving studie (CPB/MNP, 2006) en de SEO (2010) studie is een gevoeligheidsanalyse gedaan van alternatieve prijspaden.

Voor de verwachte energie-intensiteit wordt in drie van de acht studies expliciet aannames gemaakt.

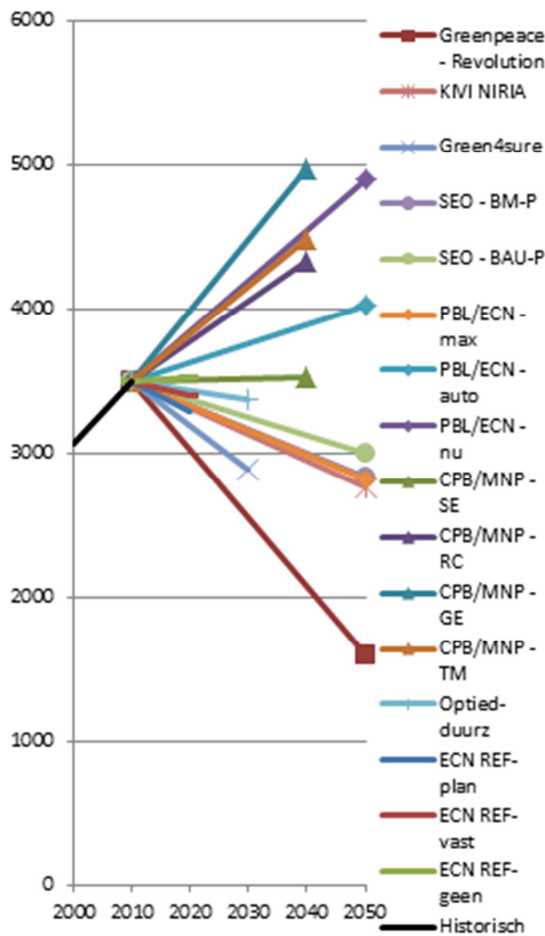
Op basis van de verwachte energievraag en economische groei in elk scenario is te berekenen dat de daling van de (primaire) energie-intensiteit in de transitie scenario's varieert van 5,9/€BBP in 2010 naar 4,7 MJ/€BBP in 2020 (REF-plan) tot 1,2 MJ/€BBP in 2050 (Revolution Scenario, exclusief non-energetisch verbruik).

Opvallend genoeg wordt slechts in de helft van de acht rapporten (ECN, 2010b; SEO, 2010; KIVI NIRIA/TU Delft, 2010; Vakbonden & NGO's, 2007) specifiek aandacht besteed aan de kostprijsontwikkeling van de duurzame technieken die de energietransitie op gang moeten brengen. De verwachte productiekosten van energie uit zon, wind en biomassa lopen bovendien sterk uiteen. Zo variëren de toekomstige productiekosten van elektriciteit met zon PV van 60 €/MWh in 2030 tot 119 €/MWh in 2050. Ook de te doorlopen leercurves, de ontwikkeling van technische prestaties, het verwachte moment van beschikbaarheid van technologie en de fasering van de technologische levenscyclus (van R&D naar commerciële toepassing) worden in de meeste rapporten niet beschreven.

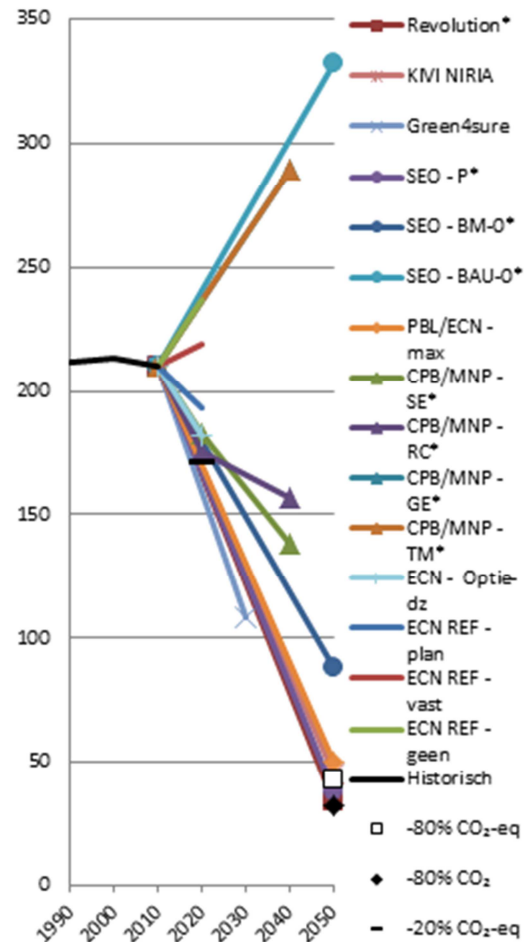
3.3 Contrasterende toekomstbeelden

Variatie in energiegebruik

De variatie in toepassing, aanpak en aannames zorgt ervoor dat de verschillende scenario's aanzienlijk uiteenlopen in hun voorspelling van het energiegebruik, energieaanbod en de verwachte uitstoot van broeikasgasemissies. Deze variatie maakt het identificeren van robuuste transitiepaden een lastige opgave. In Figuur 3.4 is te zien dat de verwachte energievraag uiteenloopt van 1600 PJ (exclusief non-energetisch verbruik) in 2050 in het *Revolution* scenario, dat een energietransitie als uitgangspunt heeft, tot rond 5000 PJ in 2040 in het *CPB/MNP-GE* scenario zonder transitie.



Figuur 3.4: Energiegebruik (PJ)

Figuur 3.5: Uitstoot Broeikasgassen (Mt CO₂-eq., en met *:alleen Mt CO₂) en broeikasgasreductie-doelstellingen

Vergelijkbare ontwikkelingen van de energievraag worden verondersteld in de *CPB/PBL-TM* en *PBL/ECN-nu* scenario's, waarbij de energievraag flink stijgt met zo'n 800 tot 1000 PJ tot aan 2040. Ook in de neerwaartse trend van de energiegebruik vormt zich een cluster met scenario's waarin een 80% reductie in CO₂ of CO₂-equivalenten is beoogd. In *SEO-BAU-P*, *SEO-BM-P*, *PBL/ECN-max* en *KIVI NIRIA* daalt de energievraag door energiebesparingen en efficiëntieverbetering met 500 tot 700 PJ tot aan het jaar 2050. De overige scenario's zitten er tussenin.

Uit Figuur 3.5 blijkt dat de toekomstige uitstoot van broeikasgassen of CO₂ emissies enorm kan variëren. De laagste uitstoot in 2050 bedraagt 38 Mt CO₂, de hoogste 332 Mt CO₂ in 2050. Veel van de scenario's gaan uit van het Europese voornemen om de totale uitstoot aan broeikasgassen in 2050 met 80% ten opzichte van 1990 te verminderen. Hoewel veel van de scenario's deze doelstelling benaderen, zit alleen het Green4sure scenario onder het pad om 80% reductie in 2050 te halen.

De grote variatie in energiegebruik en emissies hangt uiteraard af van de ontwikkeling van de energievraag en de mix van energiedragers in het energieaanbod. In de volgende paragraaf zullen we daarom nader ingaan op de

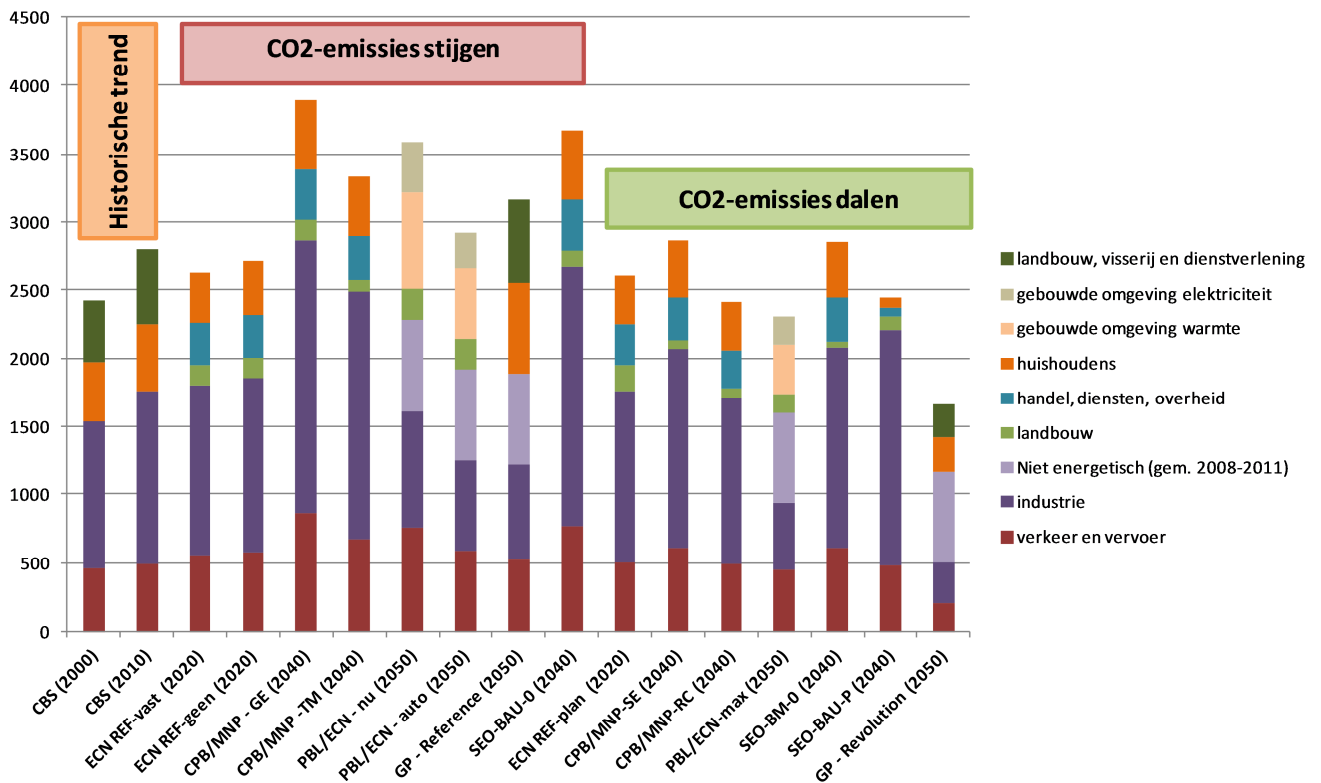
diverse veronderstellingen en onzekerheden rond de energievraag en het energie aanbod.

Energievraag

In Figuur 3.6 is een uitsplitsing van de energievraag naar economische sector te zien. Het eerste wat opvalt, is dat de scenario's waarin de CO₂ emissies dalen in 2040-2050 meestal een lagere energievraag hebben dan in 2010. In twee gevallen is deze in 2040-2050 nog steeds rond het niveau van 2010, maar dan is de daling van CO₂ emissies ook minder vergaand.

Uit de figuur valt op te maken dat de scenario's ervan uitgaan dat de grootste energievraag vanuit de **industrie** zal blijven komen. Als we aannemen dat de niet-energetische energievraag vanuit de industrie ongeveer gelijk blijft aan het huidige niveau, dan stijgt het energetische deel soms met meer dan 100%. Dit deel daalt het meest in het *PBL/ECN scenario* met maximale besparing en *Revolution scenario*, omdat in deze scenario's verwacht wordt dat veel besparingsmaatregelen in de industrie worden genomen. De ontwikkeling van **huishoudelijke** energievraag varieert in de scenario's tussen een stijging van bijna 40% tot een daling van meer dan 80%. In alle scenario's waarin de CO₂ emissies dalen, daalt ook de energievraag in de huishoudens. Extreme uitschieters zijn het *Revolution scenario* dat in 40 jaar de energievraag van huishoudens denkt te halveren en de studie van SEO Economisch onderzoek waar in 2030 minder dan een vijfde van de energievraag uit 2010 resteert. De totale energievraag van de **transportsector** loopt ook flink uiteen tussen de verschillende scenario's. In het CPB/MNP GE scenario is die energievraag in 2050 gestegen met 75%, terwijl in het *Revolution scenario* deze vraag meer dan halveert. Tenslotte daalt de totale energievraag van de sectoren **landbouw, handel, diensten en overheid** in bijna alle scenario's. Opnieuw is de daling in het *Revolution scenario* één van de grootste: bijna 60% ten opzichte van 2010, maar in het *SE-BAU-P*, wordt zelfs verwacht dat deze met 70% afneemt.

De achtergronden van deze verschillen in vraagontwikkeling voor de sectoren is onduidelijk. Het is een combinatie van verwachte groei van de sector en de ontwikkeling van de energie-intensiteit in die sector. Deze laatste hangt weer af van de energiebesparingsmaatregelen die zullen worden ingezet. In de studies worden echter wel mogelijke maatregelen genoemd, maar er wordt niet beschreven welke maatregel in welk scenario wordt ingezet en in hoeverre deze bijdraagt aan de vermindering van de energievraag.

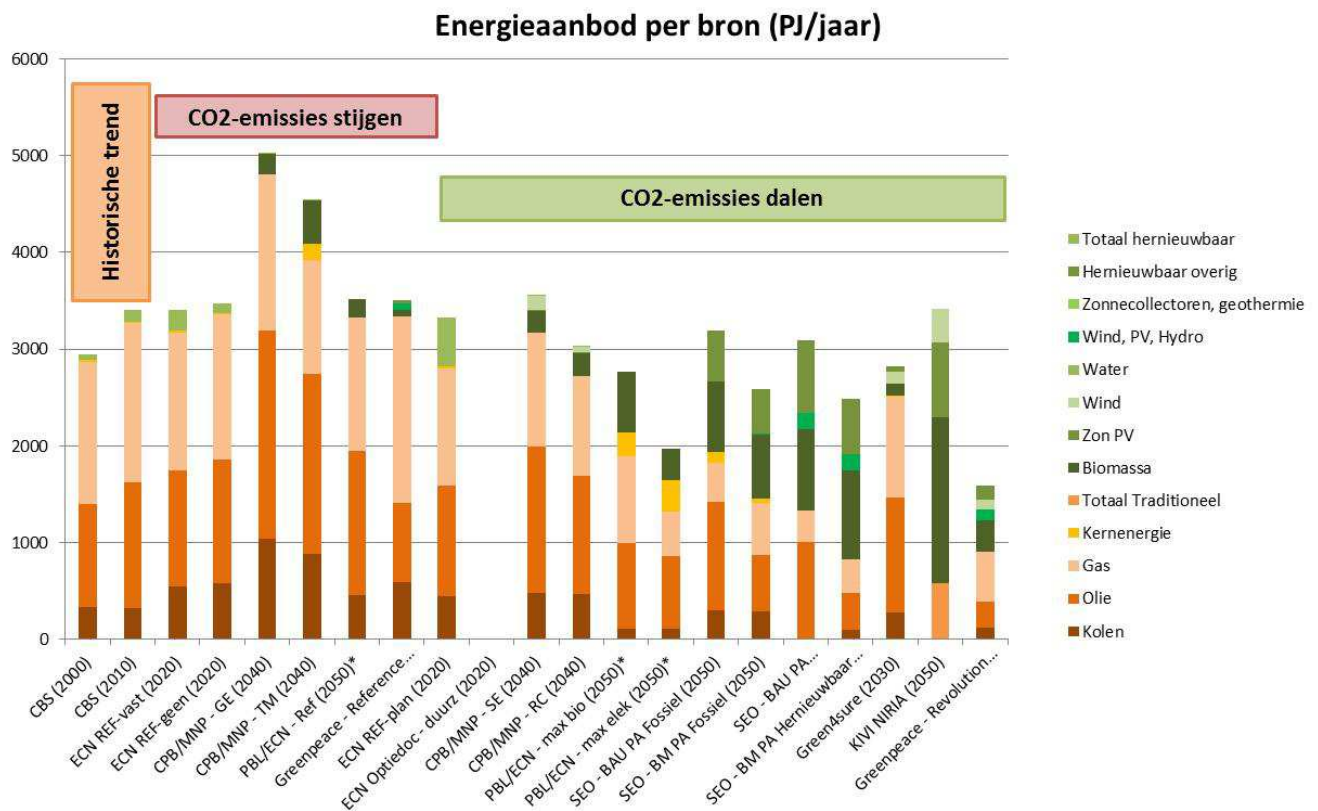


Figuur 3.6 Energievraag per sector (PJ) in Nederlandse toekomstscenario's. Indien een studie de niet-energetische energievrage in de industrie buiten beschouwing heeft gelaten, is ter referentie het gemiddelde van de niet-energetische energievrage in de jaren 2008-2011 toegevoegd.

Energieaanbod

Niet alleen loopt de uitwerking van de energievrage flink uiteen, ook de variatie in de aanbodmix van energiebronnen is enorm. Een uitsplitsing van het primaire energieaanbod naar energiebronnen staat in Figuur 3.7. Uit deze figuur blijkt een grote variatie in het aandeel traditionele energiebronnen (fossiel en kernenergie) ten opzichte van het aandeel hernieuwbare energiebronnen. Het aandeel hernieuwbare energie in de CO₂ emissie reductie scenario's is bijvoorbeeld 16 % in het *Green4sure* scenario dat hevig op CO₂-afvang en opslag leunt, terwijl het aandeel hernieuwbare energie in het *KIVI NIRIA* scenario tot 83% van het energieaanbod stijgt (waarvoor een gemiddelde groei van het duurzame energieaanbod van 8% per jaar nodig zou zijn).

Ook in de samenstelling van het traditionele aanbod is veel variatie te vinden. In bijna alle transitie scenario's neemt het verbruik van kolen en olie af en gas in al deze scenario's. De mate waarin het verbruik van gas afneemt varieert tussen de 30 en 80% vergeleken met dat in 2010. Opvallend is dat ook in de BAU scenario's maar bij twee het totale gasverbruik toeneemt (*CPB/MNP-SE* en *Greenpeace Reference*) en de overige BAU scenario's blijft het gasverbruik min of meer constant. Het verbruik van olie en kolen wordt in sommige transitie scenario's zelfs gemarginaliseerd, wat betreft olie tot 20% van 2010 verbruik en kolen totaal uitgefaseerd. Kernenergie wordt in veel scenario's uitgefaseerd, maar in twee *PBL/ECN* en twee *SEO PA* transitie scenario's groeit het aandeel kernenergie flink en neemt het een belangrijke rol in het transitietraject.



Figuur 3.7 Energieaanbod naar energiebron (PJ) in Nederlandse toekomstscenario's

3.4 Sleutelfactoren in de toekomstige energievoorziening

Energievraag

Voor het halen van klimaatdoelstellingen in Nederland is een trendbreuk nodig van een groeiend naar een dalend energiegebruik. Dit is een cruciale factor om de doelstellingen met betrekking tot het verminderen van CO₂ emissies en broeikasgassen te kunnen halen. Binnen scenario's met een dalende energievraag zijn er sterk uiteenlopende energiemixen mogelijk.

Energieaanbod

Er zijn belangrijke overeenkomsten te vinden in de ontwikkeling van het energieaanbod. In alle transitie-scenario's neemt het aandeel hernieuwbare energie toe en het fossiele deel af (zowel in absolute als relatieve zin). Ook wordt in deze scenario's, een zeer snelle groei van verschillende duurzame opties verondersteld. De 8% jaarlijkse groei in het duurzame energieaanbod in het scenario met het hoogste aandeel duurzaam, lijkt overigens niet onhaalbaar. Over de afgelopen 20 jaar steeg het aanbod aan hernieuwbare opties ook met 8% per jaar.

Werkgelegenheid

Vijf van de acht studies besteden expliciet aandacht aan de werkgelegenheid die een transitie naar een duurzame energievoorziening met zich mee brengt. Elk van hen voorspelt een stijging in de werkgelegenheid in de energiesector. Zo schetst het rapport 'Naar een schone economie in 2050' (PBL/ECN, 2011) dat er in het jaar

2008 zo'n 17.300 arbeidsjaren te vinden waren in de hernieuwbare energie en energiebesparing en dat bij de stijging van het aandeel hernieuwbare energie die werkgelegenheid zal toenemen. Het Energy Revolution scenario (Greenpeace, 2007) verwacht in de periode 2010 – 2050 15.000 tot 22.000 extra banen in de elektriciteitssector. Het rapport 'Investeren in een schone toekomst' (SEO, 2010) gaat uit van een groei in de werkgelegenheid van de gehele energiesector van circa 38.000 banen nu naar 73.000 banen in 2020.

Geen enkele studie geeft duidelijk aan hoe de groei van banen in de energiesector zich verhoudt tot de verwachte groei in totale werkgelegenheid. De uiteenlopende aannames over economische- en bevolkingsgroei maken bovengenoemde werkgelegenheidscijfers bovendien moeilijk vergelijkbaar.

Technologie inzet

In elk van de transitie scenario's verandert de portfolio van toegepaste energietechnologieën in de komende decennia. In tabel 3.2 is te zien aan welke hernieuwbare technologieën en aanvullende opties (zoals CCS, besparing of kernenergie) in elk scenario de voorkeur wordt gegeven. Vrijwel alle scenario's zien in een combinatie van windenergie (zowel on-shore als offshore), zon PV en biomassa de sleutel voor de overgang naar een duurzamere energievoorziening. Een grote minderheid van de scenario's schetst een beeld waarin ook opties zoals zonnewarmte, kleinschalige waterkracht, elektriciteit uit afval, WKO's, houtkachels en elektrische warmtepompen een duidelijke plaats hebben.

Wat betreft kernenergie is er een duidelijke scheidslijn: vijf scenario's zetten sterk in op kernenergie terwijl vijf andere scenario's kernenergie in de komende decennia uitfaseren. Twee studies maken een duidelijke keuze om in hun toekomstscenario de elektriciteitsproductie met kerncentrales niet uit te breiden. Ook CO₂-afvang en opslag is een omstreden optie: vier scenario's noemen expliciet dat ze op deze duurzame optie niet inzetten. Ten slotte is er nog een breed spectrum aan duurzame opties die slechts in een kleine minderheid van de scenario's voorkomt: zoals blue energy, PSPP, groen gas, geothermie, elektrische – en waterstofauto's, WKK's en reststroomwarmte vanuit de industrie. De meeste studies beperken de keuze van opties al bij voorbaat (zie grijze vakjes in tabel 3.2).

Behalve dat de studies weinig inzicht geven in de veronderstelde ontwikkeling van technologieën (zie par. 3.2), nemen de studies maar beperkt de wisselwerking tussen de implementatietrajecten van verschillende technologieën mee. Zowel opties die elkaar versterken als mogelijke lock-ins worden maar zelden besproken of gekwantificeerd wat betreft effecten op potentieel, kosten en baten. Investerings in biobrandstoffen kunnen waardeloos blijven bij een doorbraak van de elektrische auto. Idem dito voor warmtenetten in relatie tot isolatie, en CCS en vergaande energiebesparing en procesverbetering in de industrie.

Energiebesparing

De meeste studies geven getallen voor de ontwikkeling van de nationale energievraag en de verbetering van de energie-intensiteit van de totale economie. Ook wordt de ontwikkeling van de energievraag uitgesplitst naar de hoofdsectoren, maar er worden geen getallen gegeven over de verbetering van energie-intensiteit per sector. In elk scenario, wordt er vanuit gegaan dat energiebesparing een rol speelt, en dat varieert van een bescheiden tot een zeer grote rol. Energiebesparing

kan bereikt worden met verschillende typen maatregelen, waaronder energiebesparingstechnologieën, procesefficiency, materiaalefficiency en gedragsverandering. In de studies worden vooral mogelijke energiebesparingstechnologieën genoemd; de andere typen maatregelen komen nauwelijks aan bod. Geen van de studies geeft kwantitatief inzicht in de potentiëlen van de verschillende (typen) energiebesparingsmaatregelen (nationaal noch per sector), en in hoeverre verwacht wordt dat deze potentiëlen benut zullen worden.

Tabel 3.2 Rol technologische opties in bestudeerde scenario's

		Greenpeace - Rav	KIVI/NIRIA	Greendsure	SEO - BAU	SEO - BM	PBL/ECNV - max	CPB/MNP - SE	CPB/MNP - RC	CPB/MNP - GE	CPB/MNP - TM	ECN Oplidoc - dz	ECN REF-plan	Ecoy's	Berger	Brattle
Wind	Wind op land															
	Wind op zee															
Zon	Zon-PV															
	Zonnewarmte															
Water	Getijde- en golfslagenergie															
	Blue energy															
	Kleinschalige waterkracht															
	Pumped storage power plant															
Kern	Kernenergie															
	Kernfusie															
Gas	STEG gas centrales															
CCS	CCS industriële emissies															
	Kolenvergassercentrales en CCS															
	Gascentrales met CCS															
	Kolencentrales met biomassa en CCS															
Biomassa	Biomassa centrales															
	Warmte uit biomassa															
	Biobrandstoffen															
	Houtkachels															
	Groen gas uit biomassavergassing															
	Bio-olie WKK industrie/glastuinbouw															
	Biomassaketel industrie/landbouw															
Afval	Elektriciteit uit A/RWZI															
	Elektriciteit uit GFT vergisting															
	Afvalverbrandingsinstallaties															
	Biogas uit vergisting mest															
	Groen gas uit stortgas															
Geothermie	Warmte uit geothermie															
	Diepe geothermie landbouw															
	Warmte- en koudeopslag (WKO)															
	Elektriciteit uit geothermie															
Besparing	Warmtepompen															
	Micro-WKK op waterstof															
	Micro-WKK op gas															
	Elektrische auto's															
	Waterstofauto's															
	Reststroomwarmte industrie															
	WKK															
	Dubbel- en HR glas															
	Energiezuinige kassen															
Energie neutraal bouwen																
Energiebesparende technologie in auto's																

Legenda

Op inzetten Beperkt op inzetten Niet op inzetten Ulfaseren Niet genoemd

Randvoorwaarden en impacts

Hoewel, in de scenariostudies een uitgebreid beeld is geschetst van het toekomstige energiegebruik met het aandeel hernieuwbare energie, zijn basale randvoorwaarden voor de realisering van een dergelijk scenario onvoldoende uitgewerkt. Ook de impacts die de beschreven energietransitie heeft op economie, mens en milieu zijn onderbelicht gebleven. Dit laat de Tabel 3.3 zien waarin drie type randvoorwaarden en 3 type impacts zijn gescoord op vier aspecten, waarbij een punt verdiend kan worden als ze in het bestudeerde rapport expliciet zijn uitgewerkt. Deze randvoorwaarden en impacts komen uitgebreider aan bod in het hoofdstuk over energie-opties. Als randvoorwaarden in Tabel 3.3 zijn meegenomen het functioneren van de ketens binnen de energievoorziening, het inzicht in de technologische haalbaarheid van opties en de rol van verschillende stakeholders. Impacts zijn geanalyseerd op de Nederlandse economie, het welzijn van mensen, hun gezondheid, het klimaat en ecosystemen.

Uit deze tabel blijkt duidelijk dat een integraal beeld van een transitie naar een duurzame energievoorziening, waarin ook impacts (e.g. kosten/baten, ecosystemen), randvoorwaarden, sectorale effecten, en temporisering zijn meegenomen, vooralsnog ontbreekt. Bijvoorbeeld is er in de studies weinig aandacht voor de gevolgen van een energietransitie naar minder fossiele brandstoffen, zowel voor economische groei als voor individuele (sub)sectoren.

Tabel 3.3 Uitgewerkte deelaspecten: randvoorwaarden en impacts van toekomstbeelden

Uitwerking deelaspect	Green-peace	CPB/MNP, 2010	Vakbonden & NGO's, 2007	ECN, 2010	ECN, 2010	SEO, 2010	KIVI NIRIA/TU DELFT, 2006	PBL/E CN, 2010
VOORWAARDEN								
Keten								
Technologie								
Stakeholders								
IMPACTS								
People								
Planet								
Profit								

Hoe groener hoe meer onderwerpen aan bod zijn gekomen in de studies (zonder kwalitatief oordeel)

3.5 Conclusies

De analyse van scenario's laat zien dat er sterk contrasterende verwachtingen bestaan over de toekomstige ontwikkeling van het Nederlandse energiesysteem. Die grote contrasten worden met name veroorzaakt door een grote variatie in aannames (bijvoorbeeld ten aanzien van prijsontwikkeling, technologie ontwikkeling, economische groei). Mogelijk is er ook een grote variatie in andere

aannames, maar de transparantie en kwaliteit van de onderbouwing van de resultaten is in veel studies gebrekkig en veel van de aannames zijn niet gepubliceerd. Waar wel expliciet is ingegaan op de aannames, wordt niet of onvoldoende systematisch geëvalueerd hoe ranges in aannames de uitkomsten beïnvloeden. Dat maakt de identificatie van robuuste transitiepaden vooralsnog een lastige opgave.

De studies besteden in wisselende mate aandacht aan leercurves van duurzame technologieën. De interactie tussen de variabele technologieontwikkeling en de tijdsafhankelijkheid van investeringen in energie-infrastructuur is onderbelicht, waardoor risico's voor lock-in niet goed in beeld zijn. Verder is er geen aandacht voor de gevolgen van een veranderende fossiele inzet: wat de gevolgen zijn van het opraken van ons aardgas; welke sectoren winnaars of juist verliezers zijn; welke impact deze energietransitie zal hebben op de groei van onze economie. In elke studies wordt slechts een beperkt deel van mogelijke duurzame opties onderzocht: met name materiaal- en energiebesparing is vaak niet meegenomen.

De scenariostudies gaan meestal in op een deel van de aspecten rond het energiesysteem, zoals benodigd overheidsbeleid, technologische opties, benodigde infrastructuur, milieu-impacts, kosten en baten voor verschillende sectoren en gevolgen voor de werkgelegenheid. Een systematische aanpak ontbreekt waarin deze verschillende aspecten bij elkaar gebracht. Er nog duidelijke kennislacunes aan te wijzen, zowel in kennis over de benodigde randvoorwaarden voor een transitie als de verwachte impacts van verschillende transitiepaden. Daarmee geven de onderzochte studies onvoldoende inzicht voor prioriteiten in (innovatie)beleid.

Ook is er maar beperkt aandacht voor doorbraak mogelijkheden van specifieke technologieën. Bijvoorbeeld wordt zon PV in de meeste studies meegenomen als optie, maar levert het een relatief kleine bijdrage ten opzichte van opties als wind op zee of biomassa. Snelle leercurves kunnen echter tot een trendbreuk leiden, waardoor de implementatie van zon PV wel eens harder kan gaan dan aangenomen in de rapporten. Dit type trendbreuken zou geanalyseerd kunnen worden wat betreft kosten/baten, andere effecten (People, Planet, Profit), en benodigde randvoorwaarden.

4 Duurzaamheid van energie-opties

Zoals we in het voorgaande hoofdstuk signaleerden, zijn in de verschillende scenariostudies van ons toekomstige energiesysteem de impacts van en de basale randvoorwaarden voor realisatie van toekomstbeelden veelal onderbelicht. Toch zijn deze impacts en randvoorwaarden belangrijk voor een afgewogen beeld van de realiseerbaarheid en duurzaamheid van de toekomstbeelden en de daarin opgenomen energie-opties.

In dit hoofdstuk wordt een aanzet gegeven voor een integrale analyse van energie-opties. Doel van deze analyse is om voor energie-opties de sterktes en zwaktes op het gebied van duurzaamheid in beeld te krijgen, evenals de randvoorwaarden en barrières die van invloed zijn op implementatie van opties. Een dergelijke analyse van energie-opties zou uiteindelijk moeten leiden tot een brede database van factsheets, met informatie over economische, sociale en milieukundige karakteristieken van opties en identificatie van kennislacunes.

Binnen het kader van deze studie is een volledige ontwikkeling van deze aanpak niet mogelijk. De aanpak is tentatief toegepast op een tiental energie-opties om de methode te testen op uitvoerbaarheid en op bruikbaarheid van het resultaat.

4.1 Methodiek

Er is voor veel energie-opties een aanzienlijke hoeveelheid informatie beschikbaar over een breed palet aan duurzaamheidsaspecten, waaronder CO₂. In het merendeel van de publicaties dekt deze informatie echter niet het hele palet aan relevante duurzaamheidsaspecten. Om een integraal beeld te krijgen moeten we dus informatie uit meerdere bronnen combineren, maar daarbij blijkt dat definities vaak niet uniform zijn en dat de toepassing en scope dermate specifiek zijn dat de stap naar een consistente generieke dataset niet direct gemaakt kan worden.

In de aanzet tot een integrale analyse in dit hoofdstuk is gestreefd naar een kwalitatief totaalbeeld van de duurzaamheid van opties. Uiteindelijk is het streven om dit op een kwantitatieve manier te doen. Dit is verbeeld in Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Schematisch overzicht over beschikbaarheid en toepassing van data over de duurzaamheid van energieopties.

Duurzaamheid van energieopties		Type beschikbare data	
		Kwalitatief	Kwantitatief
Toepassing	Specifiek	Huidige literatuur	
	Generiek	Deze analyse	Latere analyse

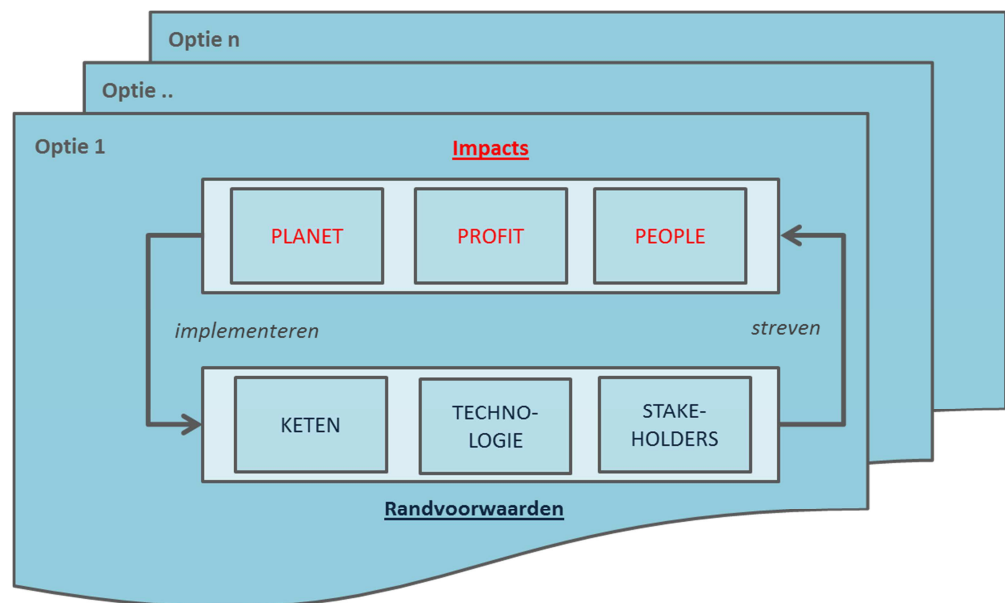
Duurzaamheidsprofiel

Op basis van algemene literatuur zijn de dominante vraagstukken rondom het thema duurzaamheid van energie in kaart gebracht. Impacts op het gebied van duurzaamheid worden vaak gekenschetst volgens profit (economisch), people

(sociaal) en planet (milieukundig), zoals geïntroduceerd door Elkington in 'The Triple Bottom Line' in 1997. Het gaat hier om (potentiële) duurzaamheidsimpacts waarvoor doelstellingen nagestreefd worden omdat ze intrinsieke waarde voor een duurzame samenleving vertegenwoordigen.

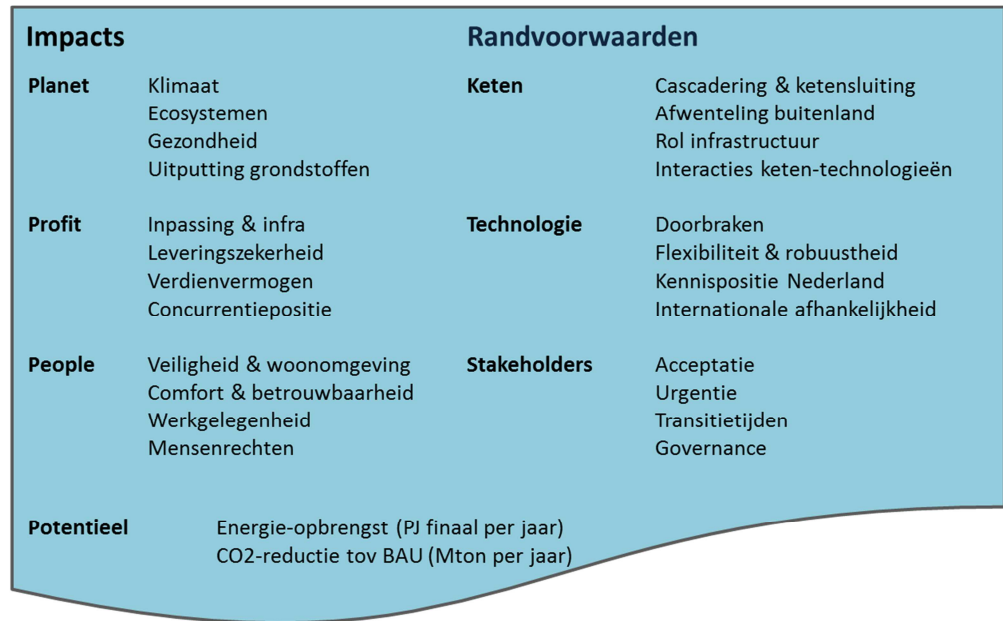
Naast deze duurzaamheidsimpacts zijn voor een optie de mogelijkheden voor effectieve implementatie ook relevant: is het in de praktijk mogelijk de duurzaamheidsdoelen met deze optie te bereiken? Hiertoe hebben we drie terreinen geïdentificeerd die belangrijk zijn voor de implementatie van de optie, te weten interacties en effecten in de keten, te verwachten technologische ontwikkelingen en de rol van stakeholders. Deze geven vooral de randvoorwaarden voor implementatie aan die het succes van een optie in de praktijk bepalen.

Het resultaat is een breed duurzaamheidsprofiel met gestructureerde informatie over de impacts en randvoorwaarden van een bepaalde optie. De elementen van dit duurzaamheidsprofiel zijn weergegeven in Figuur 4.1.



Figuur 4.1 Een factsheet voor energie-opties levert informatie op het gebied van duurzaamheid met betrekking tot duurzaamheidsimpacts en randvoorwaarden voor implementatie.

Voor elk van elementen van het duurzaamheidsprofiel is informatie verzameld over vier verschillende aspecten, beperkt genoeg om overzicht te krijgen maar tevens voldoende om recht te doen aan de verschillende aspecten van een terrein. Figuur 4.2 geeft een overzicht van alle aspecten die in beeld worden gebracht voor een optie.



Figuur 4.2 Elk thema wordt gekarakteriseerd aan de hand van vier aspecten terwijl het potentieel wordt uitgedrukt in jaarlijkse finale energieopbrengst en CO₂-reductie.

Impact: Profit, People, Planet

De gevolgen voor de economie (Profit) worden door ons gekenschetst door een indicatie van de kosten en baten op micro-, meso- en macroniveau (respectievelijk verdienvermogen, inpassing & infra, leveringszekerheid en de Nederlandse concurrentiepositie).

Sociale aspecten (People) betreffen veiligheid, mensenrechten en werkgelegenheid, wat de terugkerende thema's zijn in beoordelingsmethodieken zoals ISO 26000 en social life cycle assessment.

De geïdentificeerde milieuaspecten (Planet) zijn geïnspireerd op de 'areas of protection' volgens de impact assessment methode ReCiPe (Goedkoop et al., 2009), met daarbij klimaat uitgelicht als aparte categorie gezien het belang wat hieraan wordt toegekend door beleidsmakers en de wetenschap.

Randvoorwaarden: Keten, Technologie, Stakeholders

Bij de inventarisatie van ketenaspecten (Keten) van een optie wordt vooral gekeken naar synergetische en belemmerende effecten in de rest van de keten, in infrastructuur, in het buitenland en in interactie met andere technologie.

Voor de technologische ontwikkeling (Technologie) wordt bepaald in hoeverre de optie voldoende uitontwikkeld en flexibel en robuust in toepassing is, of Nederland een goede kennispositie heeft en onafhankelijk is van het buitenland.

Voor het karakteriseren van belangengroepen (Stakeholders) wordt net als in gezaghebbende studies als IEA ETA CCS (2008) bekeken of de optie tot acceptatie, urgentie en acceptabele transitietijden leidt en ontwikkelingen stuurbaar zijn vanuit het beleid.

Tenslotte is het van belang om naast de (relatieve) kwaliteit van aspecten ook de omvang van de impacts te bepalen zodat de totale impact voor een duurzame energievoorziening in beeld komt (Potentieel). Deze kwantitatieve bepaling van het potentieel wordt gemaakt aan de hand van een neutrale maatstaf: het

energiepotentieel in PJ finale energievraag per jaar dat wordt bestreken door een optie.

Factsheets

De data worden verzameld in het hiervoor beschreven format. Het betreft vooralsnog semi-kwantitatieve informatie en geen kwantitatieve data volgens vaste definities omdat daartoe onvoldoende gegevens beschikbaar zijn. Aangezien de bij de energie-optie behorende keten vaak niet beperkt is tot Nederland, wordt waar nodig op internationale of mondiale schaal gekeken. Bij vraagstukken rondom de specifieke toepassing van de optie in Nederland, wordt op nationale schaal gekeken.

In eerste instantie wordt voor deze studie alleen gekeken naar algemeen beschikbare informatie van een aantal energie-opties voor toepassing voor een energiedienst of in een sector om de aanpak te testen en te laten zien wat van verschillende energie-opties de sterktes en zwaktes zijn op het gebied van duurzaamheid.

De belangrijkste bronnen zijn domein specifieke literatuur waarin de toepassingsmogelijkheden van een specifieke technologie van vele kanten wordt belicht, maar ook meer generieke rapporten (vaak technology roadmap achtige studies) van gezaghebbende instituten als o.a. PBL, ECN (o.a. Actualisatie Optiedocument 2010), CPB, EC en IEA. Hierbij gaat het vaak om het potentieel (in energie of CO₂-reductie), economie en aan de toepassing gerelateerde aspecten. Daarnaast is gebruik gemaakt van rapporten van adviesbureaus, sectorspecifieke rapporten en expert interviews. Ook Life Cycle Inventories zoals EcoInvent zijn geraadpleegd door de experts op dat terrein om een breed beeld van de milieu-impacts over de gehele keten te verkrijgen. Hierbij hebben we getracht de veelsoortige informatie naar ons beste vermogen te inventariseren en samen te vatten om een correct beeld van de opties neer te zetten. De rapportage over de duurzaamheidsanalyse van energieopties met daarin de gehanteerde definities en alle opgestelde factsheets is uitgebracht in een separaat achtergrondrapport.

De factsheets kunnen gebruikt worden voor een semi-kwantitatieve duurzaamheidsanalyse van de optiepakketten waarbij sterktes en zwaktes over de gehele levenscyclus in beeld gebracht worden. Tevens wordt vastgesteld waar de datakwaliteit onvoldoende is, kennis ontbreekt en waar witte plekken in de optieportfolio bestaan. Ook worden indicaties gegeven van kansen en belemmeringen voor realisatie van het potentieel.

Karakterisering

Naast een beschrijving van de verschillende duurzaamheidsaspecten is in de factsheets ook een karakterisering van elke optie opgenomen. Hiertoe is een eenvoudige kwalitatieve beoordeling gekozen, waarbij niet alleen onderscheid gemaakt wordt tussen negatieve en positieve beoordeling maar ook ontbrekende informatie gesignaleerd wordt. De beoordeling wordt gedaan ten opzichte van de huidige situatie in een sector (elektriciteitsopwekking, transport, eindgebruik gebouwde omgeving), die in het algemeen gekenschetst kan worden als vrij stabiel

en op fossiele brandstof georiënteerd². Hierbij houdt het oordeel 'positief' een significante verbetering en 'negatief' een substantiële verslechtering van de duurzaamheid ten opzichte van de huidige (gemiddelde sector) referentiesituatie in. Anders wordt 'neutraal' gescoord. Een neutrale score op alle vier aspecten levert hiermee de referentiewaarde op, zijnde de duurzaamheidsscore van het huidige (sector) systeem.

De beoordeling van aspecten van opties wordt gedaan voor een volwaardige technologie zoals die op middellange termijn zich zou kunnen ontwikkelen (denk bijv. aan kostenontwikkeling van nog niet grootschalig geproduceerde technologie). Hier is voor gekozen om nieuwe technologieën niet te benadelen; in principe proberen we de potentie van een technologie in te schatten. Anderzijds worden zaken die op die termijn waarschijnlijk nog steeds onduidelijk zijn gekwalificeerd als open punten (denk bijv. aan gebruik van specifieke schaarse metalen die nog steeds een onderzoeksuitdaging vormen); we zijn namelijk geïnteresseerd in een realistische potentie, zoals we die nu naar beste vermogen kunnen inschatten, zodat de huidige mogelijkheden en opgaven voor een optie duidelijk worden.

Omdat de beoordeling een waardeoordeel is, is transparantie over het waarom van het oordeel hierbij net zo belangrijk als de score zelf. Een samenvattende tabel (zie factsheets) is als tussenstap gebruikt om uiteindelijk per optie tot een duurzaamheidsprofiel te komen, waarbij enerzijds is gekeken naar de positieve en negatieve duurzaamheidseffecten van een optie ('sterke en zwakke punten') ten opzichte van de referentie (het huidige energiesysteem) en anderzijds naar de mate van onduidelijkheid en onzekerheid waarmee de optie omgeven is ('open punten').

Met deze informatie kunnen in een eerste quick scan de zwaktes en sterktes van energietechnologie op het gebied van duurzaamheid en implementatie in kaart worden gebracht evenals de hiaten in technologieontwikkeling, realisatiemogelijkheden en databeschikbaarheid. Deze worden gepresenteerd in een radardiagram, waarbij de impacts Planet, Profit en People als doelen boven de horizon staan, terwijl de weg naar deze doelen wordt geïllustreerd door de randvoorwaarden op het gebied van keteninteracties, technologieontwikkeling en stakeholders. Hierbij dient bedacht te worden dat de onderliggende aspecten en het 'verhaal' daarbij belangrijker is dan de totale score van sterke, zwakke en open punten, vooral als men wil weten wat er te doen staat om een optie verder te brengen op weg naar een duurzame energievoorziening.

4.2 Voorbeelden: illustratieve factsheets

Om de methode te testen op uitvoerbaarheid en bruikbaarheid van het resultaat is de aanpak toegepast op zeer verschillende energie-opties uit het geactualiseerde optiedocument (ECN, 2010), tot op heden de leidende database voor energieopties die gebruikt wordt in tal van energie- en CO₂-scenariostudies voor de overheid. Deze opties zijn geselecteerd op basis van belang met betrekking tot een aantal sectoren c.q. diensten (elektriciteitsopwekking, transport en warmte in de gebouwde omgeving) en variatie in het type optie, variërend van vraagreductie of substitutie tot

² Concreet is de referentie voor personenvervoer een gemiddelde benzineauto, voor elektriciteitsopwekking het gemiddelde van een kolen- en gasgestookte elektriciteitscentrale en voor ruimteverwarming de gemiddelde gasvraag voor verwarming in een woning.

end-of-pipe. Hiermee wordt een indruk verkregen van de toepasbaarheid van de aanpak en het soort inzichten en resultaten dat op deze manier bereikt kan worden op het niveau van een optie maar ook op het niveau van een sector of energiedienst. Het gaat om de volgende opties, waarvan alleen de dikgedrukte in dit hoofdstuk worden beschreven:

Elektriciteitsopwekking

1. Gasgestookte Stoom- En Gasturbine (STEG)
2. CO₂-afvang en -opslag
3. Biomassa bijstook in elektriciteitscentrales
4. Windmolens op zee
- 5. Zon - Photo-Voltäische cellen**
6. Groente, Fruit en Tuinafval vergisting met Warmte-Kracht Koppeling

Ruimteverwarming

7. Warmtevraagreductie in bestaande woningen
8. Warmtepomp op aardgas in utiliteitsbouw
- 9. Geothermie**

Personenvervoer

10. Elektrische auto

11. Bioethanol 1e generatie
12. Bioethanol houtig
13. Bioethanol reststromen

Voor elke optie zijn voor alle geïdentificeerde terreinen en aspecten data verzameld en gepresenteerd in factsheets. Vervolgens zijn de opties gekarakteriseerd en beoordeeld ten opzichte van het huidige energiesysteem. Voor de gedetailleerde uitwerking in factsheets, wordt verwezen naar het achtergrondrapport.

In de volgende paragrafen worden de bevindingen voor drie illustratieve opties samengevat in de vorm van een radardiagram met een korte toelichting. De schaal van het radardiagram bedraagt 8 punten, 2 punten voor elk van de 4 aspecten van een terrein. Hierbij is de gescoord ten opzichte van het gemiddelde huidige energiesysteem. Deze referentie is weergegeven door een groene stippellijn zodat voor een optie duidelijk wordt of er sprake is van een verbetering of verslechtering van de duurzaamheid. Groen geeft een positieve score op duurzaamheid weer (per aspect 2 punten voor beter dan de referentie, 1 punt voor even goed als de referentie), rood een negatieve score (per aspect 2 punten voor slechter dan de referentie, 1 punt voor even slecht als de referentie), terwijl geel aanduidt dat het onduidelijk is of de duurzaamheid verbetert of verslechtert, dan wel dat de data ontbreken (2 punten per aspect).

Elektriciteitsopwekking

Bij analyse van de opties voor elektriciteitsopwekking valt op dat alle opties nog veel onzekerheden kennen. Zelfs bij een "conventionele" optie als gas STEG bestaat nog onzekerheid over verschillende aspecten binnen de categorieën Profit en Keten.

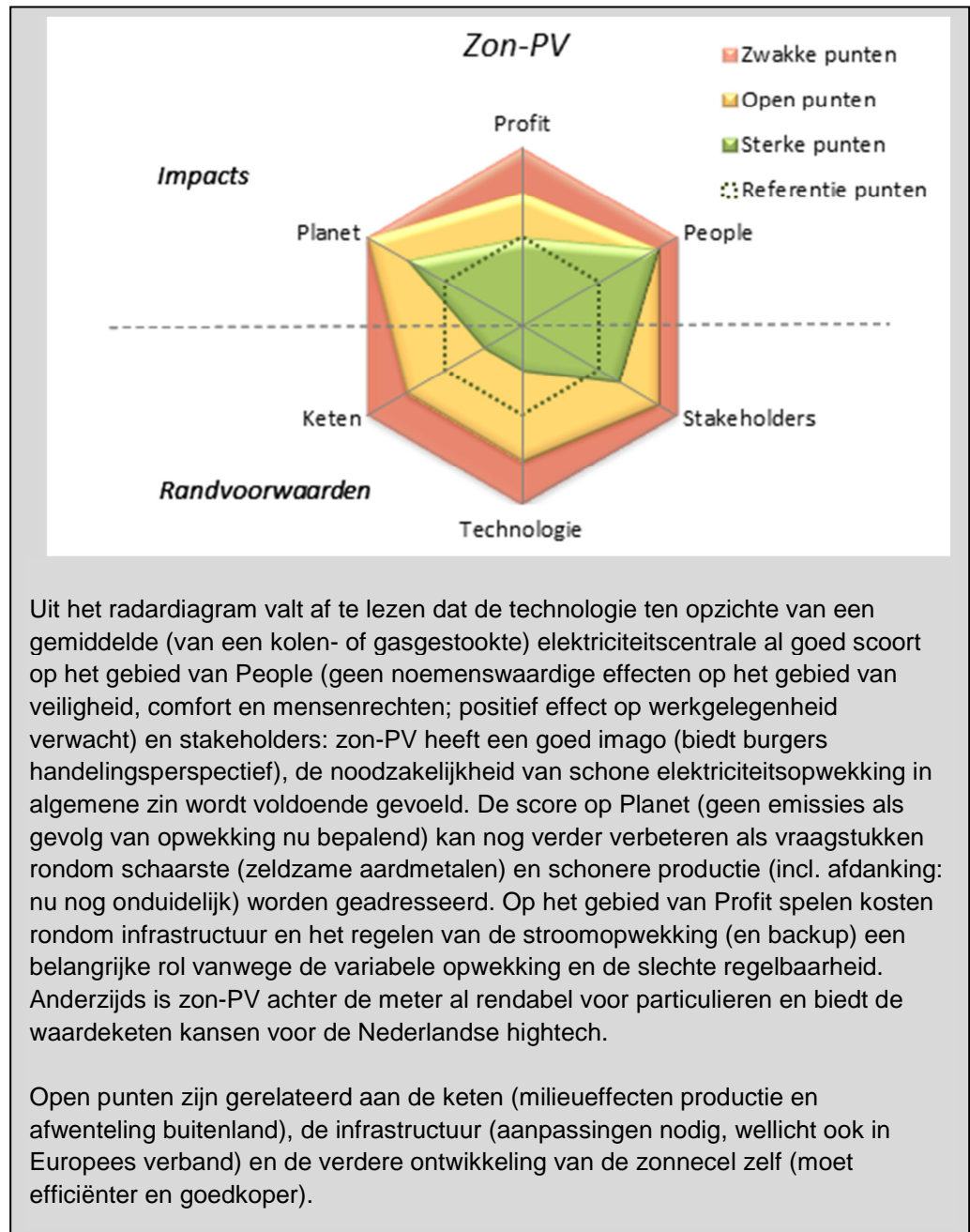
De scores op de verschillende categorieën lopen tussen de elektriciteitsopties zeer uiteen; zo scoort biomassa bijstook niet hoog op Planet (weinig sterke punten met

nog veel onzekerheden) en GFT vergisting met WKK juist wel (veel sterke punten). Het is voor opties als CO₂-afvang en –opslag en biomassa bijstook zelfs mogelijk dat de duurzaamheidsscore op bepaalde impacts verslechtert ten opzichte van de huidige situatie. Echter, wat voor alle elektriciteitsopties geldt, is dat ze gemiddeld gelijk, dan wel beter, scoren op de categorie People vergeleken met de referentie-optie.

De optie GFT vergisting met WKK schiet er in een onderlinge vergelijking positief uit. Deze optie scoort goed op Planet, People, Keten en Technologie. Wat echter een groot nadeel is van deze optie, vergeleken met veel van de andere opties, is dat GFT vergisting met WKK maar een klein potentieel heeft en dus waarschijnlijk geen zeer grote rol kan spelen in de verduurzaming van het Nederlandse elektriciteitslandschap.

De variatie in sterke en zwakke punten alsmede de vele open punten geven aan dat geen van de beschouwde opties duidelijk beter scoort dan de anderen. Eerder is sprake van een resultaat waarin elke optie sterke en zwakke punten heeft die onderling niet goed vergelijkbaar zijn. Dat op veel punten onzekerheid bestaat, betekent dat verdere verduurzaming mogelijk is maar ook dat aan opties “gewerkt” moet worden om deze te bereiken, zowel door de opties te ontwikkelen (en de duurzaamheid te verbeteren) als de randvoorwaarden te optimaliseren (en duurzaamheid te realiseren).

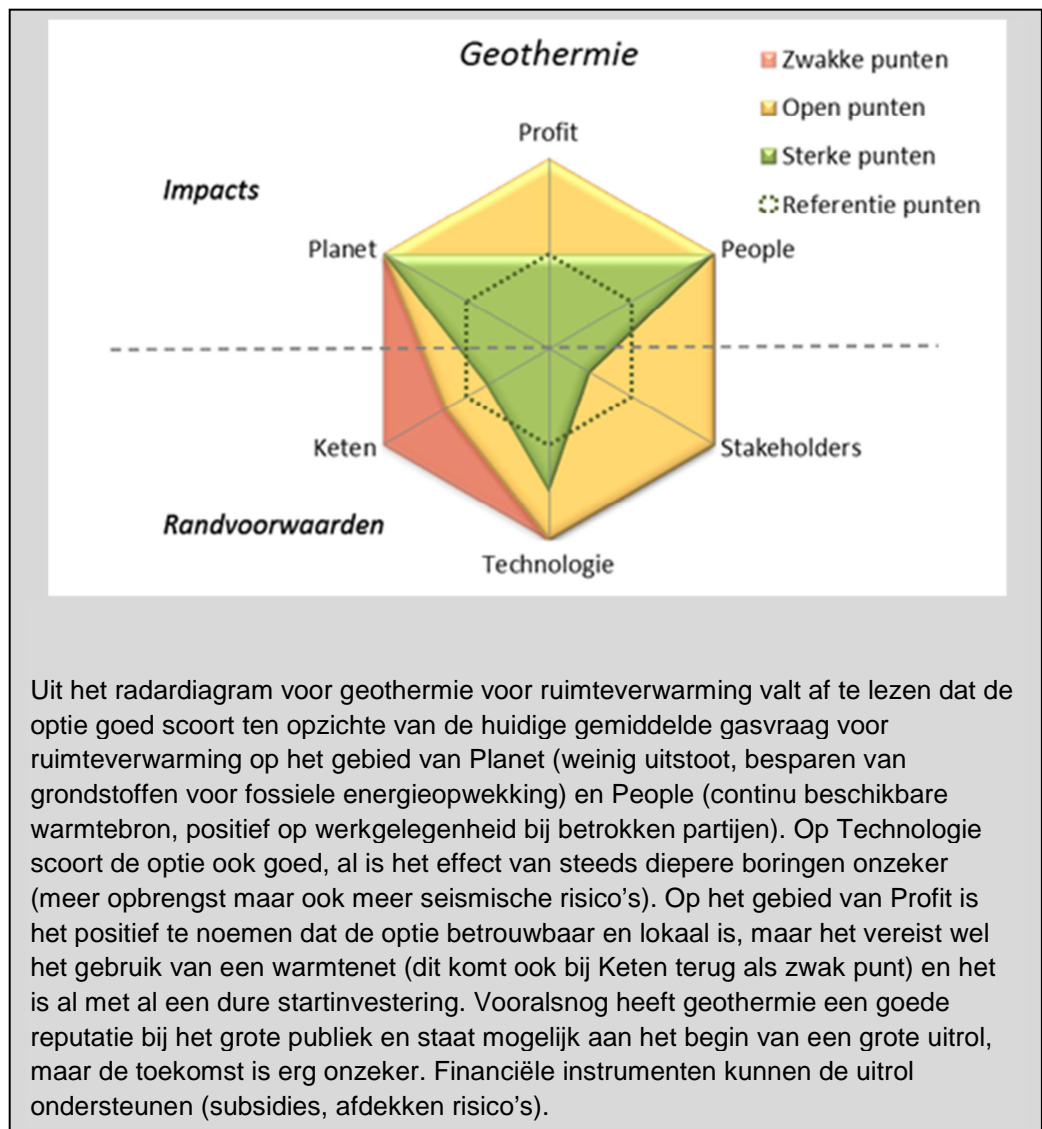
Ter illustratie op de volgende pagina een samenvatting van de factsheet voor Zon-Photo-Voltaïsch.



Ruimteverwarming

Bij vergelijking van de opties voor ruimteverwarming valt op dat alle drie opties in aanleg een (geringe) verduurzaming ten opzichte van de huidige situatie geven. Wel lijkt de potentiële duurzaamheidsimpact van warmtevraagreductie in woningen en toepassing van geothermie voor ruimteverwarming groot. De gasgestookte warmtepomp scoort aardig ten opzichte van de referentie maar het ontwikkelingspotentieel op de langere termijn lijkt beperkt (situatie-afhankelijk, transitietechnologie).

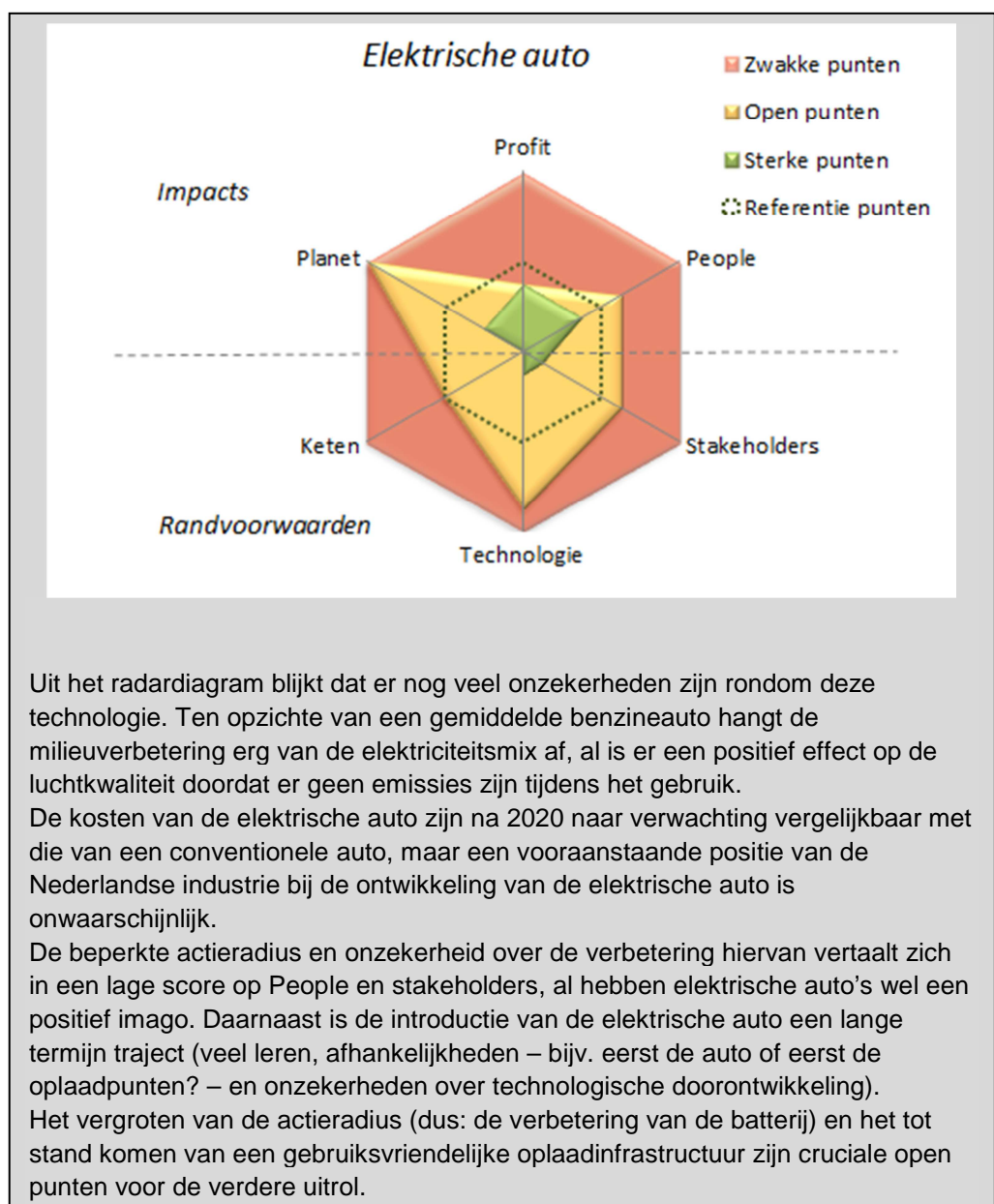
Ter illustratie hieronder een samenvatting van de factsheet voor Geothermie.



Transport

Bij de duurzaamheidsbeoordeling van opties voor transport valt op dat de voorketen een cruciale rol speelt. Bij de elektrische auto staat of valt de duurzaamheidsprestatie met de duurzaamheid van de elektriciteitsmix en verbeteringen aan de accu. Bij biobrandstoffen is de potentiële duurzaamheid van de 1e generatie bio-ethanol beperkt, door het mogelijk optreden van negatieve bijeffecten. Bio-ethanol van de 2e generatie (houtig en reststromen) scoren in potentie beter op duurzaamheid, maar het beschikbare potentieel is minder zeker. Kortom, met deze opties kan de duurzaamheid in transport op verschillende impacts verbeteren, maar ook een verslechtering ten opzichte van de huidige benzineauto's is mogelijk.

Ter illustratie hieronder een samenvatting van de factsheet voor Elektrische auto's



4.3 Conclusies

In dit hoofdstuk is een aanzet gegeven voor een integrale analyse van energie-opties. Doel van deze analyse is om voor energie-opties de sterktes en zwaktes op het gebied van duurzaamheid in beeld te krijgen, evenals de randvoorwaarden en barrières die van invloed zijn op implementatie van opties. De aanpak is toegepast op een aantal energie-opties die in de scenariostudies van hoofdstuk 3 aan bod komen..

Data inventarisatie

In een eerste stap is de beschikbare informatie geïnventariseerd over alle onderscheiden aspecten. Gebleken is dat er veel informatie beschikbaar is over de duurzaamheid van energie-opties. Maar door de systematische aanpak kwam ook aan het licht dat de beschikbaarheid en kwaliteit van de data sterk varieert per optie en aspect. Bijna nergens is sprake van een voldoende breed inzicht over alle relevante aspecten. Blijkbaar is de kennisbasis over de duurzaamheid van energie-opties onvolledig en versplinterd. En is de onderbouwing van innovatieprioriteiten navenant dun.

Raamwerk en profielen

Vervolgens is de beschikbare informatie gebundeld in het ontwikkelde conceptuele raamwerk. Elk van de impacts en randvoorwaarden is gekarakteriseerd aan de hand van vier relevante aspecten. Bij combinatie van informatie over deze aspecten uit verschillende bronnen is gebleken dat definities vaak niet uniform zijn en dat de toepassing en scope dermate specifiek zijn dat de stap naar een consistente generieke dataset niet direct gemaakt kan worden. De huidige analyse is daarom noodgedwongen kwalitatief gebleven, in een later stadium is het wellicht haalbaar om dit op een kwantitatieve manier te doen.

Vervolgens hebben we de veelsoortige informatie gebundeld in profielen om zo per terrein aan te geven wat voor duurzaamheid de verhouding is tussen sterke (groen), zwakke (rood) en open punten waarover nog substantiële onzekerheid bestaat (geel).

Resultaten

Hoewel op basis van deze tentatieve analyse geen stellige conclusies mogelijk zijn, valt wel op dat de beschouwde energie-opties nog op diverse aspecten doorontwikkeling behoeven om inderdaad positief bij te dragen aan de duurzaamheid van ons energiesysteem. Met de huidige stand van ontwikkeling is niet uit te sluiten dat grootschalige toepassing van bepaalde opties een verslechtering zou opleveren ten opzichte van de bestaande situatie.

Op het gebied van de duurzaamheidsimpacts (Planet, Profit en People) signaleren we grote verschillen tussen de energie-opties: ze scoren sterk of juist zwak op heel verschillende punten, wat hun onderlinge vergelijking bemoeilijkt. Bij nogal wat opties staat er tegenover een voordeel (bijv. CO₂-reductie) ook een ander nadeel (bijv. op het gebied van grondstoffen, ecosystemen of leveringszekerheid). Deze strijdige scores zijn met de duurzaamheidsprofielen inzichtelijk gemaakt, maar binnen het kader van deze studie is een gedegen afweging niet mogelijk. Voor wat betreft de randvoorwaarden (Stakeholders, Technologie en Keten) zijn er grote verschillen tussen de opties. Hieruit blijkt dat de uitdagingen rond

implementatie nogal verschillen, variërend van gebrek aan urgentie, stakeholders die niet op één lijn zitten of de infrastructuur is niet direct geschikt. Ook zien we bij alle opties veel zogenaamde 'open punten', zowel bij de impacts als bij de randvoorwaarden. Dit kan betekenen dat de datakwaliteit te wensen over laat (kennislacunes), maar ook dat de duurzaamheidsperformance afhankelijk is van specifieke omstandigheden. De vele open punten laten zien dat de beschouwde opties nog veel ontwikkeling en (bij-)sturing vergen, zowel door optimalisering van de opties zelf, als door het realiseren van de benodigde randvoorwaarden voor implementatie. De duurzaamheidsprofielen geven hiervoor waardevolle informatie. De profielen (en de achterliggende factsheets) beschrijven voor elke optie de specifieke sterktes en zwaktes op het gebied van duurzaamheid en adresseren waar verbeterpunten zitten met betrekking tot de duurzaamheid en implementatie.

Evaluatie

Voor zover wij weten is het voor het eerst dat op een systematische wijze data over de duurzaamheid van energie-opties is bijeengebracht, zodat een integraal en samenhangend beeld verkregen wordt. Bij de huidige analyse zijn wel een aantal kritische opmerkingen te plaatsen. Zo bleek het niet mogelijk om meer dan een kwalitatief beeld van de duurzaamheid van opties te schetsen, daar de informatiebronnen niet compleet en de gehanteerde definities niet uniform zijn. Een kritisch punt is ook dat het scoren van opties in vergelijking met de gehanteerde referentie-opties niet altijd eenduidig is en zeker voor discussie vatbaar. Bovendien worden de aspecten ongewogen gesommeerd en is de onderliggende informatie op aspect niveau zeer belangrijk, niet in de laatste plaats als men wil weten wat er gedaan zou moeten worden om de duurzaamheid van een optie verder te optimaliseren.

Niettemin biedt dit integrale beeld waardevolle informatie over de kennislacunes en sterke en zwakke punten van energie-opties. Daarmee is de aanpak waardevol wanneer we willen voorkomen dat opties selectief beoordeeld worden op enkele in het oog springende issues (positief of negatief). Bovendien geeft de aanpak inzicht in de terreinen waarop opties nog doorontwikkeld kunnen worden en de prestaties op het gebied van duurzaamheid verbeterd (verbeterpotentieel).

Nadere verfijning, kwantificering en standaardisering van de methode is noodzakelijk voor het completeren en onderbouwen van een duurzaamheidsdatabase met energieopties. Verbetering van de datakwaliteit is hierbij een aandachtspunt, waarbij definitie van data, leereffecten en onzekerheidsmarges helder moeten worden, zodat gevoeligheid en robuustheid van opties getoetst kunnen worden. De zo verzamelde duurzaamheidsinformatie dient gekoppeld en wellicht geïntegreerd te worden in de energiemodellen die de toekomstbeelden opleveren. Dit betekent dat een verdere verfijning van de hier geïnitieerde duurzaamheidsdatabase tot stand dient te komen in nauwe samenwerking met de betreffende energiemodellereurs.

5 Energie in de Nederlandse economie

De productie en consumptie van energie heeft een belangrijke economische component. De productie van energie is sterk bepaald door natuurlijke hulpbronnen. De aan- en afwezigheid daarvan bepaalt in hoge mate de positie van een land in de mondiale energiewereld als netto energieproducent of-consument. Ieder land heeft een eigen, unieke positie in de energiemarkt. Nederland heeft voor internationale begrippen een grote gasvoorraad, een minimale hoeveelheid olie van eigen bodem, een geringe bijdrage van kernenergie en gesloten kolenmijnen. Deze positie in de energiemarkt heeft grote invloed op de prijsvorming en het gebruik van energie in een landelijke economie.

Doorgaans wordt de energiehuishouding van een land uitgedrukt in een Sankey diagram, zoals in hoofdstuk 2, dat de fysieke stroom van energie van een land in fysische eenheden (PetaJoules) uitdrukt. Echter, productie en consumptie van energie hebben een toegevoegde waarde die monetair uitgedrukt kan worden. Energie is dan een onderdeel van het economisch productieproces van een land; net als elk ander goed wordt energie door de industrie voortgebracht en gedistribueerd als intermediair goed of input in het productieproces van andere bedrijfstakken. Behalve als input in het productieproces wordt energie aan consumenten geleverd als eindproduct, of aan het buitenland geleverd; energie is dan een exportproduct. Tenslotte wordt energie zelf ook verwerkt als industrieel goed; aardolie wordt omgezet in motorbrandstoffen en verkocht. Op de productie en consumptie van energie wordt bovendien belasting geheven door de overheid. Dat gebeurt in verschillende vormen: accijnzen zijn een bekend voorbeeld. Daarbuiten is er belasting op de winst van olieproducenten, de verkoop van aardgas uit eigen bodem en de belasting op arbeid bij energie intensieve bedrijfstakken.

Kortom, de stroom energie door een economie kan uitgedrukt worden in fysische eenheden, maar ook in geld. Dat is de uitdaging die we in dit hoofdstuk oppakken. Hierbij gaan we uit van de monetaire waarde die met de productie en consumptie van energie in de Nederlandse productiehuishouding is gemoeid en bepalen we de bijdrage van de belastingen op productie en consumptie van energie aan de Nederlandse staatskas. Dit doen we door een klassieke economische benadering op de energiemarkt toe te passen: die van het aanbod en gebruik van energie. De bron die we daarbij hanteren is de Nationale Rekeningen van het CBS. Hierin is van een groot aantal goederen en diensten vastgelegd hoe deze door de economie stromen: welke sectoren ze leveren en welke sectoren ze verbruiken. De invoer en uitvoer zijn hierbij ook bekend – alles in geldbedragen. De missing link in deze Nationale Rekeningen zijn echter de fysische hoeveelheden.

Nu zijn economische en fysieke stromen niet voor de volle honderd procent aan elkaar te koppelen. Dit heeft te maken met conceptueel verschillende uitgangspunten en verschillen in categorisering van stromen. Voor energie is bijvoorbeeld een belangrijk verschil dat verwerking van energie (bijvoorbeeld distributie of transformatie) in de economische benadering waarde toevoegt, terwijl er bij de fysieke benadering juist energie verloren gaat. Niettemin zijn ondanks zulke verschillen de stromen energie in de economie goed te volgen. We beginnen hieronder met de benadering vanuit het CBS (de Nationale Rekeningen, in het bijzonder de aanbod en gebruik tabel).

5.1 Aanbod van energie

De totale productiewaarde van energie die in Nederland wordt aangeboden (dat niet wil zeggen dat alles in Nederland wordt verbruikt) bedraagt 163,7 miljard euro (op een totaal aanbod van goederen en diensten van 1,5 triljard Euro). Daarvan werd bijna 92 miljard euro door Nederlandse bedrijven aangeboden (prijzen 2010). Deze bedragen bevatten schijnbare dubbeltellingen – de invoer van aardolie en de productie van aardolieproducten uit diezelfde ruwe aardolie door Nederlandse producenten staan er beide in. Fysiek is het dezelfde energie, maar economisch niet. De olie wordt aan elkaar geleverd, en dan wordt de omzet van beide geteld. Indien de onderlinge levering (kosten) in mindering wordt gebracht, blijft de toegevoegde waarde over. Echter, dat is een economisch begrip, en geen fysiek begrip (zoals ton steenkool of Joules).

Het genoemde bedrag van 163,7 miljard euro bestaat uit verschillende componenten, naast binnenlandse productie (bijna 92 miljard euro) en belastingen (12 miljard euro). Voorts voeren we energie in: in totaal voor ruim 56 miljard euro. De belangrijkste componenten zijn ruwe aardolie (ruim 27 miljard euro) en aardolieproducten (20,2 miljard euro). Tevens voeren we voor 6,3 miljard euro aan aardgas in. Overige bronnen in Nederland, die niet in tabel 5.1 staan vermeld, zoals kernenergie, afval en andere energiedragers zoals de tuinbouwkassen die via WKK stroom terug leveren aan het net, leveren voor een kleine anderhalf miljard euro. Deze zijn hoofdzakelijk onderdeel van het aanbod aan elektriciteit.

Tabel 5.1 Aanbod van energie in de Nederlandse economie (mln. euro, 2010)

	Totaal productie binnenland	Invoer	Belastingen	handels/vervoersmarges	Totaal
Aardolie	0	27.241	–	0	27.241
Aardgas	19.859	6.318	–	0	26.177
Steenkool	0	1.746	5	359	2.110
Aardolieproducten	38.068	20.276	7.754	3.082	69.180
Electriciteit	10.334	681	2.802	0	13.817
Gas	23.693	0	1.447	0	25.140
	91.954	56.262	12.008	3.441	163.665

Bron: CBS/bewerking TNO

Een blik op de Nederlandse energiehuishouding vanuit het aanbod van energie laat een belangrijke karakteristiek zien van Nederland: de winning van gas uit eigen bodem waarmee aanzienlijke bedragen zijn gemoeid, de invoer van ruwe aardolie en de eigen productie (raffinage) en de invoer van aardolieproducten. Deze bedragen zijn omvangrijk, waarmee Nederland een sleutelrol heeft in de internationale energiemarkt. Slechts een deel van deze grote stromen zijn voor de

eigen economie bedoeld. Naast een omvangrijke eigen productie van aardgas, loopt er een omvangrijke stroom door ons land: aardolie en aardgas die wordt verwerkt in de raffinaderijen en wordt doorverkocht aan het buitenland. De volgende paragraaf laat dat zien: dan wordt diezelfde 163,7 miljard euro omzet verdeeld naar bestemming.

5.2 Gebruik van energie

De export van energie uit Nederland is omvangrijk. Het exportbedrag is weinig lager dan het importbedrag: 50,5 miljard euro. Het grootste deel ervan zijn aardolieproducten (35 miljard). Dat zijn aardolieproducten die worden doorgevoerd en aardolieproducten die zijn gefabriceerd uit ruwe aardolie. Ook exporteren we voor een aanzienlijk bedrag aan aardgas van eigen bodem: ruim 13 miljard euro. De binnenlandse vraag naar energie door bedrijven en instellingen bedraagt in totaal bijna 93 miljard euro. Verder geven consumenten (huishoudens) bijna 20 miljard aan energie uit.

Tabel 5.2 Vraag naar energie in de Nederlandse economie (mln. euro, 2010)

	Binnenlandse vraag door bedrijven	Uitvoer	Consumptie	Overig	Totaal
Aardolie	26.699	136	-	406	27.241
Aardgas ¹	12.971	13.170	-	36	26.177
Steenkool	1.293	679	-	138	2.110
Aardolieproducten	24.691	35.614	8.771	104	69.180
Electriciteit	11.182	621	2.014		13.817
Gas ²	16.066	289	8.785		25.140
	92.902	50.509	19.570	684	163.665

1 Door energieproducenten (Gasunie, NAM)

2 door energie distributie (ENECO etc)

Bron: CBS/bewerking TNO

5.3 Toegevoegde waarde naar sector

De voorgaande bedragen geven een blik op de totale omzet waarde van energieleveranties. Daar er forse onderlinge binnenlandse leveringen zijn, kunnen de omzetbedragen oplopen, zonder dat de feitelijke fysieke hoeveelheid energie toeneemt. De omzet bedragen laten echter goed zien hoe het Nederlandse aanbod en gebruik van energie met het buitenland samenhangt. In het hiernavolgende gaan we in op de toegevoegde waarde die met de productie, levering en consumptie van energie is gemoeid.

Het gebruik van energie in de Nederlandse economie betreft hoofdzakelijk aardgas, aardolie en aardolieproducten. Steenkool staat op de derde plaats. Echter, energie wordt verhandeld, omgezet in andere vormen, gebruikt in bedrijven, huishoudens en naar het buitenland geëxporteerd. Een essentiële karakteristiek van de Nederlandse productiestructuur is dat er bedrijfstakken zijn die zijn ontwikkeld op basis van het overvloedige aanbod van energie. Dan gaat het om de Nederlandse gasvoorraad, de aanwezigheid van een grote multinational op energiegebied (Shell) in Nederland, een grote energiestroom via Nederland (overslag steenkool en aardolie in de havens van Rotterdam en Amsterdam) en een grote petrochemische industrie, met name in de Rotterdamse haven. Nederland is daardoor uitgegroeid tot een land dat in energie uit fossiele bronnen is gespecialiseerd. Nederland heeft nu een internationaal vooraanstaande positie in de raffinage en doorvoer van aardolie en –producten. Datzelfde geldt voor aardgas; Nederland heeft een spilpositie in het Europese aardgasnetwerk als resultaat van de gasvoorraad onder de Groningse bodem. Een overvloedig aanbod van energie biedt een gunstig vestigingsklimaat voor energie-intensieve bedrijfstakken. Nederland kent dan ook bedrijfstakken die mede tot bloei zijn gekomen door een ruim aanbod van energie tegen (als het gaat om gas) relatief gunstige tarieven. Voorbeelden zijn de tuinbouw onder glas, de chemie, de olieraffinage en de transportsector.

In de beschouwing van energie gebruik door Nederlandse bedrijfstakken onderscheiden we verschillende categorieën gebruikers:

- het buitenland,
- huishoudens,
- de energiesector (winning, verwerking en distributie van energie) en
- de energie intensieve bedrijfstakken en de rest van de bedrijfstakken.

In het hierna volgende gaan we dieper in op de energie-intensieve en de energieleverende bedrijfstakken. De energie-intensieve bedrijfstakken betreffen dat deel van de Nederlandse productiestructuur (bedrijvigheid) die gebruik maken van het vestigingsklimaat dat door het ruime aanbod van energie wordt gevormd. Eerst gaan we in op deze categorie van energie-intensieve bedrijfstakken (5.3.1), vervolgens op de energieleverende sector (5.3.2).

5.3.1 *De energie-intensieve bedrijfstakken*

Wanneer we in deze studie spreken van energie-intensieve bedrijfstakken dan bedoelen we bedrijven die in het productieproces meer dan 10 eurocent energie verbruiken per euro toegevoegde waarde. Tabel 5.3 geeft een overzicht van de betreffende bedrijfstakken in ons land. Aan de top staat vervoer door de lucht met een energiegebruik van meer dan 3 euro per euro toegevoegde economische waarde. De tabel bevat verder een divers aantal kleinere en grotere bedrijfstakken, waarvan er een aantal een grote toegevoegde economische waarde opleveren: meer dan 9 a 10 miljard euro per jaar. Dit betreft de chemie, goederenwegvervoer, landbouw, en voedings- en genotmiddelenindustrie. Deze bedrijfstakken vormen feitelijk de kern van de Nederlandse economie. Het zijn bedrijfstakken die internationaal concurrerend zijn en een aanzienlijk deel van het Nederlandse exportpakket voor rekening nemen.

Tabel 5.3 Energie intensiteit, toegevoegde waarde, bijdrage aan collectieve middelen en energiegebruik van energie intensieve sectoren, 2010, basisprijzen

	Energie/TW	Toegevoegde waarde	Saldo subsidies	Sociale premies	Loonbelasting	Winstbelasting	Totaal belasting	Energiegebruik
	<i>Euro energie per euro toegevoegde waarde</i>	<i>Miljoen euro</i>						
Vervoer door de lucht	3,28	468	77	536	566	-352	826	1.537
Visserij	1,43	126	1	13	16	13	43	180
Chemische industrie	1,03	11.354	47	763	880	1.606	3.296	11.650
Vervoer over water	0,57	1.198	-69	149	224	95	400	684
Basismetaalindustrie	0,54	1.796	-165	272	322	154	583	963
Delfstoffenwinning (geen olie en gas)	0,35	353	5	25	28	48	107	124
Landbouw	0,26	9.215	-272	676	746	1.336	2.486	2.418
Vervoer over land	0,25	10.760	178	1.418	2.090	638	4.325	2.675
Papierindustrie	0,22	1.528	40	197	282	97	616	330
Afval, -waterbeheer en sanering	0,20	3.602	155	419	476	334	1.384	711
Elektrische apparatenindustrie	0,19	1.039	-5	138	201	66	400	202
Bouwmaterialenindustrie	0,18	2.127	14	277	363	160	814	385
Verhuur van roerende goederen	0,17	4.815	399	227	313	659	1.598	833
Sport en recreatie	0,17	1.451	17	273	342	37	669	244
Logiesverstrekking	0,13	2.929	137	258	419	267	1.082	376
Voedingsmiddelenindustrie	0,12	10.591	205	1.268	1.378	1.036	3.887	1.257
Rubber- en kunststofproductindustrie	0,11	2.050	0	293	420	112	824	235
Totaal energie intensieve sectoren		65.402	764	7.202	9.067	6.306	23.339	24.804
Totaal Nederland		525.921	886	66.121	82.024	44.912	193.943	92.456

Bron: CBS/bewerking TNO

De totale toegevoegde waarde van alle energie-intensieve bedrijfstakken bedraagt in basisprijzen 65,4 miljard euro (op een totaal Nederland: 525,9 miljard).

De belastingopbrengsten, hoofdzakelijk bestaande uit winst-, loonbelasting en sociale premies, bedraagt ruim 23 miljard euro. De totale belasting op loon en winst in Nederland bedroeg in dat jaar naar schatting 194 miljard euro. Accijns op brandstof en BTW op consumptie zijn hier niet in meegerekend.

5.3.2 De energieleverende bedrijfstakken

Tabel 5.4 laat zien dat de energieleverende sectoren (winning, aardolie industrie en energiedistributie, niet de detailhandel) samen een toegevoegde waarde van 26,6 miljard euro per jaar. Het grootste deel daarvan komt voort uit de winning van aardgas. De omzet daarvan beliep in 2010 bijna 20 miljard euro; na aftrek van de kosten resteert een toegevoegde waarde van 15,8 miljard euro. Dat zijn de aardgasbaten die rechtstreeks de staatskas invloeden. Met een toegevoegde waarde van 0,4 miljard euro per jaar is de bijdrage van de aardolie industrie relatief gering, maar dat bedrag is van de conjunctuur afhankelijk. De levering van aardgas en de productie en levering van elektriciteit door energiebedrijven, tenslotte, had in 2010 een hoge toegevoegde waarde van 10,4 miljard euro.

Tabel 5.4 Toegevoegde waarde, bijdrage aan collectieve middelen en energiegebruik van energie leverende sectoren (Basisprijzen, 2010). *Veronderstelling: winstbelasting is 20% van bruto exploitatie overschot, loonbelasting is 35% van bruto loon.*

	Toegevoegde waarde	Saldo subsidies	Sociale premies	Loonbelasting	Winstbelasting	Totaal belasting	Energiegebruik
	<i>Mln euro</i>						
Winning aardolie en aardgas	15.882	16	119	144	3.067	3.346	3.011
Aardolie-industrie	374	120	110	146	-55	321	31.302
Energiebedrijven	10.393	-748	399	487	1.870	2.008	19.816
Totaal energiesector	26.649	-612	628	777	4.883	5.675	54.129
Totaal Nederland	525.921	886	66.121	82.024	44.912	193.943	92.456

Bron: CBS/bewerking TNO

Voor Nederland vormt een toegevoegde waarde van 26,6 miljard euro van de gehele energiesector ruim 5 procent van de Nederlandse economie. Dit bedrag is dus het geld dat verdiend wordt (omzet minus kosten voor belastingen etc.) met de winning, verwerking, raffinage, doorvoer en verkoop van energie door Nederlandse bedrijven. Tellen we daar de toegevoegde waarde van de energie-intensieve bedrijfstakken bij op, komen we op een bedrag van ca. 92 miljard euro toegevoegde waarde. Dat is 17,5 procent van alle toegevoegde waarde van Nederland.

We hebben niet onderzocht of dit ten opzichte van andere landen hoog of laag is. Gezien de belangrijke positie van de petrochemie in Nederland en de Nederlandse gasvoorraad, twee assets die ontbreken in andere landen, is de verwachting dat Nederland qua toegevoegde waarde van de energiesector relatief hoog scoort.

5.4 Energie gerelateerde belasting inkomsten

De overheid in Nederland ontvangt op velerlei manieren middelen uit de productie, verwerking, levering en consumptie van energie. Tabel 5.5 kwantificeert voor het jaar 2010 de bijdrage van de energie productie, levering en consumptie aan de Nederlandse staatskas in totaal op 48,9 miljard euro, exclusief BTW. Aardgasbaten zijn daarvan een belangrijke component, namelijk 15,8 miljard. Aan accijnzen op brandstof ontving de Nederlandse overheid circa 12 miljard. Vervolgens is er de loon- en winstbelasting van de energiesectoren: circa 5,6 miljard. Daar bovenop komt de loon- en winstbelasting van de energie-intensieve sectoren, welke 15,4 miljard euro bedraagt. Sociale premies en BTW zijn niet inbegrepen in deze bedragen. Hoewel deze bedragen indicatief zijn, is duidelijk dat een aanzienlijk deel van de jaarlijkse inkomsten van de Nederlandse overheid (ordegrootte 250 miljard euro), afkomstig is uit de belasting op energiewinning, levering, export en consumptie. De genoemde bedragen zijn niet volledig, maar een bijdrage van ca. 20% aan de collectieve middelen is indrukwekkend.

Tabel 5.5 Bijdrage energie productie, levering en gebruik door energie-intensieve sectoren aan de collectieve middelen, excl. BTW en excl. sociale premies.

	mln. Euro
Aardgasbaten	15.882
Accijnzen	12.008
Loonbelasting energie levering	777
Winstbelasting energielevering	4.883
Loonbelasting energie int. sectoren	9.067
Winstbelasting energie int. sectoren	6.306
Totaal	48.923

Bron: CBS/bewerking TNO

5.5 Conclusies

In dit hoofdstuk de monetaire waarde van de fysieke energiestroom door de Nederlandse economie bepaald en gekoppeld aan de fysieke hoeveelheden uitgedrukt in Peta joules, kilowatt, en andere fysieke eenheden. Ook zijn goede cijfers over invoer en uitvoer van energie(dragers) gevonden, hoewel de registratie van doorvoer wel lacunes blijkt te vertonen. Bronnen spreken elkaar tegen, hetgeen vermoedelijk heeft te maken met het eigendom van de transactie.

Het resultaat van deze analyse maakt het vitale economische belang van ons huidige energiesysteem inzichtelijk. Met de winning van gas uit eigen bodem, een grootschalige invoer en export van aardolie en aardolieproduct heeft Nederland een sleutelrol heeft in de internationale (m.n. Europese) energiemarkt. Bovendien komt een kwart van het binnenlands energiegebruik voor rekening van de energie-intensieve bedrijfstakken, hier gedefinieerd als sectoren die meer dan 10 Eurocent energie verbruiken per Euro toegevoegde waarde. Samen verbruiken deze energie-

intensieve bedrijfstakken circa 25% van het totale, binnenlandse energieverbruik en dragen zij 12,4 % bij aan het bruto binnenlands product. Het gaat dan met name om grote bedrijfstakken als de chemie, het goederenwegvervoer, de landbouw en de voedings- en genotmiddelenindustrie. Grote bedrijfstakken met een toegevoegde waarde van 9 tot 11 miljard Euro per jaar, die internationaal concurrerend zijn en een aanzienlijk deel van het Nederlandse exportpakket voor hun rekening nemen.

Ook voor de staatsbegroting zijn aardolie en aardgas van groot belang. De overheid in Nederland ontvangt op velerlei manieren inkomsten uit de productie, verwerking, levering en consumptie van energie. Wanneer we de directe aardgasbaten, de energie-accijnzen en de opbrengsten uit winst- en loonbelasting van de energieleverende bedrijven en de energie-intensieve bedrijfstakken optellen komen we tot een bijdrage aan de collectieve middelen van 48,9 miljard Euro op jaarbasis. Dit is ongeveer één vijfde deel van de jaarlijkse inkomsten van de Nederlandse staat.

Bij teruglopende gasvoorraden verandert ons land rond 2030 van gasexporteur in netto importeur. De directe aardgasbaten, nu 15,8 miljard Euro per jaar, nemen steeds verder af. Nederland zal gas gaan inkopen in het buitenland tegen de geldende marktprijs. De omzet van 20 miljard euro per jaar die nu ten goede komt aan de eigen economie valt weg en in plaats daarvan moet er voor 20 miljard worden ingekocht. Dat betekent dat de Nederlandse economie op termijn een omzetverschil van 40 miljard euro per jaar moet overbruggen. Energie-intensieve bedrijven, die op dit moment als grootverbruiker een relatief lage prijs betalen, worden dan voor hun energiekosten afhankelijk van de prijs van aardgas en aardolie op de wereldmarkt. Wanneer deze prijzen in ons land stijgen ten opzichte van andere landen, komen de energie-intensieve sectoren in ons land onder druk te staan, wat ten koste kan gaan van de Nederlandse concurrentiepositie.

Juist omdat er vitale economische belangen mee zijn gemoeid, is het voor Nederland van belang te anticiperen op de consequenties van verwachte ontwikkelingen in ons energiesysteem. Niet alleen de uitputting van eigen gasvoorraden, maar ook een toenemende afhankelijkheid van olie- en gasprijzen op de wereldmarkt en de introductie van lokale energiebronnen hebben ingrijpende gevolgen voor de staatskas en voor onze internationale concurrentiepositie. Net als andere EU-lidstaten is het ook voor Nederland verstandig om gericht en vasthoudend te investeren in de opbouw van een energiesysteem dat kan voorzien in de eigen energiebehoefte en tevens kansen biedt om onze internationale concurrentiepositie te versterken.

6 Kansen voor bedrijven

Met welke innovaties kan ons land de komende decennia een duurzaam energiesysteem ontwikkelen en tegelijkertijd onze internationale concurrentiepositie versterken? Dit hoofdstuk geeft een aanzet tot een systematische verkenning van energie-opties om na te gaan in hoeverre hun ontwikkeling en implementatie in de komende decennia substantiële marktkansen biedt voor Nederlandse bedrijven op de internationale markt. Daarbij wordt een methodiek gebruikt waarmee onderzocht kan worden in welke (energie-gerelateerde) sectoren Nederland momenteel sterk is en welke bedrijvigheid (fossiel en duurzaam) in de toekomst goede economische kansen in het buitenland heeft. Gegeven de beperkingen van deze studie is de analyse bescheiden: het gaat er vooral om te laten zien wat er met de beschikbare informatie mogelijk is.

Bij besparingsopties in de gebouwde omgeving biedt de Nederlandse markt het meeste perspectief, maar voor veel energietechnologieën zijn de mondiale markten veel groter dan de Nederlandse thuishmarkt. We leggen in dit hoofdstuk de nadruk op kansen op de internationale markt, omdat het verdienpotentieel voor een technologie kan aanmerkelijk verbeteren door te exporteren. Om de (sub)sectoren te identificeren met het beste exportperspectief voor Nederlandse bedrijven is het belangrijk om te bepalen:

- in welke sectoren sterke innovatienetwerken aanwezig zijn,
- wat de huidige positie van Nederlandse bedrijven op de wereldmarkt is,
- hoe groot het marktpotentieel is en hoeveel groei daar nog te verwachten is.

Er worden alleen (sub)sectoren meegenomen die een substantieel deel van waarde creatie in Nederland laten plaats vinden.

Ter illustratie wordt de methodiek hier toegepast op twee hernieuwbare energie-opties: biobrandstoffen en wind op zee. Deze technologieën zijn gekozen omdat er voldoende actuele informatie beschikbaar is. Bovendien zijn het technologieën waarmee Nederlandse bedrijven zich willen positioneren in de internationale markt. Met de keuze van twee hernieuwbare opties is overigens niet gezegd dat de lokale toepassing en opschaling van hernieuwbare energietechnologieën voor Nederlandse bedrijven de beste kansen biedt op de internationale markt. Kijkend naar onze bestaande sterkten is heel goed denkbaar dat versterking van onze huidige specialisatie in aardgas en aardolie in economisch opzicht betere kansen biedt. Denkbaar is ook dat in een transitieperiode juist innovaties kansrijk zijn die een integratie van centrale en decentrale opties mogelijk maken en die fossiele en hernieuwbare energiebronnen combineren.

Bij toepassing van de methode worden primair de kansen van Nederlandse bedrijven beschouwd. Buitenlandse bedrijven die met een Nederlandse vestiging de mondiale markt veroveren zijn zo veel mogelijk buiten beschouwing gelaten. Bij de case over biobrandstoffen, wordt uit praktische overwegingen alleen gekeken naar de vloeibare energiedragers. Het gebruik van biomassa voor materialen is een hoogtechnologische sector met veel toegevoegde waarde en om die reden zou deze subsector zeer relevant zijn om met deze benadering door te lichten. De beschikbaarheid van data en tijd binnen de context van dit project beperken ons tot het uitwerken van de twee voorbeelden, zonder materialen uit biomassa mee te kunnen nemen. Daarmee zijn ook interessante combinaties van de (co)productie

van materialen en energie uit biomassa buiten beschouwing gelaten, hoewel zeker een interessante optie is.

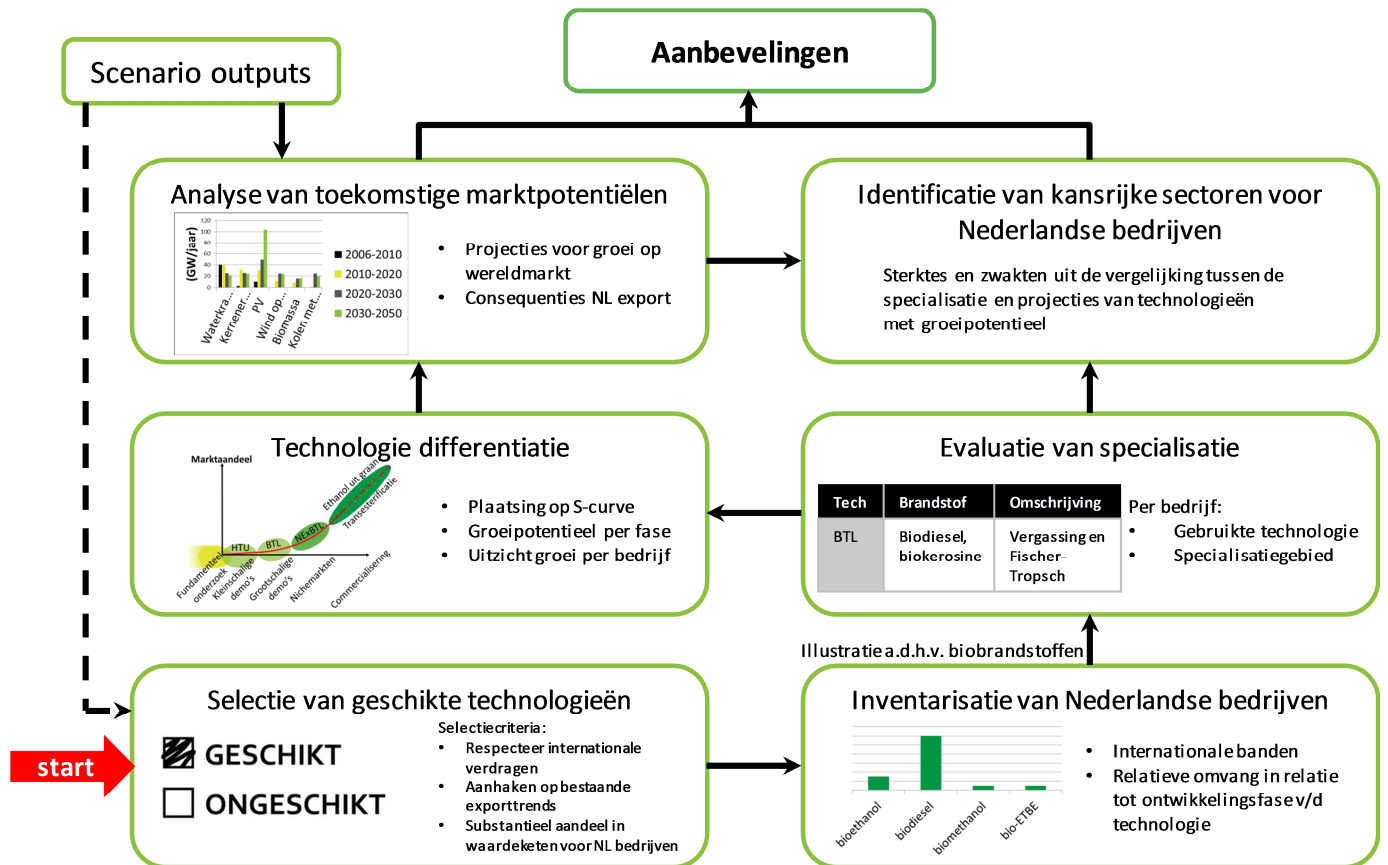
In paragraaf 6.1 wordt de methodiek beschreven. Paragraaf 6.2 bevat een samenvatting van de illustratieve toepassing van de methodiek op biobrandstoffen en wind op zee. Tenslotte staan in paragraaf 6.3 een aantal conclusies over de methode en voorstellen voor vervolgstappen om deze verder te verbeteren. Details over de analyse van de twee technologieën zijn opgenomen in bijlage C.

6.1 Methodiek

Om de mondiaal kansrijke (sub)sectoren te identificeren is een methodiek gekozen die ECN eerder heeft toegepast om in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken om, in het licht van de internationale klimaatovereenkomsten, de exportkansen voor bedrijven in de hernieuwbare energiesector in te schatten (Bunzeck & Saidi, 2010). In die studie is gekeken in welke technologieën/sectoren Nederlandse bedrijven goed gepositioneerd zijn om als exporteur van schone energietechnologie bij te dragen aan mondiale emissiereducties. Omdat de vraagstelling hier vergelijkbaar is, is deze methodiek integraal overgenomen. Door de groei van een technologie, zoals verwacht op basis van scenario's, te koppelen aan de huidige sterke kanten van de Nederlandse industrie kunnen kansrijke en minder kansrijke sectoren geïdentificeerd worden. De methodiek bestaat uit het doorlopen van 6 stappen die zijn weergegeven in (inclusief illustraties uit de biobrandstof-case):

- een selectie van geschikte technologieën;
- een analyse van toekomstige marktpotentiëlen;
- een inventarisatie van Nederlandse bedrijven;
- een evaluatie van de huidige positie op de wereldmarkt en specialisatie van deze bedrijven;
- technologie differentiatie;
- een identificatie van kansrijke sectoren voor Nederlandse bedrijven.

Deze stappen leiden tot een set aanbevelingen over welke technologieën mondiaal naar verwachting een grote rol gaan spelen en waar voor Nederlandse bedrijven groeimogelijkheden liggen.



Figuur 6.1 Schematisch overzicht van de methodiek voor het selecteren van mondiaal kansrijke sectoren.

De analyse van de technologieën in Bijlage C is uitgevoerd op basis van gegevens uit de technologie roadmaps uit de Energy Technology Perspectives 2012 van het IEA (IEA, 2012) en de meest recente ECN analyse van het Nederlandse bedrijfsleven actief in duurzame energietechnologie uit 2010 (Lako & Beurskens, 2010).

a. Selectie van geschikte technologieën

Het startpunt van de technologieselectie is een lijst van relevante energie technologieën en brandstoffen. Het is daarbij belangrijk de beschikking te hebben over gegevens met betrekking tot de verwachte investeringsniveaus (RD&D en uitrol), en capaciteitsuitbreiding van de technologieën. Als een mondiaal scenario als leidraad wordt genomen, zal binnen Nederland niet op al deze technologieën activiteiten ontplooid worden. Voor bepaalde technologieën zal Nederland naar verwachting weinig impact hebben op de wereldmarkt. De technologieën waar Nederland zou kunnen profiteren van toenemende mondiale uitrol, voldoen aan de volgende eisen:

- De markt moet toegankelijk zijn: technologie moet kunnen worden uitgerold zonder import- of exportrestricties. Nucleaire technologie is een voorbeeld waarbij niet aan deze eis wordt voldaan.
- Er moet exportpotentieel aanwezig zijn en een mogelijkheid om op bestaande exporttrends aan te haken. De technologie moet daarom aan te passen zijn aan marktvraag buiten Nederland

- De Nederlandse bijdrage in de technologie moet een substantieel deel van de waardeketen innemen. Nederlandse technologie die maar een klein deel of een component van een groter systeem inneemt wordt niet in beschouwing genomen.

b. Analyse van toekomstige marktpotentiëlen

Voor de projecties naar de toekomst wordt gebruik gemaakt van scenario's. In principe kunnen deze scenario's overall vandaan komen, zolang alle technologie potentiëlen die in het onderzoek worden meegenomen op dezelfde wijze (methodiek en aannames) tot stand zijn gekomen. Projecties voor groei op wereldmarkt in dit rapport zijn op basis van ETP 2012 2DS scenario van het Internationaal Energie Agentschap. Er is voor dit scenario gekozen omdat kwantitatieve informatie goed beschikbaar en uit een breed geaccepteerde bron afkomstig is. De mondiale ETP scenario's sluiten aan bij de Nederlandse Green4Sure scenario's. Kanttekening bij de gebruikte cijfers uit de ETP 2012 is dat het 2DS scenario uit gaat van zeer ambitieuze internationale afspraken. Gezien de diversiteit in onderliggende aannames en uitkomsten tussen verschillende scenario's (zie hoofdstuk 3) is de scenariokeuze in het algemeen sterk van invloed op de uitkomsten van de analyse. Voor de illustratie van de methodiek is dit geen probleem, maar er moet wel rekening mee worden gehouden bij het trekken van conclusies, en het geeft ook een van de belangrijkste kwetsbaarheden van de methode aan.

Op basis van de technologie roadmaps uit de ETP 2012 wordt voor iedere technologie de verwachte groei en projecties van de toename in productie en investeringen geanalyseerd. Aan de hand van deze cijfers worden de consequenties voor de Nederlandse exportmarkt geanalyseerd. De regionale ontwikkelingen kunnen bijvoorbeeld belangrijk zijn om kansen voor Nederlandse bedrijven te ontwikkelen. Daarbij wordt ook ingeschat in welke mate de buitenlandse markten vrij toegankelijk zijn voor Nederlandse partijen.

c. Inventarisatie van Nederlandse bedrijven

Grote bedrijven, en/of bedrijven met sterke internationale banden zijn de meest waarschijnlijke kandidaten om te profiteren van de groei van een mondiale industrie. Zij hebben de beste positie om buitenlandse markten te betreden. Echter, nieuwe technologieën worden vaak door middelgrote en kleine ondernemingen naar de markt gebracht. Het is daarom belangrijk ook het MKB mee te nemen bij een inventarisatie. Afhankelijk van de activiteit, zijn kleine bedrijven vaak niet in staat de wereldmarkt te bedienen. Als een nieuwe technologie succesvol wordt, groeit het bedrijf mee, wordt productie overgenomen door een grotere partij (licentieovereenkomst) of wordt het kleinere bedrijf opgekocht door een grotere speler die de wereldmarkt wel kan bedienen. In dit rapport maken we gebruik van een inventarisatie van Nederlandse bedrijven die in het kader van EurObserv'ER 2010 is uitgevoerd.

d. Evaluatie van huidige positie op de wereldmarkt en specialisatie

Per sector (bijvoorbeeld biobrandstoffen) wordt gekeken in welke subsector de geïnventariseerde bedrijven actief zijn (bijvoorbeeld biodiesel of bio ethanol). De scope van specialisatiegebieden wordt breed gekozen. Het kan een specifiek component betreffen, een bepaald product, maar ook bijvoorbeeld kennis en kunde op het gebied van projectmanagement of een bepaald uitvoeringsaspect.

e. Technologie differentiatie

Binnen de verschillende subsectoren wordt gekeken welke technologieën de geïnventariseerde bedrijven gebruiken. Er wordt gekeken hoe ver de ontwikkeling van de technologie in Nederland is³. Deze technologieën worden ingedeeld in één van de volgende innovatiestadia: fundamenteel onderzoek, kleinschalige en grootschalige demonstratie, nichemarkten en commercialisering. Door de technologieën op een S-curve te plaatsen, kan een beeld worden gegeven in hoeverre een technologie haar marktpotentieel aan het invullen is. Technologieën in vroege ontwikkelingsfasen (weinig/geen uitrol) hebben meer marktpotentieel over dan technologieën in de commercialiseringsfase. Dit geeft een beeld van het te verwachten groeiperspectief van een technologie.

f. Identificatie van kansrijke sectoren voor Nederlandse bedrijven

De positie op de S-curve van de technologieën die door Nederlandse bedrijven worden toegepast, wordt vergeleken met de mondiale verwachting van een technologie. Als een technologie in Nederland in een vroeg ontwikkelingsstadium zit, en de mondiale marktontwikkeling wordt pas later verwacht, dan is er sprake van een kansrijke technologie. Het Nederlandse bedrijfsleven heeft dan een goede uitgangspositie aan te sluiten bij de mondiale marktgroei. Als er technologieën (of componenten) zijn waar in Nederland weinig of geen activiteit plaats vindt, dan wordt een technologie, of het deel van de waardeketen van het component niet als kansrijk aangemerkt.

6.2 Voorbeelden: analyse biobrandstoffen en wind op zee

Om de bovenbeschreven methodiek te demonstreren is een voorbeelduitwerking gemaakt waarbij biobrandstoffen en wind op zee geanalyseerd zijn. De tabellen hieronder geven een samenvatting van de bevindingen per analysestap. De showcases zijn in detail uitgewerkt in bijlage C. In Tabel 6.1 worden de (sub)sector-overstijgende analysestappen weergegeven. Deze zijn van toepassing op de hele energiesector. De keuze voor de twee showcases wordt hier inhoudelijk toegelicht. In Tabel 6.2 en Tabel 6.3 worden voor de biobrandstof- en offshore-windsector de sectorspecifieke analysestappen behandeld. Voor beide technologieën wordt onder de tabellen een beschrijving gegeven van de inzichten die de analyse kan opleveren. De analyses zijn gebaseerd op beperkt beschikbare informatie en hebben daarom een sterk voorlopig karakter. Er kunnen voor de samenstelling van beleid geen conclusies aan verbonden worden.

³ Een belangrijke vergelijking die hier ook gemaakt zou moeten worden, is hoe de stand der techniek in Nederland zich verhoudt tot het buitenland. Alleen dan kan een selectie worden gemaakt van Nederlandse (sub)sectoren die in de mondiale markt een goede kans maken. Deze vergelijking is in dit rapport niet gemaakt, omdat de gegevens daarvoor nog ontbreken en het vergaren van deze informatie buiten de scope van het project viel. Een analyse van de positie van Nederlandse (sub)sectoren t.o.v. hun buitenlandse concurrentie zal echter een integraal onderdeel worden van een eventuele vervolgstudie.

Tabel 6.1 Sector overstijgende analysestappen

Analysestep	Bevindingen
Selectie van geschikte technologie	De technologieën voor wind op zee en biobrandstoffen voldoen aan de criteria onder paragraaf 6.1a. Er is een routekaart beschikbaar (IEA, 2012) en er zijn gegevens van de Nederlandse industrie beschikbaar.
Analyse van toekomstige marktpotentiëlen	Volgens scenario's van de IEA zullen de marktgroei van waterkracht, kernenergie en kolencentrales met CCS op lange termijn afnemen. CSP, PV, windenergie (on-shore plus offshore), biomassa en gas met CCS laten juist een voortdurende groei in de jaarlijkse afzet zien. De markt voor biobrandstoffen zal naar verwachting voortdurend groeien, waarbij BTL een belangrijke rol gaat spelen. Voor wind op zee is de vraag regionaal. In Europa, Noord Amerika en China wordt tot 2050 continue marktgroei verwacht. Andere regio's zien op korte termijn groei, maar niet op lange termijn (2030-2050). Op lange termijn krimpt de mondiale markt voor offshore wind.

Biobrandstoffen

Tabel 6.2 Sectorspecifieke analysestappen voor de Nederlandse biobrandstofsector (voor details: zie bijlage C).

Analysestep	Bevindingen
Analyse huidige Nederlandse industrie	Nederlandse bedrijven in biobrandstoffen zijn voornamelijk actief in biodiesel. Daarnaast zijn er activiteit in bio-ethanol en in mindere mate in bio methanol en bioETBE.
Technologie differentiatie	Nederlandse bedrijven zijn in alle drie de schakels grondstof, proces en transport van de biobrandstofwaardeketen vertegenwoordigd. Ook zijn er raakvlakken met andere traditioneel sterke sectoren zoals agro, chemie en logistiek.
Evaluatie van specialisatie	Momenteel worden gevestigde technologieën als transesterificatie en ethanolproductie uit graan gebruikt om aan de huidige vraag naar biobrandstoffen te voldoen. Bedrijven en kennisinstellingen werken aan de ontwikkeling van nieuwe technologieën als BTL, bijbehorende vergassingsprocessen en 2 ^e generatie ethanol. Deze technologieën bevinden zich in de demonstratiefase, maar hebben naar verwachting het grootste mondiale groeipotentieel van alle biobrandstoffen.
Identificatie van kansrijke sectoren voor Nederlandse bedrijven	Nederland heeft inmiddels een sterke marktpositie in 1 ^e generatie biobrandstoffen. Daarbij is er een goed ontwikkelde chemische sector aanwezig (blending, olieraffinage in R'dam). Landbouwgrond is in Nederland te beperkt om mondiale markt te bedienen, dus op lange termijn wordt de sector afhankelijk van biomassa-import. Nederland heeft echter een gunstige ligging en voldoende havencapaciteit voor de aanvoer van biomassa.

Nederlandse bedrijven zijn sterk in productie van biodiesel en bio ethanol. Vanaf 2020 wordt een robuuste groei deze biobrandstoffen verwacht. De huidige commerciële productietechnologieën die gebruikt worden zijn ethanolproductie uit

graan en transesterificatie. Deze technologieën groeien naar verwachting nauwelijks en faseren op termijn zelfs uit.

De technologieën waar Nederlandse bedrijven qua huidige ontwikkeling sterk in zijn, vergassing en Fischer-Tropsch, hebben wel een groot (markt)potentieel. Naar verwachting wordt na 2020 biomass-to-liquids (BTL), een combinatie van een vergassings- en een Fischer-Tropsch proces, een van de belangrijkste productiemethoden voor biobrandstoffen. De huidige RD&D activiteiten geven de betrokken Nederlandse bedrijven een goede uitgangspositie om aan de verwachte toename in de vraag naar biobrandstof uit BTL te voldoen. Daarnaast zitten er ook nieuwe technologieën als HTU en bio ethanol uit cellulose (2^e gen.) in de pijplijn om aan de vraag in de verdere toekomst te adresseren.

Nederlandse bedrijven zijn uitstekend gepositioneerd om een substantiële rol te gaan spelen op de toekomstige markten voor biobrandstoffen. Zowel in de productie van biobrandstof als in de ontwikkeling en bouw van installaties zijn spelers aanwezig die in staat zijn de mondiale markt te betreden, of dat al doen. Echter, voor de productie van grondstof voor biobrandstoffen is in Nederland onvoldoende landbouwgrond beschikbaar om op de mondiale markt een substantiële positie op te bouwen. In dat geval zal Nederland de grondstoffen voor deze biobrandstoffen moeten importeren. Ook daarvoor heeft Nederland dankzij haar ligging en voldoende havencapaciteit een goede positie voor.

Wind op zee

Tabel 6.3 Sectorspecifieke analysestappen voor de Nederlandse offshore windenergiesector.

Analysestep	Bevindingen
Analyse huidige Nederlandse industrie	Activiteiten in de voorbereiding, constructie en bouw van windparken op zee, inclusief infrastructuur zijn in Nederland sterk vertegenwoordigd. Ook op het gebied van onderhoud en gebruik van offshore windparken is er veel Nederlandse bedrijvigheid. Daarnaast is er ook beperkte activiteit op het gebied van componentontwikkeling voor windturbines.
Technologie differentiatie	De offshore windsector in Nederland bestrijkt alle schakels van de waardeketen: Turbines, substructuren, schepen en havens. Alleen de vertegenwoordiging in de schakel turbines is zwak. Er zijn raakvlakken met sterke sectoren buiten de energiesector zoals consultancy, havenactiviteiten, civiele techniek en gespecialiseerde scheepsbouw.
Evaluatie van specialisatie	Baggeren, projectmanagement, consultancy & financiering en de bouw van near-shore funderingen en gespecialiseerde schepen zijn volledig commerciële activiteiten. Een geïntegreerde aanpak van de constructie van windparken op zee is in de laatste ontwikkelingsfase, evenals het aanleggen van enkelvoudige aansluitingen met land. Om aan toekomstige vraag te voldoen zijn Nederlandse bedrijven en kennisinstellingen actief in de ontwikkeling van diep-water funderingen, de aanleg van offshore grids, onderhoud strategieën en turbine-ontwerp.
Identificatie van kansrijke sectoren voor Nederlandse bedrijven	De offshore windindustrie is een sterk ontwikkelde sector. Nederlandse bedrijven zijn goed gepositioneerd in constructie en onderhoud van windparken op zee. In de windturbine industrie speelt Nederland mondiaal een kleine rol.

Nederlandse bedrijven zijn uitstekend gepositioneerd voor de voorbereiding en constructie van offshore windparken en de benodigde infrastructuur. De Nederlandse ondernemingen die momenteel in deze sector actief zijn, opereren mondiaal. Echter, de assemblage en verkoop van windturbines zelf wordt gedomineerd door bedrijven uit andere landen.

In de offshore windsector zijn Nederlandse bedrijven actief in zeer verschillende activiteiten. Activiteiten als baggeren, projectmanagement, consultancy en financiering worden commercieel ingezet in diverse sectoren. Daarmee zijn deze activiteiten robuust tegen een tegenvallende offshore windmarkt. De bouw van gespecialiseerde schepen en productie van near shore funderingen zijn commercieel en sluiten daarmee aan op de huidige plaatsing van offshore windparken, relatief dicht bij de kustlijn. De constructie van windturbineparken en de aanleg van enkelvoudige aansluitingen met land zijn in een pre-commerciële fase. De integratie van actoren moet bij die activiteiten nog verder ontwikkelen. Hoewel er geen substantiële activiteiten zijn op het gebied van turbinebouw, zijn Nederlandse bedrijven wel goed in turbineontwerp. Dit betreft turbines in de nichemarktfase. Verder worden in Nederland onderhoud-strategieën ontwikkeld en gedemonstreerd. Naarmate geschikte locaties dicht bij de kust benut raken, zullen windparken meer en meer in diep water geplaatst worden. Nederlandse bedrijven spelen in op de specifieke technieken die daarvoor ontwikkeld moeten worden op het gebied van diep-waterfunderingen en de aanleg van offshore elektriciteitsnetwerken. Deze technologieën bevinden zich nog in een vroege ontwikkelingsfase.

Het verloop van het investeringsniveau voor offshore wind is per regio verschillend. In Europa, Noord Amerika en China wordt tot 2050 continue marktgroei verwacht. Andere regio's zien op korte termijn groei, maar niet op lange termijn (2030-2050). Mondiaal krimpt de markt op langere termijn.

6.3 Conclusies

Nederlandse bedrijven in de offshore industrie zijn goed gepositioneerd om een substantiële rol te gaan spelen in de constructie en het onderhoud van windparken op zee. Ook zijn Nederlandse bedrijven uitstekend gepositioneerd voor een substantiële rol in de zich ontwikkelende markt voor biobrandstoffen, met name in de productie van biobrandstof en in de ontwikkeling en bouw van conversie-installaties. Deze conclusies zijn consistent met de bevindingen uit andere studies, zoals Rademaekers et al (2010) en – zeker voor deskundigen – niet verrassend. De opties zijn dan ook gekozen omdat er relatief veel actuele informatie beschikbaar is.

Het doel van de gebruikte methodiek is om op een systematische manier inzichtelijk te maken welke (energie-gerelateerde) sectoren in de toekomst goede economische kansen hebben op de buitenlandse markt. Niet voor alle hernieuwbare opties is de benodigde informatie echter beschikbaar en betrouwbaar. Zo worden in de gekozen voorbeelden technologie roadmaps gebruikt om het marktpotentieel van technologieën te bepalen. Om de methodiek breder toe te kunnen passen is het van belang dat voor alle relevante technologieën een

inschatting van de mondiale marktontwikkelingen beschikbaar is⁴, en dat deze inschattingen zo veel mogelijk onderling vergelijkbaar zijn. De keuze voor welk scenario wordt gebruikt voor de analyse hangt af van de uitgangspunten van de vraagstelling. Door verschillende scenario's als basis te nemen voor de analyse kan een robuustere keuze gemaakt worden van welke technologieën in de toekomst belangrijk worden.

Een volgende kennislacune ligt in het feit dat niet voor alle (hernieuwbare en fossiele) technologieën het Nederlandse bedrijfsleven in kaart is gebracht. De gebruikte EurObsev'ER studie heeft bijvoorbeeld alleen bedrijven actief in duurzame energie geanalyseerd. Wat bij geen van de bedrijven in kaart is gebracht, is wie de investeerders achter de bedrijven zijn. Dit geeft antwoord op de vraag of buitenlandse partijen veel perspectief zien in Nederlandse bedrijven en in hoeverre de winst van die bedrijven in de Nederlandse economie blijft hangen.

Door verschillende handelsstromen in kaart te brengen, kan een feitelijk en goed verifieerbaar beeld gekregen worden van de sterke sectoren binnen de Nederlandse economie. Een dergelijke analyse geeft een veel gedetailleerder beeld dan de sectorale analyse uit deze methodiek. De benodigde handelsstromen zijn beschikbaar uit databases als Comtrade van de Verenigde Naties. Via de SBI codes van het CBS kunnen deze handelsstromen gekoppeld worden aan werkgelegenheid, waardoor ook geanalyseerd kan worden welke subsectoren belangrijk zijn voor de werkgelegenheid en waar een toename van de werkgelegenheid te verwachten valt.

⁴ Dit kan een door de sector ondersteunde roadmap zijn, maar ook een marktinschatting op ad hoc basis.

7 Conclusies en ontwerp voor vervolg

Het is voor Nederland om meerdere redenen urgent om gericht te investeren in de transitie naar een toekomstbestendig energiesysteem. Wereldwijd zien we ingrijpende veranderingen in de energievoorziening die van grote invloed kunnen zijn op de betrouwbaarheid, betaalbaarheid en duurzaamheid van het energiesysteem in Europa en Nederland. Wat dit zal betekenen voor de Nederlandse energiehuishouding is echter nog onduidelijk.

De uitgevoerde analyse heeft twee doelen:

- In beeld brengen van de belangrijkste kansen en bedreigingen van de transitie naar een duurzame energievoorziening voor economie en samenleving van Nederland.
- Nagaan waar belangrijke lacunes liggen in de benodigde kennis voor een transitie naar een toekomstbestendig energiesysteem in Nederland.

7.1 Belangrijkste conclusies

Met een gunstige ligging aan zee en goede havenfaciliteiten vormt Nederland een poort naar Europa voor de grootschalige in- en doorvoer van energie- en grondstofstromen, zoals olie en olieproducten. Dit heeft ook geleid tot de ontwikkeling van een omvangrijke raffinage-industrie. Daarnaast beschikt ons land over substantiële aardgasvoorraden waaruit gas voor binnenlands gebruik en export wordt gewonnen. In vergelijking met andere EU-lidstaten is een relatief klein aandeel (minder dan 5%) van de energiemix afkomstig van hernieuwbare energiebronnen.

Ons energiesysteem is gespecialiseerd op fossiele energiebronnen. Deze specialisatie heeft als keerzijde dat in zekere mate een lock-in-situatie is ontstaan. Bij elke nieuwe energie-investering speelt de afweging tussen verdere optimalisatie van de bestaande constellatie en de start van een alternatieve route die in eerste instantie een lager rendement zal kennen.

Aardgas en aardolie(producten) zijn vitaal voor onze economie

Om het economisch belang van ons huidige energiesysteem scherp in beeld te krijgen is een evaluatie uitgevoerd die kosten en benefits in de tijd, op nationaal niveau en voor afzonderlijke bedrijfstakken kwantificeert. Daarbij worden de belangrijkste economische karakteristieken van het Nederlandse energiesysteem zichtbaar:

- de winning van gas uit eigen bodem;
- de grootschalige invoer van ruwe aardolie;
- de invoer en eigen productie (raffinage) van aardolieproducten.

Het merendeel van deze stromen aardgas en aardolie(producten) is bestemd voor de export, waarmee Nederland een sleutelrol heeft in de internationale (m.n. Europese) energiemarkt. Slechts een deel van deze grote stromen is bestemd voor binnenlands gebruik.

Een kwart van het binnenlands energiegebruik komt voor rekening van de energie-intensieve bedrijfstakken, hier gedefinieerd als sectoren die meer dan 10 Eurocent

energie verbruiken per Euro toegevoegde waarde. Samen verbruiken deze energie-intensieve bedrijfstakken circa 25% van het totale, binnenlandse energieverbruik en dragen zij 12,4 % bij aan het bruto binnenlands product. Het gaat dan met name om grote bedrijfstakken als de chemie, het goederenwegvervoer, de landbouw en de voedings- en genotmiddelenindustrie. Dit zijn grote bedrijfstakken met een toegevoegde waarde van 9 tot 11 miljard Euro per jaar, die internationaal concurrerend zijn en een aanzienlijk deel van het Nederlandse exportpakket voor hun rekening nemen.

Ook voor de rijksbegroting zijn aardolie en aardgas van groot belang. De overheid in Nederland ontvangt op velerlei manieren inkomsten uit de productie, verwerking, levering en consumptie van energie. Wanneer we de directe aardgasbaten (ca. 16 miljard Euro per jaar), de energie-accijnzen (ca. 12 miljard Euro per jaar) en de opbrengsten uit winst- en loonbelasting van de energieleverende bedrijven (ca. 6 miljard Euro per jaar) én de energie-intensieve bedrijfstakken (ruim 15 miljard Euro per jaar) optellen komen we tot een bedrag van ongeveer 50 miljard Euro op jaarbasis. Dit is ongeveer één vijfde deel van de jaarlijkse inkomsten van de Nederlandse staat.

Sterk contrasterende toekomstscenario's

Over de toekomstige ontwikkeling van het Nederlandse energiesysteem zijn de afgelopen jaren diverse studies uitgebracht. Een aantal studies heeft een tijdshorizon tot 2020 of 2030, andere kijken verder tot 2040 of 2050. De focus ligt daarbij soms op het totale energiesysteem, maar ook wel op onderdelen daarvan (gas, hernieuwbare energie). Samen omvatten deze studies 20 toekomstscenario's voor vraag en aanbod van energie in Nederland.

Om een beeld te krijgen van het toekomstige energiesysteem van Nederland is een review van deze toekomstscenario's uitgevoerd. Deze review laat zien dat de toekomstbeelden sterk uiteenlopen, bijvoorbeeld wat betreft de ontwikkeling van het energiegebruik, de samenstelling van de energiemix en de verwachte uitstoot van broeikasgasemissies. Zo kan de toekomstige Nederlandse energievraag van de huidige 3400 PJ (anno 2010) dalen naar 1600 PJ⁵, maar ook stijgen naar circa 5000 PJ⁶ per jaar. Ook de verwachtingen m.b.t. de toekomstige uitstoot van CO₂ emissies variëren enorm. De laagste schatting voor 2050 bedraagt 38 Mt CO₂, de hoogste 332 Mt CO₂. Alleen de trendbreuk-scenario's, die een duurzame energievoorziening anno 2040/2050 als vertrekpunt nemen en via backcasting laten zien welke ingrijpende veranderingen nodig zijn, realiseren de klimaatdoelen voor 2020 (20% reductie ten opzichte van 1990) en 2050 (80 % reductie).

In het algemeen valt op dat de scenario's sterk verschillen in transparantie, kwaliteit en volledigheid van de onderliggende aannames. Zo wordt energiebesparing in de meeste studies onderbelicht en gaan de beschouwde scenario's voorbij aan de kritische balans tussen aanbod en vraag in een energiesysteem dat een steeds bredere en variabele energiemix moet accommoderen. Een belangrijke lacune is ook dat geen van de toekomstscenario's aandacht besteedt aan de economische gevolgen van verwachte ontwikkelingen. Toch is het zeer waarschijnlijk dat de scenario's ingrijpende gevolgen hebben.

⁵ Schatting voor het jaar 2050 volgens het trendbreuk-scenario Revolution (zie hoofdstuk 3)

⁶ Schatting voor het jaar 2040 volgens het Business as Usual scenario WLO-GE (zie hoofdstuk 3)

Trendbreuken in vraag en aanbod van energie zijn nodig om de klimaatdoelen te realiseren, maar geen van de beschouwde trendbreukscenario's biedt inzicht in de gevolgen van bijvoorbeeld de vervanging van fossiele door hernieuwbare energiebronnen voor de betaalbaarheid van energie, de concurrentiepositie van energie-intensieve sectoren, de werkgelegenheid en de staatsfinanciën van Nederland. De trendbreukscenario's schetsen een forse groei in hernieuwbare energie, maar de kansen die dit oplevert voor onze concurrentiepositie en werkgelegenheid blijven onderbelicht.

Ook de economische gevolgen van de scenario's zonder trendbreuken, waarin onze energiemix anno 2040/2050 sterk lijkt op de huidige energievoorziening, blijven onderbelicht. Toch kunnen deze gevolgen substantieel zijn. Wanneer de gaswinning uit eigen voorraden terugloopt, verandert ons land rond 2030 van gasexporteur in netto importeur. Wanneer dit gepaard gaat met hoge energieprijzen in Europa komen de energie-intensieve sectoren in ons land onder druk te staan. Dit kan ten koste gaan van de Nederlandse concurrentiepositie. Tenzij ons land er tijdig in slaagt om het wegvallen van relatief goedkoop aardgas te compenseren met energieproductie uit andere bronnen.

Een consistente en op de lange termijn gerichte transitiestrategie

Tegen de achtergrond van een financiële crisis is het voor Nederland extra urgent om verstandig te investeren in de transitie naar een toekomstbestendig energiesysteem. Wanneer de middelen schaars zijn, dwingt dit tot goede afwegingen en heldere keuzen. Een cruciale vraag is welke transitiepaden het Nederlandse energiesysteem toekomstbestendig kunnen maken in economisch, ecologisch en sociaal opzicht.

Nederland zou zijn specialisatie op aardgas en aardolie kunnen vergroten door de import van gas, olie en kolen uit andere regio's te versterken en zich te ontwikkelen als de gasrotonde van Europa. Uit oogpunt van voorzieningszekerheid en betaalbaarheid is een toekomstscenario waarin onze energievoorziening vooral afhankelijk is van import vanuit instabiele geopolitieke situatie in regio's met een grote aardolie- en aardgasreserves niet te prefereren. Ook zou Nederland kunnen inzetten op de winning van onconventionele voorraden van bijvoorbeeld schaliegas in eigen land en binnen Europa. Dit zou de voorzieningszekerheid versterken en mogelijk nieuwe business kansen voor Nederlandse bedrijven opleveren. Tegelijkertijd spelen er bij schaliegas nog vragen rond veiligheid en milieurisico's en moeten we constateren dat schaliegaswinning op weerstand stuit bij het publiek. Zonder aanvullende maatregelen zouden bovendien de gestelde klimaatdoelen onhaalbaar worden.

Denkbaar is ook dat Nederland kiest voor een versnelde uitfasering van fossiele energiebronnen en maximaal inzet op hernieuwbare energie. Toekomstbeelden schetsen in dit verband uiteenlopende beelden, zoals Nederland als all-electric society (gebaseerd op elektriciteit uit zon en wind) en Nederland als Biobased Economy (waarin alle reststromen biomassa uiteindelijk worden omgezet in energie). Dit is zorgelijk. We zijn onvoldoende voorbereid op een transitie die vitale economische belangen zal raken en nieuwe economische kansen kan opleveren of nieuwe business kansen opleveren en passen bij de gestelde klimaatdoelen. Als klein land met een open economie en een sterke kennispositie binnen Europa, zou Nederland mede profiteren van de investeringen die

Duitsland en andere EU lidstaten doen in specifieke energietechnologieën (zon, wind, biomassa en zo voorts). Door lokaal initiatief aan te moedigen zou een grote diversiteit van decentrale opties tot ontwikkeling kunnen komen. Kritisch is vooral het waarborgen van een goede balans tussen aanbod en vraag omdat het energiesysteem een steeds bredere energiemix moet accommoderen.

Ongeacht de (combinatie van) transitiepaden die Nederland zal gaan volgen, het staat vast dat de transitie naar een toekomstbestendig energiesysteem de komende 10 tot 20 jaar raakt aan vitale belangen in ons land. Juist omdat de energietransitie vitale belangen in ons land raakt, is een consistente en coherente transitiestrategie nodig. Een strategie voor beleid en onderzoek die gebaseerd is op een breed gedragen lange termijnvisie op ons totale energiesysteem die betrouwbaarheid, betaalbaarheid en duurzaamheid ook tijdens de transitieperiode borgt.

We moeten constateren dat zo'n gemeenschappelijke visie op dit moment in Nederland ontbreekt. Dit is zorgelijk. We zijn onvoldoende voorbereid op een transitie die vitale economische belangen zal raken en nieuwe economische kansen kan opleveren. Hiermee onderscheidt ons land zich van andere EU-lidstaten die gericht investeren in de opbouw van bijv. windenergie (Denemarken, VK) en bio-energie (Scandinavië) of zon-PV (Duitsland). Niet alleen om daarmee te voorzien in de eigen energiebehoefte, maar ook om zo hun internationale concurrentiepositie te versterken.

Om te kunnen anticiperen op de maatschappelijke en economische gevolgen van de transitie naar een toekomstbestendige energievoorziening is een consistente, op de lange termijn gerichte transitiestrategie noodzakelijk. Belangrijke elementen van deze strategie zijn:

1. *Een integrale aanpak*, waarbij betrouwbaarheid, duurzaamheid en betaalbaarheid integraal in beschouwing worden genomen. Hierbij moet uitdrukkelijk gekeken worden vanuit een Europees perspectief, gezien de sleutelpositie van Nederland in de energie- en grondstofstromen binnen Noord West Europa.
2. *Keuze van hernieuwbare energiebronnen die goed aansluiten bij onze sterkten en specialisatie*. Het is voor Nederland van vitaal belang dat de energietransitie nieuwe economische activiteiten oplevert, waarmee bedrijven ook op de buitenlandse markt kunnen excelleren.
3. *Investeren in vergaande energiebesparing*. In de industrie en de gebouwde omgeving is energiebesparing de eenvoudigste manier om CO₂ emissies te reduceren. Verdere sprongen in energiebesparing zijn met de opgebouwde kennis en praktijkervaring nodig en mogelijk.
4. *Effectief beprijzen van CO₂ uitstoot*. Voor een verduurzaming van het huidige energiesysteem lijken aanvullende maatregelen die CO₂ uitstoot beprijzen onontbeerlijk. Een forse versterking van het Europese systeem voor emissiehandel (ETS) is hiervoor nodig.
5. *Ruimte bieden aan de energieke samenleving*. Lokale initiatieven met hernieuwbare energie en innovatieve financieringsconstructies. Deze initiatieven stimuleren innovatie en dragen positief bij aan betrokkenheid van burgers. Betrokken en gemotiveerde burgers zijn van groot belang om de transitie van onze energievoorziening te kunnen realiseren.

Kennisbasis verdient verbetering

Een tweede doelstelling van deze studie was om na te gaan in hoeverre de bestaande data, modellen en inzichten voldoende onderbouwing en guidance bieden voor ontwikkeling van een consistente en coherente transitiestrategie.

Bij de review van toekomststudies zijn belangrijke onzekerheden en kennislacunes zichtbaar geworden. De 20 beschouwde scenario's schetsen sterk contrasterende toekomstbeelden van de Nederlandse energiehuishouding. Die grote contrasten worden met name veroorzaakt door een grote variatie in aannames (bijvoorbeeld ten aanzien van prijsontwikkeling, technologie ontwikkeling, economische groei). Mogelijk is er ook een grote variatie in andere aannames, maar de transparantie en kwaliteit van de onderbouwing van de resultaten is in veel studies gebrekkig en veel van de aannames zijn niet gepubliceerd. Waar wel expliciet is ingegaan op de aannames, wordt lang niet altijd voldoende systematisch geëvalueerd hoe ranges in aannames de uitkomsten beïnvloeden.

Substantiële kennislacunes zijn ook zichtbaar geworden in de analyse van de potentiële impact van energie-opties die mogelijk in de toekomstige ontwikkeling van ons energiesysteem een belangrijke rol vervullen. Op basis van beschikbare informatie is voor een tiental energie-opties getracht een integraal beeld samen te stellen van de potentiële impacts op het gebied van duurzaamheid (people, profit, planet) en van de randvoorwaarden die de snelheid en mate van implementatie beïnvloeden (inpasbaarheid in de keten, rijpheid van de technologie, support van maatschappelijke stakeholders). De beschikbaarheid en kwaliteit van de data blijkt sterk te variëren, per optie en per aspect, en er is geen gebruikelijke systematiek om informatie uit verschillende bronnen en achtergronden zorgvuldig consistent te maken. Het is nog niet goed mogelijk om een eenduidig, integraal beeld van hun potentiële impact samen te stellen.

Ook is er nog maar beperkt inzicht in economische kansen die deze energie-opties bieden voor het Nederlandse bedrijfsleven op de buitenlandse markt. Naast inschattingen van marktontwikkelingen is het hiervoor nodig om fundamenteel inzicht te hebben op welke terreinen Nederlandse partijen zich qua kennisportfolio en kerncompetenties onderscheiden van buitenlandse. In deze studie is een methode om op een systematische manier inzicht in te krijgen in toekomstige (wereld)marktkansen illustratief toegepast op twee sectoren (offshore wind en biobrandstoffen). Een beoordeling van alle relevante energie-opties (fossiel en hernieuwbaar) is essentieel om prioriteiten te kunnen stellen in onderzoek en beleid. Op dit moment is er maar beperkte informatie beschikbaar om op dit punt tot betrouwbare conclusies te komen.

Samenvattend is de conclusie dat de kennisbasis ten behoeve van de transitiestrategie voor Nederland dient te worden versterkt. Veel methoden, modellen en databases zijn al beschikbaar maar de onderlinge samenhang en consistentie laat te wensen over.

7.2 Ontwerp voor een structurele ondersteuning

Overheid en bedrijfsleven binnen de topsector Energie zouden geholpen zijn een gedegen kennisbasis en integraal zicht op het energiesysteem, die

vraagontwikkeling, duurzame én fossiele energiedragers, centrale én decentrale energie-infrastructuur in hun samenhang beschouwt, die rekening houdt met de dynamische wisselwerking tussen energievraag en aanbod, zicht biedt op mogelijkheden om verdienvermogen en duurzaamheid van de energiesector te versterken en argumenten biedt voor fasering van de implementatie.

De voorgaande hoofdstukken van dit rapport maken duidelijk dat er al veel methoden, modellen en databases beschikbaar zijn, maar tevens dat op belangrijke punten tekortkomingen en lacunes bestaan. Dat geldt voor de beschikbare data en de kwaliteit daarvan, maar ook voor de bestaande methoden en modellen, die nu onvoldoende recht doen aan de dynamische samenhang op systeemniveau, alsmede volledige kosten-baten analyses. Een integrale benadering van het energiesysteem kan het benodigde overzicht bieden en een inhoudelijke onderbouwing leveren voor een lange termijn visie, prioriteitstelling, onderzoek en beleid.

Deze laatste paragraaf presenteert een globaal ontwerp voor een structurele ondersteuning van overheid en bedrijfsleven met verbeterde methoden en modellen die passen binnen de integrale benadering van het energiesysteem.

Welke activiteiten stellen we voor?

Om de topsector op korte termijn te ondersteunen kunnen we gebruik maken van nu reeds aanwezige kennis en ondersteunende tools. Voor diverse kritieke issues zijn echter investeringen nodig in kennisinfrastructuur. Deze investeringen zijn nodig voor een combinatie van vernieuwing, verfijning en aanzienlijk betere integratie van modelleringscapaciteit, verdieping van de onderliggende wetenschappelijke basis en realisatie van wezenlijk verbeterde databases.

Ons staat daarbij een proces voor ogen waarin de benodigde kennisinfrastructuur ten dienste wordt gesteld aan de energietransitie en het topsectorbeleid, en parallel daaraan verder wordt opgebouwd. Dit vereist een programmatische aanpak gedurende een looptijd van ca. 4,5 jaar en een omvang van naar schatting 4 miljoen euro. Dit programma levert een structureel versterkte capaciteit op voor de kennisinstellingen om het de energietransitie te ondersteunen met feitelijke informatie, betrouwbare analyses, up-to-date kennis en onderbouwde inzicht. Hieronder worden vier elementen van dat programma verder uitgewerkt.

I: Toegepast onderzoek en directe beleidsondersteuning. Deze component levert directe relevante informatie voor de vragen en issues die binnen de topsector Energie leven. Het werk is goeddeels 'on demand' en wordt mede gestuurd door de betrokken stakeholders. Voorbeelden van relevante aspecten die kunnen worden opgepakt zijn:

- Benchmarking van de fysieke en economische karakteristieken van het Nederlandse energiesysteem ten opzichte van andere EU-lidstaten, als basis voor ontwikkeling van een op maat gesneden transitiestrategie voor ons land.
- Identificatie van robuuste transitiepaden en energie-opties die in een groot aantal toekomstbeelden een rol spelen. In het bijzonder is hierbij aandacht nodig voor radicale energiebesparing, m.n. in de industrie en de gebouwde omgeving.
- Verkenning van de mogelijkheden om de energie-intensiteit van Nederlandse bedrijfstakken in te zetten voor tijdelijke opslag van energie.

- Analyse van de bijdrage die verschillende transitiepaden kunnen leveren aan diverse andere doelen, bijvoorbeeld milieueffecten, voorzieningszekerheid, macro-economische ontwikkeling.
- Innovatieve financieringsconstructies en investeringsstrategieën.

Deze activiteiten lopen gedurende de gehele programmaperiode en maken zoveel mogelijk gebruik van verbeteringen van tools en fundamentele inzichten die in onderdelen II-IV worden gegenereerd. Op hun beurt wordt informatie uit dit onderdeel beleidsondersteuning gebruikt om te zorgen dat de activiteiten in onderdelen II-IV maximaal relevant blijven voor de topsector Energie.

II: Versterking van databases door een inhaalslag m.b.t. besparingsopties, analyse van nieuwe opties en karakterisering middels nieuwe parameters (leer- en implementatietrajecten vs. randvoorwaarden, onzekerheden)

De karakterisering en (potentiële) performance van energie- en besparingstechnologieën is een essentieel onderdeel van energiescenario's en analyse van impacts van energiesystemen. De kwaliteit van de data en grondigheid van onderliggende analyses zijn dus ook bepalend voor de kwaliteit van impactanalyses en scenariostudies. In praktijk zijn veel gehanteerde technologiedata niet transparant of gebaseerd op specifieke onderliggende en regelmatig verouderde informatie. Echter, potentieel toekomstige performance is vaak onzeker en afhankelijk van investeringen in R&D, snelheid van implementatie, etc. De connectie tussen performance (economisch, qua efficiency, emissies, etc.) en randvoorwaarden die met (toekomstige) performance samenhangen is vaak slecht bestudeerd en begrepen. Gedegen karakterisering van technologieën met expliciete kwantificering van onzekerheden in performance en randvoorwaarden voor verschillende tijdrampen is daarom een belangrijk doel. Bijzondere aandacht verdienen energie- en materiaalbesparingstechnologieën, omdat besparingsopties, zoals uit de review van bestaande studies duidelijk werd, een dominante rol spelen bij het beheersbaar houden onze energievraag en CO₂-emissies, terwijl er relatief weinig aandacht voor is geweest in onderzoek en modellering.

III: Sterk verbeterde modelinfrastructuur ten behoeve van een nieuwe generatie scenario's en analyses die scherp aangeven wat de verbanden zijn tussen technologieontwikkeling, (energie-)infrastructuur, costs & benefits, milieu-impacts, sturing, gedrag en macro(-economische) factoren.

Het realiseren van dergelijke koppelingen vereist aanpassing van modellen (bv. wijzigingen in parameterisering en inbouw van nieuwe aspecten) en het creëren van 'soft links' tussen verschillende modellen en andere analysetools. Deze aspecten betreffen onder meer: uitvoeren van coherente onzekerheidsanalyses, analyse van pad afhankelijkheid van implementatie van technologieën (bv. aan- of afwezigheid van energie-infrastructuur met lange levensduur die invoering van technologieën faciliteert of verhindert), integrale analyse van energie-aanbod opties en besparingsopties. Prioriteiten ten aanzien van modellering zijn:

- verfijning van energiemodellen op basis van de verbeterde databases, inbouw van pad afhankelijkheid, aanpassingen voor uitgebreide onzekerheidsanalyses, etc.;
- koppeling tussen bottom-up energiemodellering en gedisagregeerde macro-economische modellering waarin voor de economie in totaal en op sectorniveau

economische effecten (investeringen, veranderingen in omzet, toegevoegde waarde, werkgelegenheid, belastingstromen etc.) kunnen worden gekwantificeerd, in relatie tot verbeteringen in technologische performance, onzekerheden in (macro-) economische omstandigheden. Een belangrijk doel is de kwantificering van netto (macro-) economische effecten van energietransities;

- integratie c.q. verbeterde aansluiting van energiemodellen met overall analyse van milieueffecten (emissies, watergebruik, materiaalgebruik, landgebruik, risico's,) en vertaling van resultaten naar volledige kosten-batenanalyses. Dit kan bereikt worden door hard of zachte koppeling van deels bestaande modelinfrastructuur, maar met een sterk verbeterd detailniveau als hierboven beschreven.

IV: Funderend wetenschappelijk onderzoek voor (sterk) verbeterde beschrijvingen van volledige kosten en baten van energietechnologieën, complexe innovatieprocessen (milieu, economie, technologie) en onzekerheidsanalyses. Op de deze thema's worden promotietrajecten voorgesteld die gezamenlijk worden begeleid door de betrokken kennispartijen. Promovendi werken nauw samen met senior-onderzoekers en ervaren modellers aan aanpassingen van en gebruik van de nieuwe modellen en databases, en laten zich voeden met informatie uit de praktijk via interactie met degenen die aan activiteit I werken. Enkele onderwerpen waarop fundamentele verdieping mogelijk is:

- Integratie energie- en macro-economische modellering; vergt fundamenteel betere uitwerking van inzichten in technologische leertrajecten (en hun randvoorwaarden) naar vertaling en aanpassingen in CGE en I/O modellering.
- Ontwikkeling en toepassingen van innovatiewetenschap op het terrein van commercialisering en (versnelde) implementatie van energietechnologieën in relatie tot randvoorwaarden in markt en beleid.
- Ontwikkeling en toepassing van consistente onzekerheidsanalyses in beschrijving van technologieën, transitiepaden en energiemarkten en afleiding van robuuste trajecten en sturingsmogelijkheden.
- Verbetering van volledige Cost Benefit Analysis; het mogelijk maken van integrale waardering van de belangrijkste milieu-impacts, voorzieningszekerheid (en risico's) naast (macro-) en sociaaleconomische impacts van transitietrajecten.

Output en maatschappelijke impact

De nieuwe resultaten die dit proces zal opleveren zijn:

- integrerend/overkoepelend perspectief in de aanpak ten dienste van de topsector energie (systeembenadering);
- ontwerpen en kwantificeren van transitiepaden die duurzaam en betrouwbaar kunnen voorzien in de ontwikkelende energievraag;
- toetsen van duurzaamheid ("andere" milieu-impacts dan GHG en energiegebruik: bodem, water, lucht, veiligheid, biodiversiteit, etc.);
- kwantificeren van kosten en benefits in de tijd, op niveau van bedrijfstakken en macro-economisch (Nederland);
- prioriteren, plannen en optimaliseren van investeringen en overheidsondersteuning (no regret-trajecten);
- transparante informatievoorziening ten behoeve van het creëren en behouden van draagvlak (tevens stakeholderdialogoog & communicatie);
- algehele monitoringssystematiek en uitvoering.

Naast het leveren van input voor beleid en strategie voor betrokken stakeholders (on demand), levert het voorgestelde proces tevens een wezenlijk verbeterde kennisinfrastructuur op (middels gekoppelde en vernieuwde modellen, data, intensieve samenwerking tussen kennisinstellingen, alsmede op hoog niveau getrainde professionals).

Bijlage A: Geraadpleegde literatuur

- Bergsma, G. en H. Croezen (2011) Kansen voor groen gas. Concurrentie van groen gas met andere biomassa opties. CE Delft, april 2011.
- Brattle Group (2010) Economic impact of the Gas Hub Strategy on The Netherlands. London, The Brattle Group, 2010
- Centraal Bureau voor de Statistiek (2011) Hernieuwbare energie in Nederland 2010. Den Haag / Heerlen, 2011.
- Centraal Bureau voor de Statistiek (2011) Economische radar duurzame energiesector. De aanbodzijde belicht van de economie achter de hernieuwbare energie en energiebesparing. Den Haag / Heerling, 2011.
- Deloitte (2011) Oil and gas reality check 2012. A look at 10 of the top issues facing the oil sector. London: Deloitte Global Services Limited, 2011.
www.deloitte.com/oilandgas.
- ECORYS (2010a) Assessment of non-cost barriers to renewable energy growth in EU Member States. ECORYS Nederland BV
- ECORYS (2010b) Versterking van de Nederlandse duurzame energiesector. Rotterdam, 7 december 2010.
- European Commission (2011) Energy roadmap 2050. Brussel: COM (2011) 885 final.
- Hekkenberg, Michel en Marc Londo (2011) Spoorzoeken en wegbereiden. Een reisgids voor de energietransitie. ECN-E-11-051. Amsterdam, november 2011.
- Hellinga, C. (2010) De energievoorziening van Nederland Vandaag (en morgen?). Uitgave ter gelegenheid van het jaarcongres van KIVI NIRIA 'Duurzaam omgaan met energie'. KIVI NIRIA, / TU Delft. Arnhem, oktober 2010.
- Innovatieplatform (2010) Onderzoek naar de economische potentie en opties ter versterking van duurzame energie in Nederland. Advies van het Innovatieplatform aan het Kabinet, 22 februari 2010.
- International Energy Agency (2011) Energy outlook 2011. Are we entering a golden age of gas? Special report OECD/IEA, 2011
- Junginger, Martin, Wilfried van Sark, André Faaij (2010) Technological Learning in the Energy Sector, Lessons for policy, industry and science. Edward Elgar Publishing Ltd.
- MacKay, David JC (2009) Sustainable energy - without the hot air. Cambridge, 2009.
- Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (2011a) Actieplan Aardwarmte. Den Haag, april 2011
- Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (2011b) Energierapport 2011. Den Haag, 10 juni 2011.
- Montfoort, J.A. en J.P.M. Ros (2008) Zonne-energie in woningen. Evaluatie van transitie op basis van systeem-opties. Milieu- en NatuurPlanbureau. Bilthoven.
- Planbureau voor de Leefomgeving (2011) Naar een schone economie in 2050: routes verkend. Hoe Nederland klimaatneutraal kan worden. Bilthoven, PBL-nr. 500083014.
- Platform Duurzame Elektriciteitsvoorziening (2010) Review programmaportfolio Duurzame Elektriciteitsvoorziening. Innovatiekracht en Programmering. Juli 2010.
- Platform Groene Grondstoffen (2010) Bio-based economy in Nederland. Macroeconomische verkenning van grootschalige introductie van groene grondstoffen in de Nederlandse energievoorziening.

- REN21 (2010) Renewables 2011. Global Status Report. Renewables Energy Policy Network for the 21st century. Parijs: REN21 secretariat.
- Rijksoverheid (2010) Nationaal Actieplan voor energie uit hernieuwbare bronnen. Richtlijn 2009/28/EG. Aangeboden aan de Eerste Kamer bij brief van Minister Economische Zaken, 21 juni 2010.
- Roland Berger (2010) Stimulering van de economische potentie van hernieuwbare energie voor Nederland. Roland Berger Strategy Consultants, 02/2010.
- Schoots, K. (2010) Innovatie en leercurven. Rapportage naar aanleiding van kennisvragen. Werkgroep Energie en Klimaat. Petten, ECN E-10-038.
- Soest, Jan Paul van (2011) Klompen in de machinerie. Bewuste en onbewuste sabotage van de transitie naar een duurzame energiehuishouding. Easay voor de Raad Leefomgeving en Infrastructuur, augustus 2011.
- Topteam Energie (2011) Energie in Beweging. Advies Topsector Energie. Den Haag, juni 2011.
- Transitieplatform Duurzame Elektriciteitsvoorziening (2006) Status Windenergie op land in Nederland. Utrecht, 27 november 2006)
- Vlies, Jaap van der et al. (2009) Toekomstverkenning Nederlandse Energiehuishouding. Delft, TNO Bouw en Ondergrond, TNO-034-DTM-2009-03587.
- World Wildlife Fund (2011) The Energy Report. 100% renewable energy by 2050. WWF International in collaboration with Ecofys and OMA.
- Zero Emissions Platform (2012) CO₂ Capture and Storage (CCS). Creating a secure environment for investment in Europe. Draft report March 2012.

Bij hoofdstuk 3:

CBP/MNP (2006) Welvaart en Leefomgeving. Hoofdstuk: Energie.

http://www.welvaartenleefomgeving.nl/pdf_files/A06_Energie.pdf

CE Delft (2007) Green4sure: Het Groene Energieplan. CE Delft, Delft 2007.

Hoofdrapport:

http://www.green4sure.nl/3189_defhoofdrapportFR_op%20scherm.pdf

Achtergrondrapport:

http://www.green4sure.nl/3189_achtergrondrapportdef_scherm.pdf

EC, 2011, Impact Assessment, Accompanying the document Energy Roadmap 2050, part 1/2, 15-12-2011, COM(2011) 885 final, Brussels.

http://ec.europa.eu/energy/energy2020/roadmap/doc/roadmap2050_ia_20120430_en.pdf

EC, 2011, Impact Assessment, Accompanying the document Energy Roadmap 2050, part 2/2, 15-12-2011, COM(2011) 885 final, Brussels.

http://ec.europa.eu/energy/energy2020/roadmap/doc/sec_2011_1565_part2.pdf

EC, 2011, Energy Roadmap 2050, 15-12-2011, COM(2011) 885 final, Brussels.

http://ec.europa.eu/energy/energy2020/roadmap/doc/com_2011_8852_en.pdf

ECN (2010) Referentieraming Energie en Emissies 2010-2020. ECN, Petten 2010.

<http://www.rivm.nl/bibliotheek/digitaaldepot/E10004.pdf>

ECN (2010) Actualisatie Optiedocument 2010. ECN, Petten 2010.

<http://www.ecn.nl/docs/library/report/2011/e11023.pdf>

Ecorys (2010) Versterking van de Nederlandse duurzame energiesector. Ecorys, Rotterdam 2010. In opdracht van Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie.

http://www.ecorys.nl/contents/uploads/factsheets/85_1.pdf

European Climate Foundation (2011) Roadmap 2050: A Practical Guide to A Low-Carbon, Prosperous Europe. Technical Analysis.

http://www.roadmap2050.eu/attachments/files/Volume1_fullreport_PressPack.pdf

Greenpeace (2005) Energy Revolution: A Sustainable Pathway to a Clean Energy Future For Europe.

<http://www.greenpeace.org/international/Global/international/planet-2/report/2005/10/energy-revolution-a-sustainab.pdf>

Greenpeace (2006) Energy Revolution: A Sustainable Pathway to a Clean Energy Future For The Netherlands.

<http://www.laka.org/docu/boeken/pdf/6-01-2-16-52.pdf>

KIVI NIRIA / TU Delft (2010) De energievoorziening van Nederland Vandaag (en morgen?). Uitgave ter gelegenheid van het jaarcongres van KIVI NIRIA 'Duurzaam omgaan met energie'. KIVI NIRIA, Delft 2010.

http://tudelft.nl/fileadmin/UD/MenC/Support/Internet/TU%20Website/TU%20Delft/Images/Onderzoek/DRI_Energy/Boekje_Energievoorziening_van_Nederland_-_A4_versie.pdf

PBL (2011) Naar een schone economie in 2050: routes verkend. Hoe Nederland klimaatneutraal kan worden. PBL, Bilthoven 2011.

<http://www.ecnannualreport.nl/downloads/Rapport-naareenschoneeconomie.pdf>

Roland Berger (2010) Stimulering van de economische potentie van hernieuwbare energie voor Nederland. In opdracht van Ministerie van Economische Zaken.

<http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/rapporten/2010/07/21/rapport-roland-berger-stimulering-van-de-economische-potentie-van-duurzame-energie-voor-nederland.html>

SEO (2010) Investeren in een Schone Toekomst: De Kosten en Baten van een Duurzame Energiehuishouding in Nederland. SEO, Amsterdam 2010.

http://www.seo.nl/uploads/media/2010-40_Investeren_in_een_schone_toekomst.pdf

The Brattle Group (2010) Economic Impact of the Gas Hub Strategy on The Netherlands. The Brattle Group, London 2010.

<http://www.brattle.com/documents/UploadLibrary/Upload899.pdf>

Bij hoofdstuk 4:

Brundtland, G. H / World Commission on Environment and Development (1987). Our common future. Oxford University Press USA.

Elkington, J. (1997). Cannibals with forks: the triple bottom line of 21st century business. Capstone Publishing Oxford.

Goedkoop, M. et al. (2009). ReCiPe 2008, A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. First edition. Report I: Characterisation

IEA (2008). Energy Technology Analysis: CO₂ capture and storage, a key carbon abatement option.

ISO (2010). ISO 26000 guidelines for social responsibility.

UNEP (2009). Guidelines for the social life cycle assessment of products.

Bij hoofdstuk 6:

Bunzeck, I.G., Saidi, M.A.R., 2010. Opportunities for export of Dutch sustainable energy technologies: Possible impacts of an international climate agreement. ECN, Petten (rapport nr. ECN-E—10-046).

IEA, 2012. Energy technology perspectives 2012: Pathways to a clean energy system. International Energy Agency, Paris.

Lako, P., Beurskens, L.W.M., 2010. Socio-economic indicators of renewable energy in 2009: Update of data of turnover and employment of renewable energy companies in the Netherlands. ECN, Petten (rapport nr. ECN-E—10-089).

Bijlage B: Gesprekspartners bij consultatieronde

Tijdens een consultatieronde zijn de voorlopige resultaten van deze studie voorgelegd aan experts van TNO, ECN en het Copernicus Instituut en aan de volgende sleutelpersonen in de sector.

Dhr. W. Ackermans Directeur Strategie, Eneco

Mw. P. Agterberg Directeur Strategie Alliander

Dhr. H. Alders Bestuursvoorzitter EnergieNed

Dhr. M. Boersma Voorzitter topteam Energie

Dhr. H. van Breen Strateeg Alliander

Dhr. D. Dijk Senior Manager Sustainable Energy & Climate, Rabobank

Dhr. J. de Haas Bestuursvoorzitter Eneco

Dhr. G.J. Lankhorst Chief Executive Officer GasTerra

Dhr. P. Molengraaf Directievoorzitter Alliander

Dhr. F. Pentinga CEO & President Amtech Group en lid topteam Energie

Dhr. G. Schotman Chief Technology Officer Shell

Bijlage C: Globale uitwerking voor biobrandstoffen en wind op zee

Hoofdstuk 6 geeft een aanzet tot een systematische verkenning van energie-opties om na te gaan in hoeverre hun ontwikkeling en implementatie in de komende decennia substantiële marktkansen biedt voor Nederlandse bedrijven op de internationale markt. Daarbij wordt een methodiek gebruikt waarmee onderzocht kan worden in welke (energie-gerelateerde) sectoren Nederland momenteel sterk is en welke bedrijvigheid (fossiel en duurzaam) in de toekomst goede economische kansen in het buitenland heeft. In deze bijlage de resultaten bij toepassing van de methodiek op twee hernieuwbare energie-opties: biobrandstoffen en wind op zee.

a. Selectie van geschikte technologieën

Bij deze show case zijn de technologieën die in de ETP scenario's van de IEA worden gebruikt het startpunt voor de selectie van geschikte technologieën (IEA, 2012). De tabellen C1 en C2 laten een overzicht zien van de beschouwde technologieën, welke geschikt zijn en of informatie beschikbaar is uit de technologieroadmap van het IEA (IEA, 2012) en industriescans door ECN (Lako & Beurskens, 2010). Tabel C1 bevat alle technologieën met betrekking op energie productie, -transport en -gebruik. Tabel C2 geeft een overzicht van alle vloeibare brandstofopties.

Tabel C1 Technologieën voor energieproductie en gebruik (Bron: Bunzeck & Saidi, 2010 en eigen analyse).

Type	Subtype	Geschikt	IEA technology roadmap beschikbaar	Gegevens Nederlandse industrie beschikbaar
Aardgas		Ja		
Biomassa en afval		Ja	Bio energie	Ja
CCS		Ja	Ja	
Energiebesparing	Elektriciteit en warmte	Ja	Warmte	
Geothermisch	Inclusief warmtepompen	Nee	Ja	Ja
Kernenergie		Nee	Ja	
Kolen				
Olie				
Smart grids		Ja	Ja	
Voertuigen	BEV en HFCV	Nee		
Waterkracht		Nee		Ja
Wind	Op land en op zee	Op zee	Ja	Ja
Zon PV	Daksystemen en centrales	Ja	Ja	Ja
Zon thermisch	CSP en huishoudelijk	Nee	Ja	Huishoudelijk

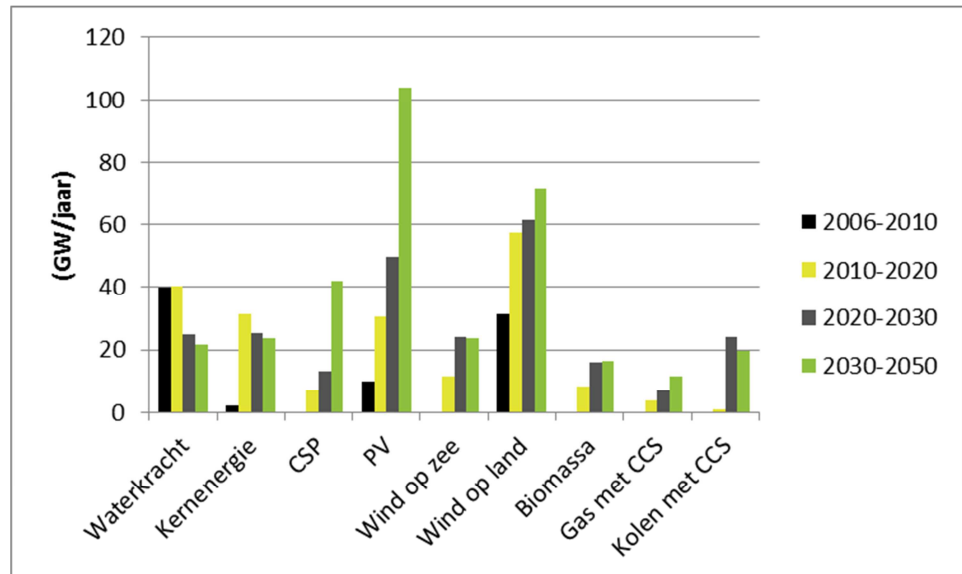
Tabel C2 Brandstoffen (Bron: Bunzeck & Saidi, 2010 en eigen analyse).

Type	Subtype	Geschikt	IEA technology roadmap beschikbaar	Gegevens Nederlandse industrie beschikbaar
Benzine				
Biobrandstoffen	Biodiesel, bioethanol, bio-SNG en BTL	Ja	Ja	Ja
CTL				
Diesel				
GTL				
LPG				
Vliegtuigbrandstoffen				
Zware brandstofolie				

b. Analyse van toekomstige marktpotentiëlen

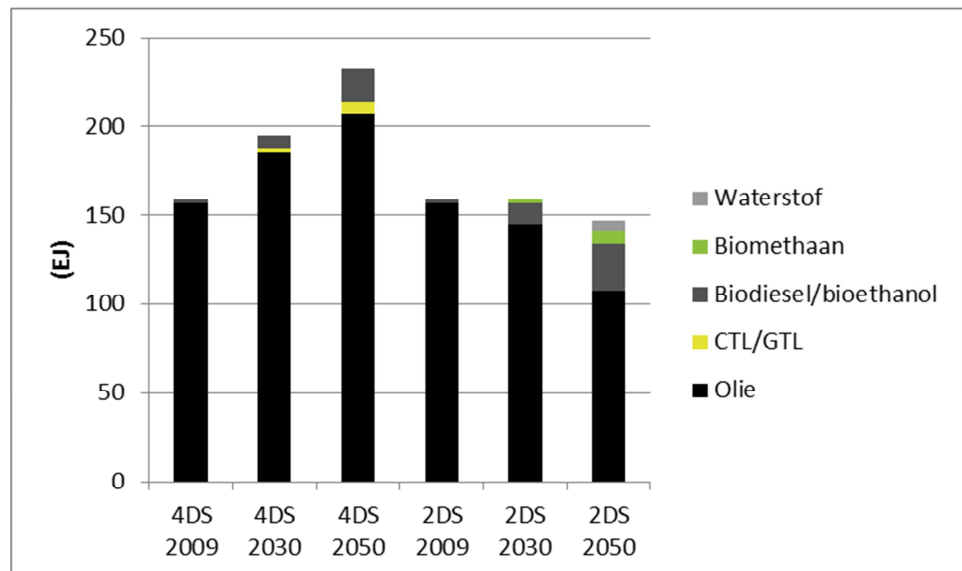
De ETP 2012 vermeldt per technologie wat de benodigde jaarlijkse mondiale capaciteitsopbouw is om het 2DS scenario te realiseren. Deze cijfers staan voor een aantal technologieën over de periode tot 2050 weergegeven in Figuur C-1. De marktgroei voor waterkrachtcapaciteit zal naar verwachting afnemen. Na een korte opleving geldt hetzelfde voor kernenergie- en kolencentrales met CCS. Alle drie deze markten bieden minder groeiperspectief, zeker op lange termijn. Kanttekening daarbij is dat een aantal subtechnologieën nog erg vroeg in hun ontwikkeling staan en het niet duidelijk is wat het potentieel is. Waterkracht uit getijdewerking is een voorbeeld van zo'n subtechnologie.

De markten voor Concentrated solar power (CSP), PV, windenergie, biomassa en gas met CCS laten naar verwachting ook op langere termijn een voortdurende groei in jaarlijkse afzet zien. Deze markten bieden op het eerste gezicht dus beter perspectief. Voor de groeimarkten biobrandstoffen en wind op zee analyseren we hieronder het Nederlandse bedrijfsleven. Bij deze analyse identificeren we kansrijke submarkten die goed aansluiten bij de huidige sterktes van Nederlandse bedrijven. We gaan er in deze analyse van uit dat deze markten ook goed toegankelijk voor ze zijn.

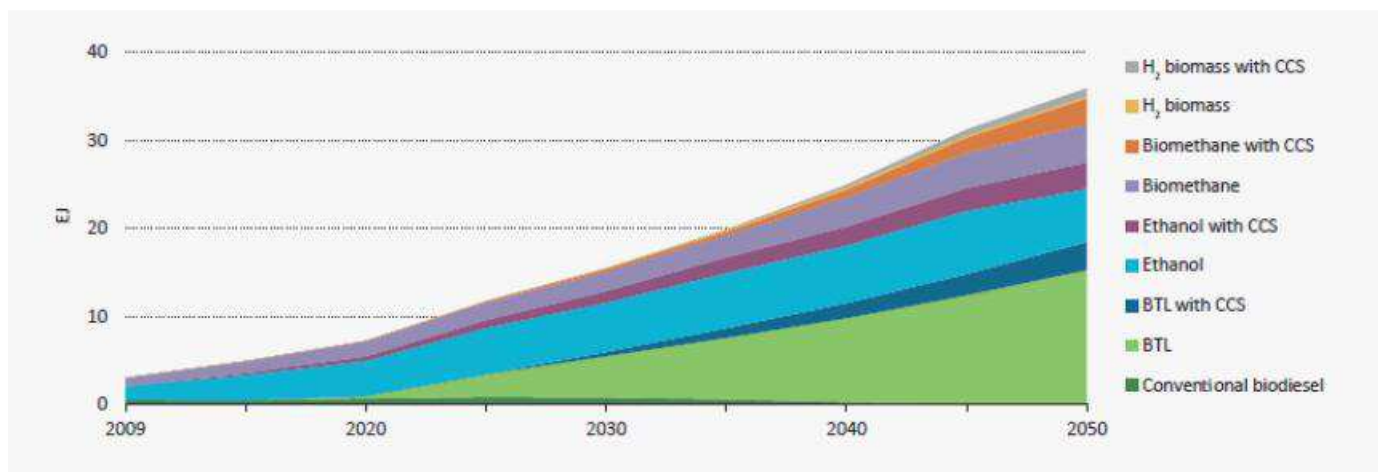


Figuur C-1 Benodigde gemiddelde jaarlijkse mondiale capaciteitsopbouw per technologie (Bron: 2DS scenario, IEA, 2012).

Figuur C-2 laat twee beelden uit de ETP 2012 zien over de marktomvang voor verschillende vloeibare brandstoffen: zowel het ambitieuze 2DS als het minder ambitieuze 4DS scenario. Zowel in 4DS als in 2DS scenario is er groei in de biobrandstofoptie biodiesel/bio ethanol. Groei in deze biobrandstofopties lijkt daarom robuust onder verschillende ambitieniveaus van mondiaal beleid. Olie blijft dominante vloeibare brandstof tot 2050, CTL en GTL spelen (vrijwel) geen rol. Bio methaan en waterstof komen alleen op in het 2DS scenario.



Figuur C-2 vloeibare brandstofaanbod (Bron: 2DS en 4DS scenario, IEA, 2012).



Figuur C-3 Brandstofproductie (incl. waterstof en biomethaan) uit biomassa per technologie (Bron: 2DS scenario, IEA, 2012).

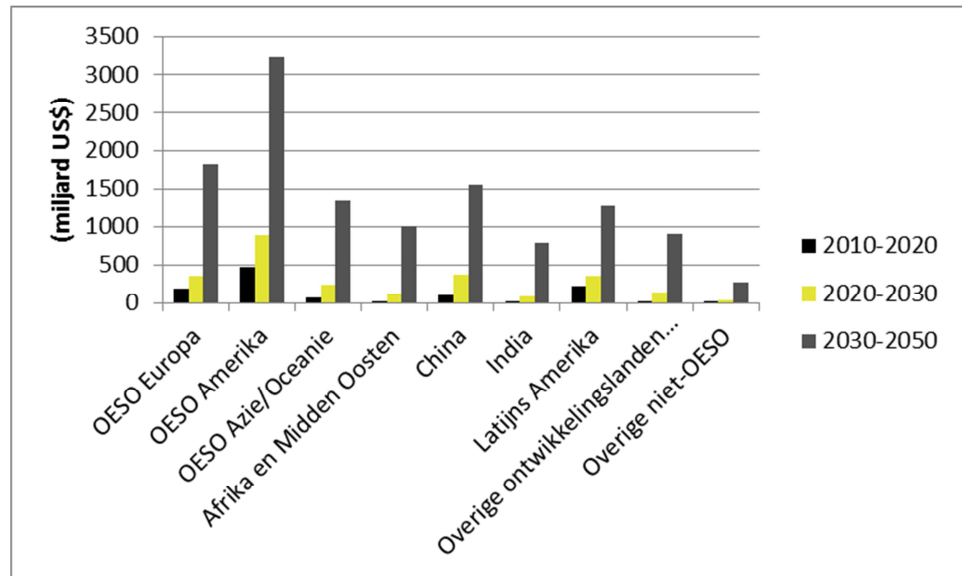
Inzoomend op de verwachtingen rond de productietechnologieën voor biobrandstoffen in Figuur C-3 is te zien dat de groei in brandstofproductie op langere termijn voornamelijk in Biomass-to-Liquid (BTL) technologie zit. Op korte en lange termijn is ook een significant marktaandeel weggelegd voor ethanol.

c. Biobrandstoffen

Door een gunstige ligging en de bestaande havencapaciteit, heeft Nederland inmiddels een sterke marktpositie op de markt voor 1^e generatie biobrandstoffen opgebouwd. Rotterdam biedt uitstekende blending mogelijkheden door de nabijheid van de olieraffinagesector. De huidige situatie biedt een goed uitgangspunt voor de verdere (markt)ontwikkeling van 2^e generatie biobrandstoffen. Deze brandstoffen worden in toekomstige (bio)raffinaderijen geproduceerd en vinden vervolgens een toepassing bij diverse typen eindgebruik⁷. De grootschalige productie van biobrandstoffen zal door de in Nederland beperkte beschikbaarheid van landbouwgrond, op een bepaald moment afhankelijk worden van de import van biomassa. Daarnaast zijn er exportkansen in de constructie en onderhoud van geavanceerde procesttechnologie zoals Fischer-Tropsch en biomass-to-liquid (BTL) processen.

Figuur C-4 geeft een mondiaal overzicht van de benodigde regionale omzet in biobrandstoffen over de periode tot 2050 om het 2DS scenario te realiseren. Voor alle regio's is er een continue groei in de omzet te zien, d.w.z. om het 2DS scenario te realiseren is een continue groei in het gebruik van biobrandstoffen nodig.

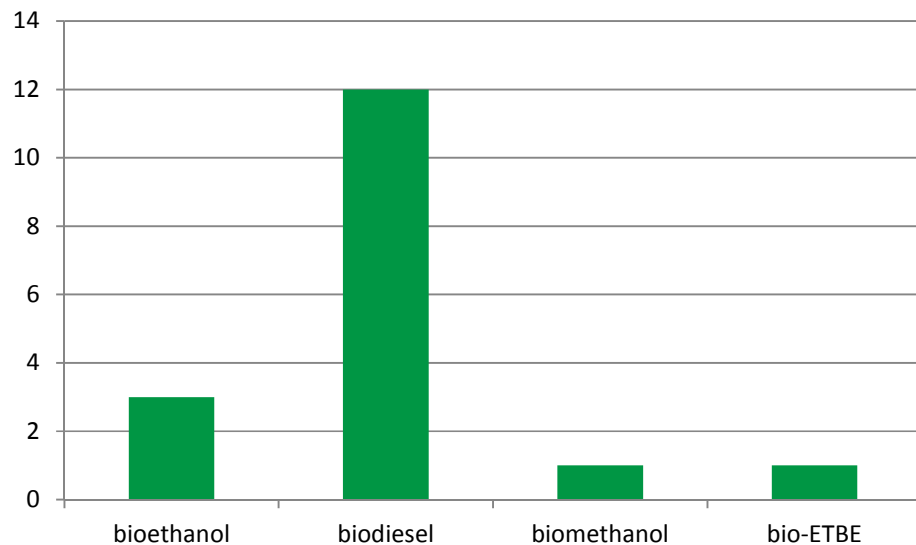
⁷ Andere vormen van eindgebruik, behalve als biobrandstof worden in dit rapport niet meegenomen.



Figuur C-4 Benodigde regionale omzet biobrandstoffen (Bron: 2DS scenario, IEA, 2012).

i. Analyse huidige Nederlandse industrie

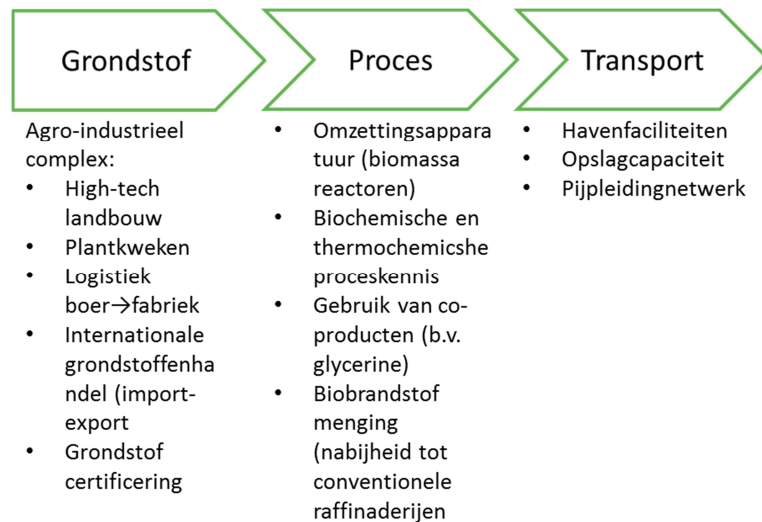
Figuur C-5 geeft het aantal Nederlandse bedrijven dat in subsectoren voor biobrandstoffen actief is. Deze informatie is gebaseerd op de beschrijving van bedrijven uit de EurObserv'ER studie (Lako & Beurskens, 2010). Nederlandse bedrijven en kennisinstellingen zijn voornamelijk sterk in productieprocessen voor biobrandstoffen.



Figuur C-5 Aantal Nederlandse bedrijven actief in subsectoren biobrandstoffen.

ii. Technologie differentiatie en toekomstige ontwikkelingen

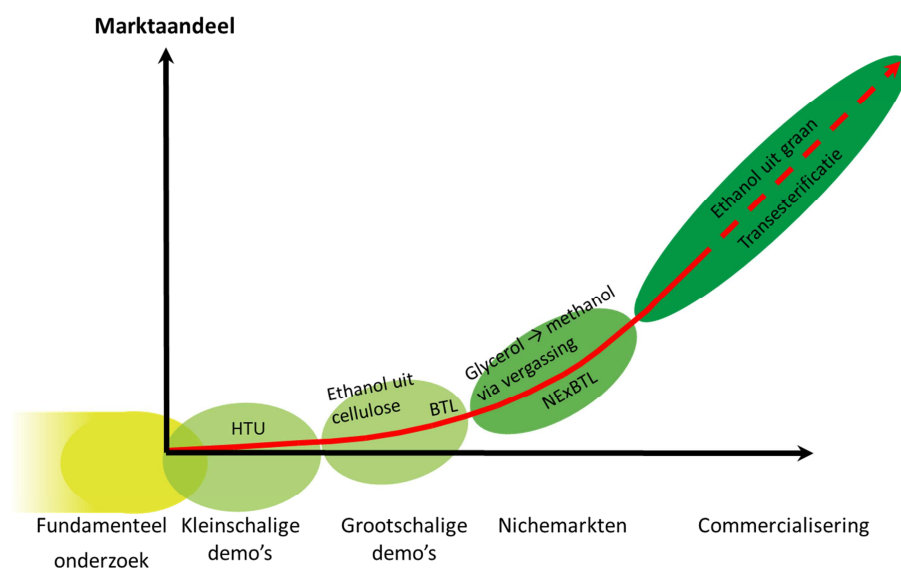
De waardeketen voor biobrandstoffen (Figuur C-6) bestaat uit drie onderdelen: grondstoffen, productieproces en transport (zowel van grondstoffen, als van het eindproduct). Nederlandse bedrijven zijn in al deze schakels vertegenwoordigd. Voor alle schakels zijn er raakvlakken met traditioneel sterke sectoren buiten de energiesector zoals de agro-, chemie- en logistieke sector.



Figuur C-6 Waardeketen voor biobrandstoffen (Bron: Bunzeck & Saidi, 2010).

In Figuur C-7 staan de technologieën die door Nederlandse bedrijven worden toegepast, uitgezet op een S-curve. Hierbij zijn de technologieën ingedeeld naar het ontwikkelingsstadium waarin ze zich nu bevinden. De genoemde technologieën staan beschreven in Tabel C3. Momenteel worden gevestigde technologieën als transesterificatie en ethanolproductie uit graan gebruikt om aan de huidige vraag naar biobrandstoffen te voldoen.

Daarnaast werken Nederlandse bedrijven en kennisinstellingen aan de ontwikkeling van nieuwe technologieën zoals BTL, bijbehorende vergassingsprocessen en 2^e generatie ethanol (uit cellulose). Deze technologieën bevinden zich momenteel in de demonstratiefase, maar hebben naar verwachting op termijn het grootste groeipotentieel. Voorwaarde daarbij is dat deze technologieën de resterende ontwikkelingsfasen goed doorlopen en het tot commercialisering halen.



Figuur C-7 S-curve biobrandstof technologieën waarin Nederlandse bedrijven actief zijn.

Technologieën waarbij uit glycerol via een vergassingsproces methanol wordt geproduceerd en de NExBTL technologie bevinden zich in de nichemarktfase. In deze fase is de marktpositie wat minder onzeker en begint een technologie het marktpotentieel in te vullen. De technologie voor bio-ETBE (benzine additief) is hier niet opgenomen. De verwachte groei in de markt voor dit product wordt gelimiteerd door de beperkte beschikbaarheid van de daarvoor benodigde fossiele grondstof.

Tabel C3. Technologiebeschrijvingen S-curve biobrandstoffen

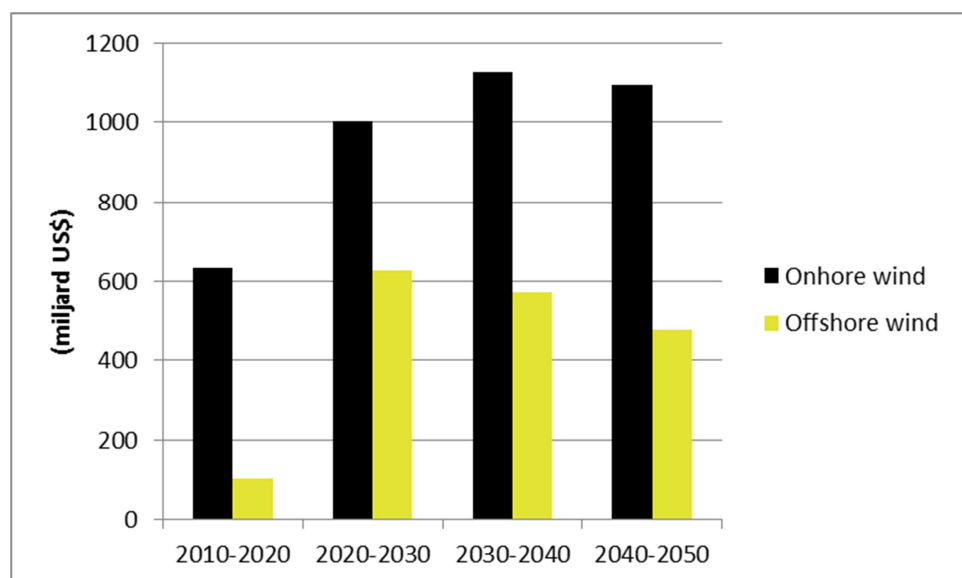
Technologie	Brandstof	Ontwikkelingsfase	Omschrijving
HTU	Biodiesel	Kleinschalige demonstratie	Hydro Thermal Upgrading: productieproces voor biodiesel uit natte biomassa en organisch afval.
Ethanol uit cellulose	Bioethanol	Grootschalige demonstratie	Productieproces voor 2e generatie bio-ethanol.
BTL	Alle biobrandstoffen	Grootschalige demonstratie	Biomass To Liquid: combinatie van vergassingsproces met Fischer-Tropsch proces om uit diverse biomassa stromen biobrandstof te produceren.
NExBTL	Biodiesel	Nichemarkten	BTL proces waarbij uit plantaardige olie biodiesel wordt geproduceerd.
Ethanol uit glycerol	Bioethanol	Nichemarkten	Productieproces om uit glycerol (reststroom uit transesterificatie) ethanol te produceren.
Ethanol uit graan	Bioethanol	Commercieel	Conventionele technologie om 1 ^e generatie bioethanol te produceren.
Transesterificatie	Biodiesel	Commercieel	Conventionele technologie om uit plantaardige en dierlijke oliën en vetten biodiesel te produceren.

Toekomstige verwachtingen en aannames

2e generatie biobrandstof procestechnologie, zoals ethanol uit cellulose en biodiesel uit BTL, zullen in de komende tien jaar van demonstratie naar first of a kind commerciële productie-installaties moeten ontwikkelen (IEA, 2012) om het marktpotentieel zoals berekend onder het 2DS scenario op tijd in te kunnen vullen. Dit vergt investeringen in RD&D en uitrol. De eerste demonstratie-installaties voor deze technologieën worden momenteel in Europa en Noord Amerika gebouwd. Aandachtspunt bij de huidige ontwikkelingsactiviteiten is dat men bij het ontwerp van latere commerciële installaties rekening zal moeten met de balans tussen de omvang van de installatie en de kosten van de logistiek en grondstoffen. Dit varieert per geografisch gebied.

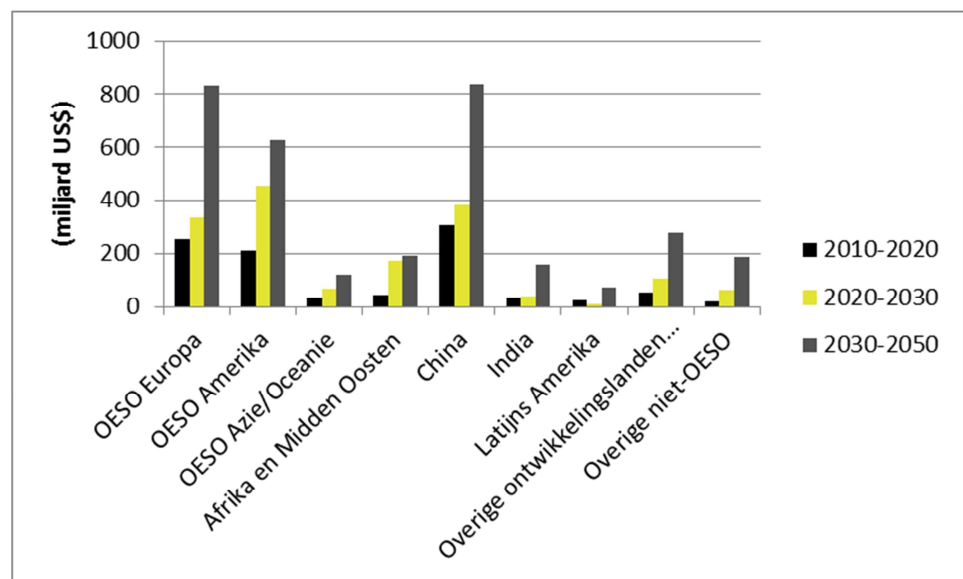
d. Windenergie op zee

Nederlandse bedrijven zijn goed gepositioneerd in gespecialiseerde toepassingen voor wind op zee, zoals alle facetten van de constructie van offshore windparken en de aansluiting op de elektriciteitsvoorziening op land. Daarnaast zijn er ook een aantal producenten actief in de productie en ontwerp van turbines en turbine-onderdelen, speciaal voor offshore toepassing (bijvoorbeeld direct drive concepten). Daarnaast heeft Nederland de beschikking over diepe havencapaciteit die als thuisbasis kan dienen voor de constructie van windparken op de Noordzee. De offshore windindustrie is daardoor een sterk ontwikkelde sector voor Nederland. De Nederlandse windturbine industrie bestaat uit een aantal nichebedrijven die slechts een klein deel van de waardeketen in nemen. Mondiaal is de markt voor onshore windturbines goed ontwikkeld en wordt gedomineerd door een aantal grote spelers uit Denemarken, Duitsland en de Verenigde Staten. Deze spelers zullen naar verwachting ook een grote rol gaan spelen op de markt voor offshore windturbines.



Figuur C-8 Benodigde mondiale investeringen in windenergie (Bron: 2DS scenario, IEA, 2012).

Om het 2DS scenario te realiseren moeten de mondiale investeringen in wind op zee aanvankelijk sterk stijgen en nemen ze vanaf 2030 geleidelijk af. Dit staat weergegeven in Figuur C-8. Hoewel op mondiaal niveau de investeringen in wind op zee afnemen, is deze trend op regionaal niveau niet overal te zien. Ten eerste zijn er sterke regionale verschillen in de uitrol van wind op zee. Daarnaast is de daling na 2030 geen algemene trend. In de regio's Europa, Noord Amerika en China is een continue stijging in de investeringsniveaus te zien, ook tussen 2030 en 2050 (Figuur C-9). Ook na 2050 is de verwachting dat de investeringen door verdere groei en vervanging substantieel zullen blijven.

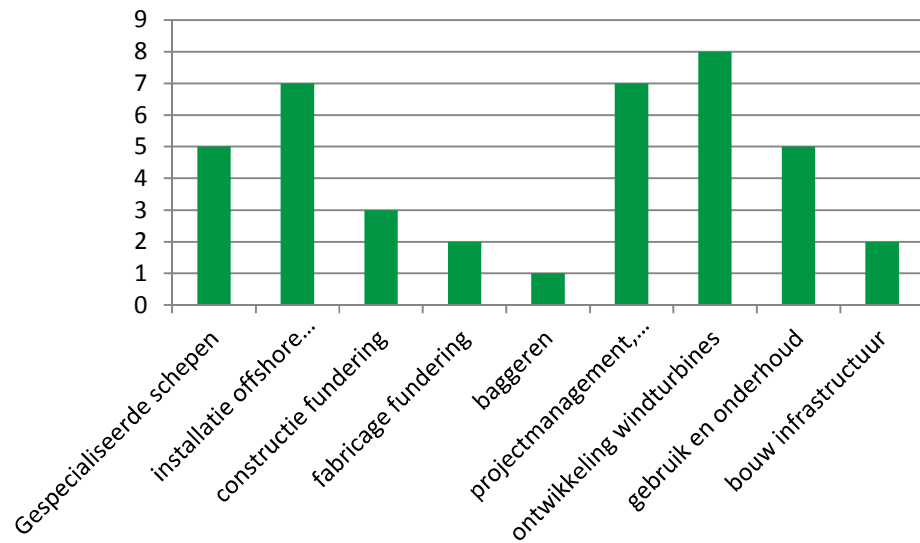


Figuur C-9 Regionale investeringsniveaus wind op land en wind op zee gecombineerd (Bron: 2DS scenario, IEA, 2012).

i. Analyse huidige Nederlandse industrie

Figuur C-10 geeft het aantal Nederlandse bedrijven dat in subsectoren onder wind op zee actief is. Deze informatie is gebaseerd op beschrijvingen van bedrijven uit de EurObserv'ER studie (Lako & Beurskens, 2010).

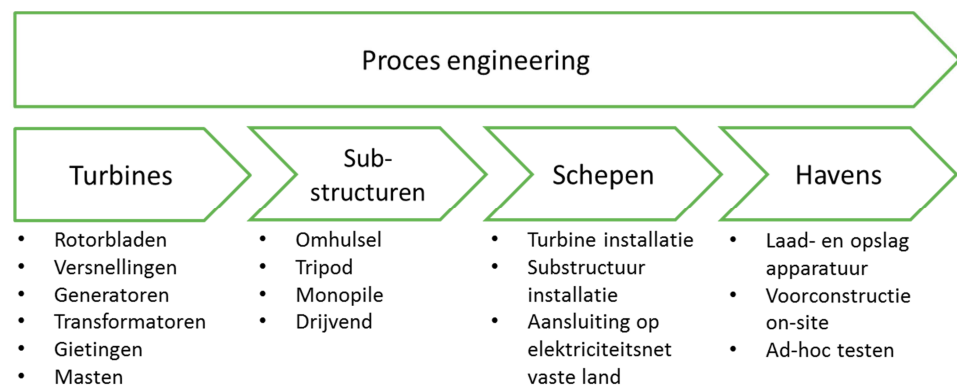
Activiteiten in de voorbereiding, constructie en bouw van windparken op zee, inclusief infrastructuur zijn sterk vertegenwoordigd. Daarnaast zijn er ook activiteit in ontwikkeling van windturbines, voornamelijk op componentniveau. Er is ook een significante bijdrage op het gebied van onderhoud en gebruik van offshore windparken.



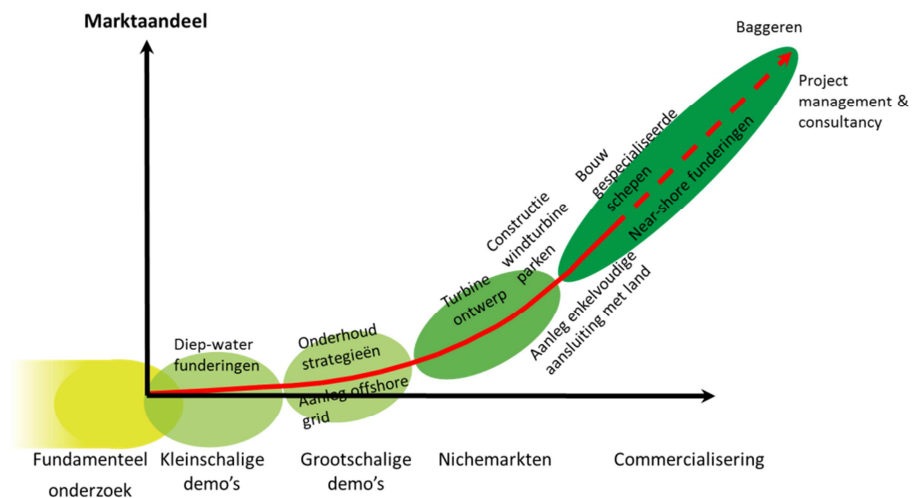
Figuur C-10 Aantal Nederlandse bedrijven actief in subsectoren wind op zee

ii. Technologie differentiatie en toekomstige ontwikkelingen

De waardeketen voor wind op zee (Figuur C-11) bestaat uit vier onderdelen: turbines, substructuren, schepen en havens. Nederlandse bedrijven zijn in alle schakels vertegenwoordigd, echter in de schakel turbines is de vertegenwoordiging zwak. Voor een aantal onderdelen van de schakels geldt dat er sterke raakvlakken zijn met sectoren buiten de energiesector, zoals consultancy, havenactiviteiten, civiele techniek en gespecialiseerde scheepsbouw.



Figuur C-11 Waardeketen windenergie op zee (Bron: Bunzeck & Saidi, 2010).



Figuur C-12 S-curve wind op zee activiteiten van Nederlandse bedrijven.

In Figuur C-12 staan de activiteiten van Nederlandse bedrijven uitgezet op een S-curve. Hierbij zijn de activiteiten ingedeeld naar het ontwikkelingsstadium waarin ze zich bevinden. Een verdere toelichting is te vinden in Tabel C4.

Baggeren, projectmanagement, consultancy & financiering en de bouw van gespecialiseerde schepen zijn volledig gecommmercialiseerde, sector overstijgende activiteiten waarin Nederland een sterke positie heeft. Nederlandse bedrijven zijn ook sterk in activiteiten op het gebied van near-shore funderingen, maar deze activiteit is niet sector overstijgend. De integratie van actoren in de keten voor de constructie van windturbineparken is nog niet uitontwikkeld, maar deze activiteit is daarmee vrijwel commercieel. Dat geldt ook voor de aanleg van enkelvoudige netaansluitingen met land waar verdere uitrol en leerprocessen de technologie verder naar commercialisering drijven. Voor beide technologieën geldt dat ze vlak voor de versnellingsfase van hun uitrol zijn aangekomen.

Hoewel in Nederland maar een klein deel van de waardeketen voor de bouw van turbines wordt gerealiseerd (en daarom hier niet opgenomen) is het turbineontwerp wel een substantiële activiteit die in een nichefase verkeerd. Onderhoudstrategieën, de aanleg van offshore netwerken (meerder parken op een kabel) en diep water funderingen zitten nog in een demonstratiefase. Voor deze technologieën geldt dat het marktpotentieel nog nauwelijks ingevuld wordt.

Tabel C4. Technologiebeschrijvingen S-curve wind op zee

Technologie	Activiteit	Ontwikkelingsfase	Omschrijving
Gespecialiseerde schepen	Bouw gespecialiseerde schepen	commercialisering	
Constructie en installatie windturbines en transformatorstations	Constructie windturbineparken	Nichemarkt/commercialisering	Samenwerking tussen actoren nog in ontwikkeling
Fabricage en constructie funderingen	Near shore funderingen	Commercialisering	Voor funderingen is er geen duidelijke technologische richting, meer verschillende concurrerende technologieën die voor bepaalde situaties een eigen meerwaarde hebben.
	Diep water funderingen	Kleinschalige demonstratie	
Baggeren	Baggeren	Post commercieel	
Projectmanagement, consultancy en financiering	Projectmanagement, consultancy en financiering	Post commercieel	
Ontwikkeling windturbines	Turbine ontwerp	Nichemarkt	
Gebruik en onderhoud	Onderhoud strategieën	Grootschalige demonstratie	
Aanleg infrastructuur	Offshore grid	Grootschalige demonstratie	
	Enkelvoudige aansluiting	Nichemarkt/commercialisering	

Toekomstige verwachtingen en aannames

Naar verwachting zal er op technologisch gebied de komende tien jaar behoefte zijn aan de ontwikkeling van lichter en sterker materiaal voor rotoren. Er verbeteringen plaats moeten vinden die de kosten van de funderingen tot 40 m diep verlagen. Ook de logistiek en de installatiestrategieën van windparken op zee zullen zich verder moeten ontwikkelen. (IEA, 2012). Het is voor Nederlandse bedrijven belangrijk aan te sluiten bij deze verwachtingen om hun positie op de constructiemarkt te behouden en verder uit te breiden. Na 2020 wordt een ontwikkeling van nieuwe generatie offshore turbines en funderingen voor dieper water verwacht (IEA, 2012). Naar verwachting ligt voor de Nederlandse offshore windsector hier de beste kansen op het gebied van de funderingen en constructie in diep water. Offshore wind zal voornamelijk in zogenaamde Annex I landen plaats vinden.