

KLIMAATNEUTRALE ENERGIEDRAGERS IN DE GEBOUWDE OMGEVING

Naar een actieplan

H. Jeeninga, ECN
J. Jelsma, ECN
J.C.P. Kester, ECN
H. Burger, ECN
R. de Wildt, Rigo
M. Damen, Rigo



Verantwoording

Dit onderzoek is door ECN Beleidsstudies, ECN Deigo en Rigo Research en Advies BV uitgevoerd in opdracht van VROM DGW, contactpersoon dhr. J. Verlinden. Het onderzoek staat bij ECN geregistreerd onder projectnummer 7.7465.

Abstract

On behalf of the Dutch Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, Directorate General for Housing (VROM DGW), the Energy research Centre of the Netherlands (ECN) and Rigo have carried out a study in order to determine the potential contribution of clean fossil fuels in the transition towards a sustainable energy supply system for the domestic and service sector. It is concluded that clean fossil fuels have a large potential for reducing the total greenhouse gas emissions in the domestic and service sector. However, some major uncertainties exist which have to be eliminated in the near future. Key technology in the production of clean fossil fuels is the use of CO₂ sequestration and storage. This technique has not been demonstrated in the Netherlands yet. A policy action plan has been developed, in which the crucial steps are described that have to be taken in the period up tot 2010 in order to be able to accomplish the desired transition toward a sustainable energy supply system for 2030.

INHOUD

LIJST VAN TABELLEN	5
LIJST VAN FIGUREN	5
SAMENVATTING	7
1. INLEIDING	11
2. OPZET VAN HET ONDERZOEK	13
2.1 Toepassing transitietheorie	13
2.2 Aanpak voor de ontwikkeling van eindbeelden	15
2.2.1 Eindbeelden in eerdere studies	15
2.2.2 Ontwikkeling van eindbeelden voor deze studie	16
2.3 Transitie management	18
2.4 Beoordelingscriteria voor de verschillende transitiepaden	19
2.5 Kenmerken voor robuustheid	19
3. ONTWIKKELING CO ₂ -EMISSIES EN EMISSIEREDUCTIEDOELSTELLING	21
3.1 Inleiding	21
3.2 Uitgangspunten NMP-4 en Evaluatie Nota Klimaatbeleid	21
3.3 Bepaling beleidsopgave reductie broeikasgassen	22
3.4 Directe en indirecte CO ₂ -emissies	25
3.5 Ontwikkeling CO ₂ -emissie tot 2030 in de Gebouwde Omgeving	26
3.5.1 CO ₂ -emissie in 1990 en 2000	26
3.5.2 Temperatuurgecorrigeerde vs. niet temperatuurgecorrigeerde ontwikkeling	27
3.5.3 Ontwikkeling CO ₂ -emissies in 2010	27
3.5.4 Ontwikkeling van het aandeel groene stroom	28
3.5.5 Prognose van de CO ₂ -emissie in 2020 en 2030.	29
3.6 Reductiedoelstelling Gebouwde Omgeving	30
3.7 Samenvattend	33
4. KENMERKEN VAN DE GEBOUWDE OMGEVING	34
4.1 Ontwikkelingen in de Gebouwde Omgeving	34
4.2 Kenmerken en invloed van actoren	37
4.2.1 Actoren in de Gebouwde Omgeving	37
4.2.2 Actoren op afstand	38
4.3 Huidige en toekomstige beleidsinstrumenten	39
4.4 Segmentering van de Gebouwde Omgeving	41
5. TECHNISCHE CONCEPTEN VOOR DE GEBOUWDE OMGEVING	43
5.1 Inleiding	43
5.2 Klimaatneutrale energiedragers	44
5.3 Klimaatneutrale waterstof	45
5.3.1 Technische beschrijving	45
5.3.2 Technische robuustheid	47
5.3.3 Kosten	48
5.4 Klimaatneutrale warmte	48
5.4.1 Technische beschrijving	48
5.4.2 Technische robuustheid	50
5.4.3 Kosten	50
5.5 Klimaatneutrale elektriciteit	51
5.5.1 Technische beschrijving	51
5.5.2 Technische robuustheid	52
5.5.3 Kosten	52
5.6 Synthesegas	53
5.6.1 Technische beschrijving	53

5.6.2	Technische robuustheid	54
5.6.3	Kosten	54
5.7	Synthetisch ‘aardgas’	55
5.7.1	Technische beschrijving	55
5.7.2	Technische robuustheid	56
5.7.3	Kosten	56
5.8	CO ₂ -afvang en energie-efficiëntie	56
5.9	Het potentieel voor productie en inzet van klimaatneutrale energiedragers	59
5.9.1	De verwachte situatie in 2030	59
5.9.2	Huidige situatie	62
5.10	Introductie van klimaatneutrale energiedragers per marktsegment.	63
5.10.1	Bestaande woningen met hoge dichtheid	63
5.10.2	Bestaande woningen met lage dichtheid	64
5.10.3	Bestaande Utiliteitsbouw	64
5.10.4	Nieuwbouw woningen met hoge dichtheid	65
5.10.5	Nieuwbouw woningen met lage dichtheid	66
5.10.6	Nieuwe utiliteitsbouw	66
6.	EINDBEELDEN EN TRANSITIEPADEN	67
6.1	De energievoorziening	67
6.2	De waterstof route	68
6.3	Klimaatneutrale elektriciteit	71
6.4	Synthesegas	72
6.5	Synthetisch ‘aardgas’ (SNG)	73
6.6	Klimaatneutrale warmte	74
6.7	Gecombineerde eindbeelden/paden	74
6.8	Robuustheid	75
6.8.1	Stagnerende transitie met mogelijkheid tot CO ₂ -opslag	75
6.8.2	Naar een duurzame energievoorziening zonder mogelijkheid tot CO ₂ -opslag	76
7.	NAAR EEN ACTIEPLAN	78
7.1	De transitie naar een duurzame energievoorziening	78
7.1.1	Acceptatie en veranderingsprocessen	78
7.1.2	Effecten van diversiteit binnen de Gebouwde Omgeving	80
7.1.3	Synergie tussen de verschillende routes	81
7.2	Investerings en maatschappelijke kosten	82
7.3	Een actieplan voor 2010	83
8.	DISCUSSIE EN CONCLUSIE	85
8.1	Inleiding	85
8.2	Transitieroutes naar een duurzame energievoorziening	85
8.3	Transitiemanagement	87
8.4	Aandachtspunten, kansen en onzekerheden	88
8.5	Conclusie	89
	REFERENTIES	91
	BIJLAGE A TRANSITIEMANAGEMENT	93
A.1	Transitiemanagement	93
A.2	Strategic Niche Management	93
A.2.1	Algemene aangrijpingspunten	94
A.2.2	Specifieke aangrijpingspunten	94
A.3	Boundary mapping	95

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 2.1	<i>Overzicht van recente studies met eindbeelden voor de toekomstige Nederlandse energiehuishouding</i>	16
Tabel 3.1	<i>Invulling van de reductiedoelstelling voor CO₂ en overige broeikasgassen in 2010 en 2030, uitgaande van een reductiedoelstelling ten aanzien van alle broeikasgassen</i>	24
Tabel 3.2	<i>Invulling van de reductiedoelstelling voor CO₂ en overige broeikasgassen in 2030, uitgaande van een reductiedoelstelling ten aanzien van CO₂ voor 2030 in Nederland (conform NMP4)</i>	25
Tabel 3.3	<i>CO₂-emissies in de Gebouwde Omgeving in 1990</i>	26
Tabel 3.4	<i>CO₂-emissies in de Gebouwde Omgeving in 2000</i>	26
Tabel 3.5	<i>CO₂-emissies in de Gebouwde Omgeving in 2010 [Mton] (Ybema et al., 2002)</i>	28
Tabel 5.1	<i>Energievraag en CO₂-emissie en -reductie in 2030 voor verschillende energieketens uitgaande van een warmtevraag van 1 GJ_{th} en 0,5 GJ_e</i>	57
Tabel 5.2	<i>Energievraag en CO₂-emissie en -reductie in 2030 voor verschillende energieketens uitgaande van een warmtevraag van 1 GJ_{th} en 1,3 GJ_e</i>	58
Tabel 5.3	<i>Inschatting van het technisch potentieel in 2030 van de klimaatneutrale energiedragers per marktsegment (H = relatief hoog, M = gemiddeld, L = relatief laag)</i>	60
Tabel 5.4	<i>Huidige status van de verschillende energiedragers, qua klimaatneutrale productie en qua distributie per marktsegment in de Gebouwde Omgeving (T = grootschalige toepassing; E = praktijkexperimenten; L = laboratoriumexperimenten)</i>	62

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 2.1	<i>Schets van de systematiek van het onderzoek</i>	14
Figuur 2.2	<i>Schematische weergave van de verschillende elementen binnen de energievoorziening</i>	15
Figuur 3.1	<i>Schematische weergave van het beslissingstraject voor de bepaling van de additionele broeikasgasreductie</i>	22
Figuur 3.2	<i>Gerealiseerde en verwachte ontwikkeling van broeikasgasemissies (in Mton) in Nederland alsmede de verwachte additionele reductiedoelstelling van -40% voor alle broeikasgassen in 2030</i>	23
Figuur 3.3	<i>Ontwikkeling van het duurzame en fossiel opgewekte elektriciteitsverbruik [PJ_e] in de Gebouwde Omgeving.</i>	28
Figuur 3.4	<i>Ontwikkeling van de temperatuurgecorrigeerde CO₂-emissie in de Gebouwde Omgeving in de periode 1982 - 2000 en prognose van de temperatuurgecorrigeerde CO₂-emissie over de periode 2000 - 2030, inclusief het effect van de afname van groene stroom</i>	30
Figuur 5.1	<i>Schematische weergave van de relatie tussen de productiewijze van energieneutrale energiedragers en de ruimtelijke dimensie</i>	44
Figuur 5.2	<i>Energieketen voor klimaatneutrale waterstof</i>	45
Figuur 5.3	<i>Energieketen voor klimaatneutrale warmte</i>	48
Figuur 5.4	<i>Energieketen voor klimaatneutrale elektriciteit</i>	51
Figuur 5.5	<i>Energieketen voor klimaatneutraal synthesesegas</i>	53
Figuur 5.6	<i>Energieketen voor synthetisch aardgas</i>	55
Figuur 6.1	<i>Schematische weergave van de verschillende elementen in de keten van energieproductie naar energievraag ('consumptie - productie' keten)</i>	67

SAMENVATTING

In opdracht van VROM DGW is door het Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) en Rigo Research en Advies BV een onderzoek uitgevoerd naar de consequenties van een transitie naar een klimaatneutrale energievoorziening voor de Gebouwde Omgeving. Doel van het onderzoek is het verschaffen van inzicht over de noodzaak van (korte termijn) beleidsacties alsmede het identificeren van mogelijke strategische keuzes waar de overheid en/of marktpartijen voor kunnen komen te staan.

Het NMP4 noemt drie oplossingsrichtingen waarmee de beoogde reductiedoelstelling voor 2030 kan worden behaald, zijnde (1) vraagvermindering, (2) hernieuwbaar en (3) technologisch geavanceerd (klimaatneutraal). Dit onderzoek richt zich primair op de mogelijke bijdrage van klimaatneutrale energiedragers als route voor het behalen van een CO₂-reductiedoelstelling voor 2030. Voor de Gebouwde Omgeving zijn het potentieel alsmede de barrières voor de inzet van klimaatneutrale energiedragers geïdentificeerd. Via een actieplan voor 2010 is aangegeven, welke activiteiten ondernomen kunnen dan wel moeten worden om de transitie naar een klimaatneutrale energievoorziening mogelijk te maken.

Om de mogelijke bijdrage van klimaatneutrale energiedragers bij het behalen van een reductiedoelstelling voor de Gebouwde Omgeving te kunnen bepalen dient allereerst de beleidsopgave te worden vastgesteld. Deze beleidsuitgave volgt uit het gat tussen de verwachte uitstoot aan broeikasgassen in 2030 en de sectordoelstelling. Het bepalen van een eenduidige sectordoelstelling blijkt echter, vanwege onder meer de onzekerheden in reductiepotentiëlen bij zowel de Gebouwde Omgeving als ook de overige sectoren, niet eenvoudig. Veronderstellingen ten aanzien van de mogelijkheid om CO₂ af te vangen zijn bijvoorbeeld sterk van invloed op de sector specifieke reductiecurves.

Voor de Gebouwde Omgeving kunnen een aantal klimaatneutrale routes worden onderscheiden, zoals de all electric route, de H₂-route, klimaatneutrale warmte, synthetisch aardgas (SNG) en synthesesgas.¹ Een gemeenschappelijk kenmerk van klimaatneutrale energiedragers is dat deze geheel of gedeeltelijk wordt geproduceerd uit fossiele grondstoffen.² De CO₂ die bij de productie hiervan vrij komt wordt (vrijwel geheel) afgevangen en langdurig opgeslagen in bijvoorbeeld lege gasvelden, kolen lagen of aquifers. Bij het bepalen van de mogelijke bijdrage van klimaatneutrale energiedragers wordt impliciet aangenomen dat CO₂-afvang in combinatie met lange termijn opslag technisch haalbaar is en economisch verantwoord is.

De Gebouwde Omgeving wordt gekenmerkt door een relatief grote inhomogeniteit, zowel met betrekking tot de relevante actoren als ook op het gebied van de omvang en warmte/kracht verhouding van de energievraag. Het potentieel voor de verschillende klimaatneutrale energiedragers is daarom bepaald voor verschillende deelsegmenten van de Gebouwde Omgeving. Hierbij is een onderscheid gemaakt naar bestaande woningbouw met lage en hoge dichtheid, nieuwe woningbouw met lage en hoge dichtheid, bestaande utiliteitsbouw en nieuwe utiliteitsbouw.

Het potentieel voor grootschalige inzet van klimaatneutrale energiedragers in de bestaande Gebouwde Omgeving lijkt vooralsnog beperkt te blijven tot inzet van klimaatneutrale elektriciteit en synthetisch aardgas (SNG). Deze energiedragers kunnen gebruik maken van de reeds aanwezige infrastructuur, kunnen gefaseerd ('bijmenging') worden ingevoerd en vereisen alleen aanpassingen bij de centrale energieproductie. Voor grootschalige inzet via de 'all electric' route

¹ Formeel is synthesesgas, dat wordt geproduceerd via biomassavergassing, een hernieuwbare energiedrager.

² Ook nucleaire energie wordt toegerekend aan klimaatneutrale energiedragers, dit omdat deze wijze van opwekking in ieder geval niet tot hernieuwbaar gerekend kan worden.

alsmede de H₂-route zijn naar verwachting ingrijpende en kostbare aanpassingen aan de bestaande infrastructuur nodig.

Voor nieuwbouw in de Gebouwde Omgeving staan in principe alle klimaatneutrale routes open. Vanwege de warmte/kracht verhouding lijkt echter in de nieuwe utiliteitsbouw de all electric route het meest kansrijk te zijn. Mogelijk knelpunt voor de H₂-route is de aansluiting op een hoofdleidingnetwerk voor H₂-gas, met name indien nieuwbouwlocaties ingepast worden in de bestaande infrastructuur.

De mogelijkheid voor inzet van CO₂-afvang in combinatie met langdurige opslag tegen aanvaardbare kosten is een essentiële voorwaarde voor de inzet van klimaatneutrale energiedragers. Bedacht dient te worden dat het hier, evenals voor bijvoorbeeld de (grootschalige) productie van synthetisch aardgas, een nog onbewezen techniek betreft waarmee in Nederland nog geen ervaring is opgedaan. Onzeker is hoe groot de maatschappelijke weerstand is met betrekking tot de inzet van deze 'end of pipe' oplossing. Een gebrek aan draagvlak zou in een situatie waarin door de eindverbruiker gekozen kan worden voor afname van verschillende typen energiedragers (etikettering) kunnen leiden tot een moeizame introductie van klimaatneutrale energiedragers.

Een transitieroute via CO₂-afvang heeft als voordeel dat het een grootschalig proces betreft met een zeer beperkt aantal actoren. Knelpunt hierbij is wel dat deze actoren buiten de invloedssfeer van VROM DGW vallen. Hierdoor ontstaat de situatie dat het behalen van een sectordoelstelling voor de Gebouwde Omgeving afhankelijk wordt van actoren die zich buiten de invloedssfeer van VROM DGW bevinden.

In het actieplan voor 2010 wordt een onderscheid gemaakt naar praktijkexperimenten, beleidsontwikkeling en interventies en nader te verrichten onderzoek. Een aantal klimaatneutrale routes lijkt op termijn mogelijk een aanzienlijke bijdrage te kunnen leveren aan de reductie van de CO₂-emissies in de Gebouwde Omgeving. Het betreft hier echter experimentele technologie die zich in de praktijk nog onvoldoende (of niet) bewezen heeft. Aanbevolen wordt onder meer praktijkproeven met elektrische warmtepompen en micro-WKK systemen (via H₂) uit te voeren alsmede de toepassing van lage temperatuursystemen te stimuleren. Aanbevolen wordt om het beleid met betrekking tot vraagbeperking (EPN, EPA) te intensiveren. Nader onderzoek is nodig naar mogelijkheden, kosten en draagvlak voor CO₂-afvang en opslag, sturingsmogelijkheden voor de 'critical actors' in het transitieproces en de mogelijkheden voor bepaling van een sector-specifieke reductiedoelstelling.

Het bepalen van de optimale inzet van de in NMP4 genoemde beleidssporen 'vraagbeperking', 'hernieuwbaar' en 'klimaatneutraal' is, vanwege de grote onzekerheden met betrekking tot inzet van onbewezen technologieën, zoals CO₂-afvang in combinatie met langdurig opslag, en het ontbreken van een sectorspecifieke reductiedoelstelling niet goed mogelijk. Complicatie in deze is dat bij een optimale inzet, waarbij zowel rekening wordt gehouden met de kosten voor een sector als ook kosten op nationaal niveau, de sectordoelstelling afhankelijk is van de aannames omtrent kosten en beschikbaarheid van CO₂-reductie-opties. Vanwege deze onzekerheden is, als vorm van no-regret beleid, het doorzetten en intensiveren van het huidige beleid ten aanzien van vraagbeperking en hernieuwbaar noodzakelijk.

Geconcludeerd wordt dat klimaatneutrale energiedragers mogelijk een zeer grote rol kunnen spelen bij de transitie naar een duurzame energievoorziening voor de Gebouwde Omgeving. Wel kennen de transitieroutes via klimaatneutrale energiedragers nog een aantal grote onzekerheden die de komende jaren dienen te worden opgelost. Nader onderzocht dient te worden of het geschetste transitietraject voor de Gebouwde Omgeving leidt tot knelpunten bij overige sectoren. In het kader van dit project is geen rekening gehouden met deze aspecten. De mogelijk bijdrage van de inzet van klimaatneutrale energiedragers aan het behalen van de NMP4 doelstelling stond in deze studie centraal. Derhalve is in deze studie geen aandacht besteed aan transitieroutes die zich specifiek concentreren op de inzet van hernieuwbare bronnen en verregaande

vraagbeperking. Uit oogpunt van risicospreiding en vanwege andere voordelen die deze routes kunnen hebben (zoals vermindering van de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen) wordt aanbevolen deze routes in het beleid niet expliciet of impliciet uit te sluiten.

1. INLEIDING

Om een duurzame energiehuishouding op gang te brengen moet West-Europa, waaronder Nederland, in 2030 de volgende richtinggevende reductiedoelstellingen ten opzichte van 1990 realiseren: 40 - 60% minder CO₂, indien van een gelijke verdeling van emissies per capita wordt uitgegaan. Ook indien een deel van de emissiereductie door inzet van flexibele mechanismen in het buitenland wordt gerealiseerd, resteert een nationale CO₂-emissiereductiedoelstelling van circa 30% CO₂-reductie ten opzichte van 1990. In beide gevallen gaat het om een doelstelling die een dermate omvangrijke CO₂-reductie vereist dat naar verwachting ingrijpende innovaties van de energievoorziening noodzakelijk zijn.

Het NMP4 noemt drie oplossingsrichtingen om te komen tot de gewenste emissiereductie voor CO₂. Dit zijn:

1. verlaging van de energievraag bij de eindverbruiker (isolatie e.d.),
2. inzet van hernieuwbare bronnen (zoals zonnepanelen),
3. inzet van nieuwe technieken voor emissiereductie (zoals klimaatneutrale energiedragers).

De twee eerste oplossingsrichtingen zijn al ingezet in het huidige klimaatbeleid voor de Gebouwde Omgeving. De derde oplossingsrichting is relatief nieuw voor deze sector, en zal de meest ingrijpende veranderingen vergen. Het gaat hier om het inzetten van fossiele energiebronnen waarbij de CO₂-emissie wordt opgevangen bij de omzetting van de energiebron in een zogenaamde klimaatneutrale energiedrager. De opgevangen CO₂ wordt zodanig opgeslagen dat het niet meer in de atmosfeer terecht kan komen. Het benutten van de aldus klimaatneutraal geproduceerde energiedrager voor de energievoorziening van de Gebouwde Omgeving kan op zijn beurt ingrijpende veranderingen vergen, zowel wat betreft de infrastructuur voor het transport als voor de conversie op locatie. Voor het realiseren van bijvoorbeeld een energievoorziening gebaseerd op waterstof als energiedrager moet een nieuw leidingstelsel worden aangelegd, en dienen nieuwe conversiemechanismen en -apparatuur te worden ontwikkeld en maatschappelijk ingebed. Een dergelijke transformatie gaat dieper dan de omschakeling op aardgas destijds. Zulke transformaties vergen niet alleen veel middelen maar ook veel ontwikkeltijd en moeten daarom tijdig in gang worden gezet om de gewenste doelstelling voor de emissiereductie te kunnen halen.

Het is dan ook vooral met het oog op de derde van de bovengenoemde oplossingsrichtingen dat er sprake is van de noodzaak een *transitie* van de energievoorziening te realiseren in de komende dertig jaar. In verband hiermee is, in opdracht van het ministerie van VROM DGW, door ECN en RIGO een onderzoek uitgevoerd naar middelen om invulling te geven aan de in het NMP4 geformuleerde reductiedoelstelling voor de Gebouwde Omgeving, waarbij het hoofdcacent ligt op de rol van klimaatneutrale energiedragers.

Het doel van het onderzoek is te komen tot een actieplan voor de start van de voorbereiding van veronderstelde transitie van de Gebouwde Omgeving (woningbouw en utiliteitsbouw) die uit deze doelstelling voortvloeit. Het actieplan moet vervolgens door DGW worden beoordeeld als kader voor de activiteiten van VROM met betrekking tot de inzet van klimaatneutrale energiedragers in de Gebouwde Omgeving in de komende jaren. Het onderzoek dient te leiden tot inzicht in de noodzaak van nadere actie ten behoeve van de introductie van klimaatneutrale energiedragers in de Gebouwde Omgeving:

- welk onderzoek er nodig is op korte termijn,
- welke praktijkexperimenten er nodig zijn op korte termijn,
- welke directe interventies in de Gebouwde Omgeving nodig zijn op korte termijn.

In de Uitvoeringsnota Klimaatbeleid heeft VROM zich gecommitteerd aan een emissiereductie in de Gebouwde Omgeving van 3 Mton in 2010 ten opzichte van de voorspelde emissie in 2010. Aanvullend op deze nota is een intensivering van het beleid binnen deze doelstelling opgenomen in de nota Mensen, Wensen, Wonen.

Deze studie richt zich niet primair op technische concepten als noodzakelijke ingrediënten voor een transitie naar een klimaatneutrale energievoorziening van de Gebouwde Omgeving, maar beoogt de consequenties voor het bouw- en woonbeleid van zo'n transitie in kaart te brengen opdat hiermee in het beleid kan worden rekening gehouden. Hiervoor is van belang te weten hoe sturingsprocessen van bouwen en wonen worden beïnvloed door de genoemde transitie. Het betreft hier zowel sturingsprocessen door de overheid als ook marktsturing. De tijdshorizon voor de in kaart te brengen beleidsacties is afgeleid uit de Uitvoeringsnota Klimaatbeleid, te weten 2010. Deze acties moeten echter sporen met de langere tijdspaden gericht op de transitie die in 2030 voltooid moet zijn. Daarom is de tijdshorizon van deze studie op 2030 gelegd en vandaar wordt 'teruggerekend' naar 2010.

De hoofdonderzoeksvragen zijn:

- Wat is in hoofdlijnen de optimale inzet van maatregelen voor vraagbeperking, hernieuwbare bronnen en klimaatneutrale energiedragers om te voldoen aan de doelstellingen uit het NMP4?
- Wat betekent dit pakket van maatregelen voor beleid in de Gebouwde Omgeving tot 2010? Hierbij moet aandacht worden besteed aan technische consequenties, kostenconsequenties, de instrumentatie en de sociale risico's van de transitie naar klimaatneutrale energiedragers.

In het kader van dit onderzoek wordt klimaatneutrale energiedrager gedefinieerd als een energiedrager met een zeer lage CO₂-inhoud (bijv. kg CO₂/m³ of kg CO₂/kWh). Hierbij wordt geen rekening gehouden met eventuele emissies bij de winning van de benodigde fossiele grondstoffen die nodig zijn voor de productie van de klimaatneutrale energiedragers. Klimaatneutrale energiedragers kunnen worden geproduceerd uit fossiele grondstoffen als de hierbij vrijkomende CO₂ vrijwel volledig wordt afgevangen en zodanig opgeslagen dat deze gedurende een zeer lange periode niet meer in de atmosfeer terechtkomt. Ook nucleaire opgewekte energie wordt gerekend tot de klimaatneutrale energiedragers, alhoewel hierbij geen gebruik wordt gemaakt van de inzet van fossiele energiedragers. Hernieuwbare bronnen, zoals windenergie, zonthermische energie, waterkracht, PV en biomassa worden *niet* tot de klimaatneutrale energiedragers gerekend.

In deze studie worden voor de Gebouwde Omgeving alleen de directe en toegerekende CO₂-emissies beschouwd. De indirecte emissies die toe te schrijven zijn aan bijvoorbeeld de productie en transport van bouwmaterialen en sloop van woningen worden in deze studie niet beschouwd.

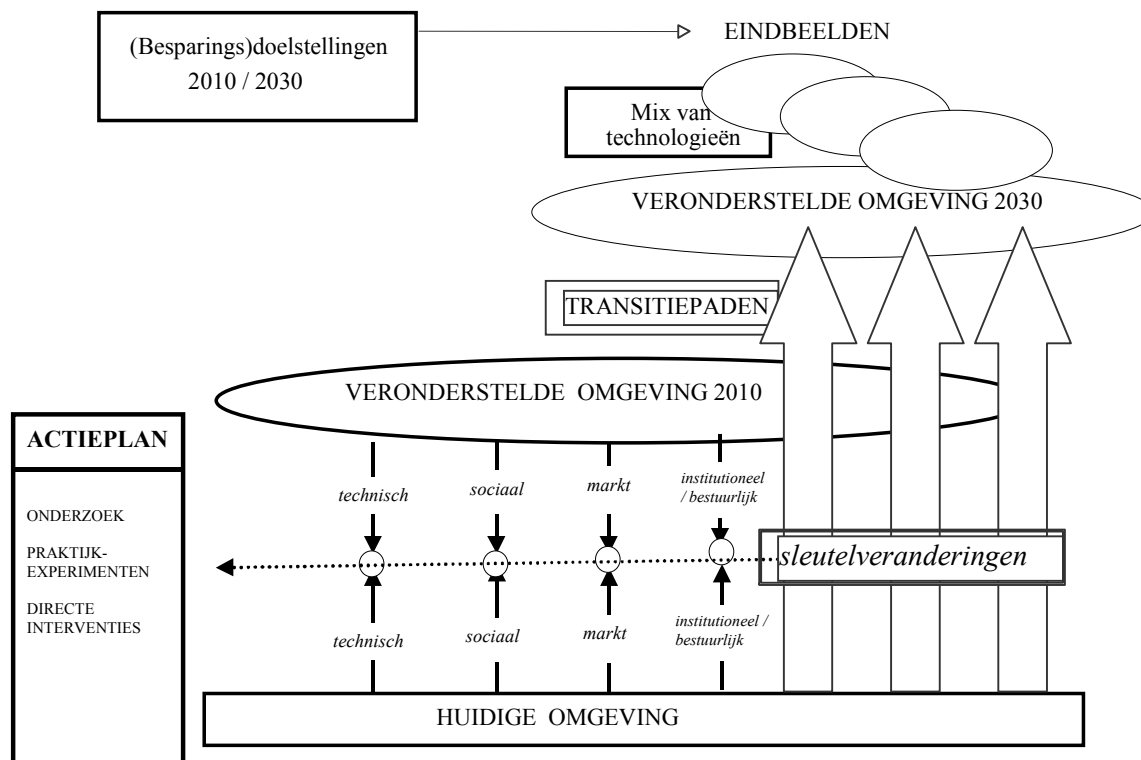
2. OPZET VAN HET ONDERZOEK

In dit hoofdstuk wordt kort de onderzoeksopzet beschreven. Hierbij zal kort worden ingegaan op de verschillende elementen die gebruikt worden bij het uiteindelijke proces van de vertaling middels de transitietheorie van technologische concepten naar een actieplan. Hierbij wordt ingegaan op toepassing van transitietheorie, functie en type eindbeelden, instrumenten en aangrijpingspunten voor transitie management alsmede de beoordelingscriteria voor de verschillende transitiepaden.

2.1 Toepassing transitietheorie

Actoren die transitieprocessen willen monitoren of beïnvloeden kunnen gebruik maken van transitietheorie. Dat doen wij dan ook in deze studie. Voor ons doel moet echter de theorie, die is ontwikkeld op basis van retrospectieve studies, in prospectieve zin (naar de toekomst toe) worden gebruikt. Dit gebeurt door een combinatie van *backcasting* en *forecasting*. Eerst wordt een aantal toekomstbeelden gegenereerd ('eindbeelden') voor de tijdshorizon waarop de doelstelling van een klimaatneutrale energievoorziening gehaald moet zijn (2030). Deze doelstelling -in ons geval de reductiedoelstelling van het NMP4- kan alleen gehaald worden als op andere wijzen dan thans huishoudens worden voorzien van elektriciteit en warmte. De eindbeelden schetsen verschillende mogelijkheden hiervoor, d.w.z. verschillende combinaties van technieken en de omgeving die deze combinaties veronderstellen in termen van regels, aard van de woningvoorraad, preferenties van woonconsumenten etc. Vervolgens wordt voor elk eindbeeld het verwachte transitiepad ('transitiepad beeld') uitgewerkt op basis van de theorie.

Transitiepad beelden beginnen in 2001 met een beschrijving van de huidige situatie en schetsen vervolgens in grote trekken de veranderingen die in de loop van de komende 30 jaar op verschillende schaalniveaus moeten worden gerealiseerd om het eindbeeld te bereiken. Uit deze beschrijving kunnen tussenbeelden worden afgeleid die de veronderstelde voortgang in het pad op een bepaald moment beschrijven. Dit zal gedaan worden voor het jaar 2010. Uit de vergelijking van de veronderstelde situatie in 2010 met de huidige situatie op een aantal relevante dimensies wordt de input voor een actieplan verkregen. Bij deze vergelijking wordt de beleidsomgeving nadrukkelijk betrokken. Zo worden op basis van de vergelijking 2001/2010 kansen, belemmeringen en risico's voor de beginfase van de transitie afgeleid, de nodige acties door bepaalde actoren in bepaalde stadia en de veronderstelde kennis en competenties in kaart gebracht, de eventuele transformatie van beleidsinstrumenten en regels voor stimulering en bijsturing van het proces nagegaan etc. Deze bovenbeschreven systematiek is samengevat in Figuur 2.1.



Figuur 2.1 *Schets van de systematiek van het onderzoek*

Bij deze systematiek dient een aantal kanttekeningen te worden gemaakt:

- Het is belangrijk om met meer dan één eindbeeld te werken. Het is een illusie te denken dat welk eindbeeld dan ook gerealiseerd zal worden volgens de omschrijving die er nu van gemaakt wordt. Daarvoor zijn de processen te ongewis en te ingewikkeld en de termijn te lang. Dit valt gemakkelijk in te zien door terug te gaan naar 1971 en de vraag te beantwoorden welke van de transities die sindsdien zijn opgetreden (zoals de ICT-ontwikkeling) toen was te voorzien.
- Een eindbeeld dient vooral om de fantasie te prikkelen, verwachtingen te creëren, en gericht werken aan technische innovatie, marktontwikkeling en draagvlak op gang te brengen. Het is een reisdoel op lange termijn maar niet meer dan dat. De uiteindelijk gerealiseerde toekomst zal hoogstwaarschijnlijk anders zijn dan welk eindbeeld dan ook. Daarom is het van belang aan verschillende transitiepaden te werken, die bij verschillende eindbeelden horen. Bij niet voorziene tegenvallers of onverwachte mogelijkheden zijn er dan meer opties om te switchen. Bovendien helpt een breder scala aan eindbeelden en paden de evaluatie van bepaalde keuzes die onderweg gemaakt moeten worden. Zo zal de ontwikkeling van een technologie die in meerdere paden past minder riskant zijn dan de keuze voor een alternatief dat slechts in een bepaald pad te implementeren is.
- Uiteraard is het mogelijk de tijdshorizon op die van het actieplan (2010) te leggen en de studie daartoe te beperken. De uiteindelijke doelstelling van het klimaatbeleid vereist echter dermate diepgaande veranderingen dat er niet teveel tijd verloren mag gaan. Dat wil zeggen dat ook de veranderingen in de energievoorziening tot 2010 in het spoor moeten zitten van veranderingen die per 2030 gerealiseerd moeten zijn. Daarom dient in het actieplan voor 2010 te worden afgeleid uit eindbeelden op de lange termijn.
- Het beleidsterrein van VROM-DGW bestrijkt uiteraard niet alle domeinen waarop veranderingen nodig zijn om de transitie naar een klimaatneutrale energievoorziening voor het wonen te realiseren. Hier geldt echter dezelfde overweging als bij het vorige punt. Het is noodzakelijk om het toekomstbeeld in eerste instantie breder te trekken dan het beleidsterrein van DGW om vervolgens daaruit te kunnen afleiden waar het transitiebeleid van DGW sa-

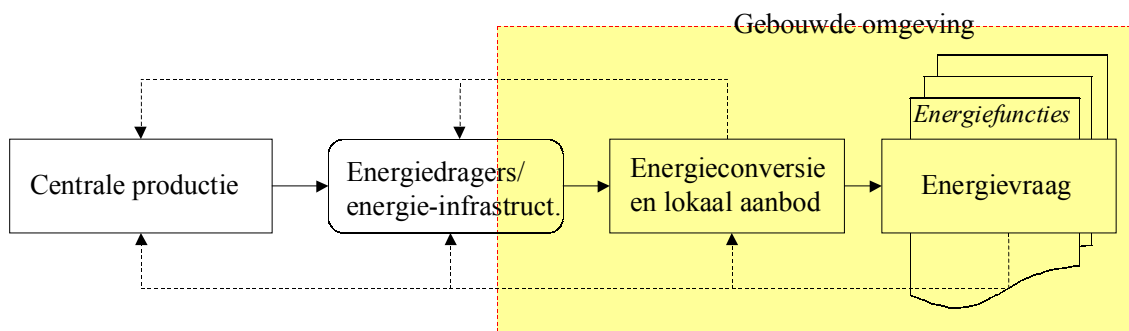
menhangt met, of afhankelijk is van het beleid van andere beleidsactoren, en welke acties naar die actoren nodig zijn om tot afstemming te komen.

- De eindbeelden zijn conceptgericht en bij voorkeur niet gebaseerd op de inzet van individuele technieken. Een exacte uitspraak met betrekking tot de specifieke eigenschappen van een toekomstige techniek is nauwelijks mogelijk. Uitgangspunt wordt gevormd door techniekconcepten, die met verschillende specifieke technologische opties kunnen worden ingevuld. Er zijn bijvoorbeeld verschillende techniek/combinaties denkbaar waarmee in de toekomst een woning met een EPC-waarde van 0 gerealiseerd zou kunnen worden. Door middel van welke technieken uiteindelijk dit doel bereikt wordt is nauwelijks voorspelbaar en in feite niet relevant. Wel is het belangrijk om een indicatie te hebben of het betreffende doel haalbaar is middels het beoogde technologieconcept. In de route naar het eindbeeld toe kan via dit mechanisme dan ook meer generiek R&D beleid worden ingezet, en is het niet noodzakelijk te focussen op slechts één optie.

2.2 Aanpak voor de ontwikkeling van eindbeelden

Bij de keuze voor de eindbeelden in een transitieproces kan gebruik worden gemaakt van verschillende eindbeelden. Het specifieke karakter van het eindbeeld hangt vaak samen met de positie in de energieketen waar het eindbeeld zich specifiek focust. Vanuit dit aangrijpingspunt in de energieketen wordt vervolgens nagegaan wat de consequenties zijn voor de voor- en achterliggend stappen in de ‘consumptie-productie keten’, zie ook Figuur 2.2. Hierbij kan grofweg een onderscheid worden gemaakt naar een tweetal type beelden:

1. Beelden die primair aangrijpen op één of meerdere factoren aan de vraagkant (doorgaans sociaal/economisch perspectief).
2. Beelden die primair aangrijpen op de infrastructuur en energiedragers (doorgaans technisch/economisch perspectief).



Figuur 2.2 Schematische weergave van de verschillende elementen binnen de energievoorziening

Allereerst is onderzocht welke eindbeelden gehanteerd worden in eerdere studies die in meer of mindere mate beogen een transitieproces te beschrijven. Van belang hierbij is wat de onderscheidende kenmerken zijn voor de beschreven eindbeelden en wat de consequenties zijn van de gehanteerde uitgangspunten. Vervolgens wordt ingegaan op de selectie, kenmerken alsmede consequenties van de eindbeelden voor deze studie.

2.2.1 Eindbeelden in eerdere studies

In de laatste jaren zijn er voor de Nederlandse energiehuishouding een aantal studies uitgevoerd waarbij eindbeelden voor een bepaald zichtjaar centraal stonden. Te noemen zijn met name de studies als ESKL (ECN, Van Hilten et al., 2000), LTVE (EZ, 2000) en COOL (diverse partijen, Hisschemöller et al., 2001), zie ook Tabel 2.1. Elk van deze drie studies heeft 2050 als tijdshorizon. De ESKL en COOL studie hebben tevens een expliciet doel voor de emissiereductie van CO₂ in 2050 (resp. -50 en -80%). Binnen COOL is een aparte dialooggroep geweest voor de Gebouwde Omgeving. Op basis van twee oorspronkelijke eindbeelden (voor de gehele energie-

huishouding, Faaij et al., 2000) heeft de groep twee aangepaste toekomstbeelden voor de sector gemaakt.

In de COOL Gebouwde Omgeving toekomstbeelden is er een uitgesproken voorkeur voor een zo duurzaam mogelijke energievoorziening: alle elektriciteit die nog via het net geleverd wordt, moet van duurzame oorsprong zijn (wind, zon, biomassa). COOL is de enige studie die aan de productiekant expliciet nucleair opgewekte stroom uit wil sluiten. Zowel ESKL als LTVE houden de nucleaire optie open. Verder is binnen COOL - Gebouwde omgeving de opslag van CO₂ controversieel: men wil er eigenlijk niet aan. Dit betekent feitelijk dat men het NMP4 spoor ‘geavanceerde technologische opties’ verwerpt en derhalve geen dominante rol ziet weggelegd voor de oplossingsroute via klimaatneutrale energiedragers.

Uit de tabel blijkt dat de studies het accent op een verschillend element leggen. ESKL en COOL doen tevens een poging om, op basis van een keuze (mix) voor de productie en de energieconversie, uit te rekenen wat de emissiereductie in 2050 is t.o.v. 1990. Beide studies hebben slechts een projectie voor de energievraag in 2050. De LTVE biedt wat energievraag en eindbeelden veel meer variatie. De studie is echter in hoofdzaak kwalitatief van aard (‘denkmodel’ in plaats van rekenmodel).

Tabel 2.1 *Overzicht van recente studies met eindbeelden voor de toekomstige Nederlandse energihuishouding*

Studie	Eindbeelden	Waar meer focus en detail (Vet waar relatief het meeste detail is ingevuld, zie ook Figuur 2.2)
ESKL	3: ‘Blauwdrukken’ Bestaande infrastructuur Elektriciteit Waterstof	Productie, Energiedragers , Energieconversie en lokale productie
LTVE	4: ‘Wereldbeelden’ Vrijhandel Isolatie Grote solidariteit Ecologie op kleine schaal	Productie, Energiedragers , Energievraag (sociaal-economische context en in mondiaal en Europees perspectief)
COOL	2: ‘Toekomstbeelden’ Herkenbaar Nederland Vernieuwd Nederland	(voor Gebouwde Omgeving) Energieconversie en lokale productie

In een wat verder verleden zijn de meer traditionele scenario studies en verkenningen te noemen zoals de SYRENE studie (Ybema et al., 1995) en de NEV (Kroon et al., 1998). Deze laatste studies bevatten in meer detail en meer ‘gebalanceerd’ de gehele keten van productie tot en met eindvraag. Tevens geven zij voor de verschillende scenario’s het gehele pad in de tijd (forecasting). De recente studies met eindbeelden uit Tabel 2.1 richten zicht daarentegen primair op de invulling van het eindbeeld (backcasting).

De keuze voor het accent heeft gevolgen voor de invulling van het eindbeeld. Zo is de ESKL studie sterk georiënteerd op de technologische invulling van de energie-infrastructuur. De sociaal-economische context die de technische invulling veronderstelt is niet uitgewerkt. In de LTVE studie is juist die sociaal-economische context de belangrijkste bepalende factor in de verschillende eindbeelden, hoewel daarbij in grote lijnen de energie-infrastructuur ook speciale aandacht krijgt. De COOL studie is georganiseerd vanuit het idee dat direct betrokkenen (actoren, stakeholders), sectorgewijs, hun inkleuring van het eindbeeld geven. We zien dan ook een sterke focus op de (technische) details van de sector zelve, veel oog voor vanuit hun optiek de gewenste eindsituatie en weinig oog voor de totale context. Een frappant voorbeeld is daarbij de keuze van het slooptempo als belangrijkste karakteristieke verschil in de 2 sectorbeelden.

2.2.2 Ontwikkeling van eindbeelden voor deze studie

Bij transitie(management) vanuit een *sociaal/economisch* perspectief is de rol van en draagvlak bij de relevante actoren alsmede sociaal risico het primaire uitgangspunt. Naderhand wordt ge-

toetst of de gewenste ontwikkeling, ofwel de ontwikkeling waarvoor voldoende draagvlak is, ook technisch haalbaar is. Het is vanuit deze optiek ook niet van doorslaggevend belang wat de feitelijke rentabiliteit is van een bepaalde investering. Het transitietraject is zo vormgegeven dat het draagvlak bij de relevante actoren aanwezig is en dat deze actoren ook de noodzaak tot het doen van deze investeringen onderschrijven (de actoren zijn het eens over de noodzaak om het geformuleerde einddoel te halen).

Bij eindbeelden die aangrijpen op het element ‘energie-infrastructuur/energiedragers’ staat doorgaans primair de *technisch/economische* haalbaarheid van het technisch concept voorop. Indien hierbij aandacht wordt besteed aan de rol en invloed van actoren in het implementatie proces dan is dit doorgaans minder dominant dan in de benadering vanuit het beeld met een sociaal-economisch perspectief. De sociale inpasbaarheid is in deze benadering vaak onderbelicht. Ook een visie ten aanzien van bijvoorbeeld de ernst van het broeikasgasprobleem en de aanwezigheid van het besef van de maatschappelijke noodzaak om koste wat het kost een bepaalde reductiedoelstelling te halen, is doorgaans niet aanwezig in deze benadering.

In deze studie is dit laatste nadrukkelijk wel het geval. Het onderzoek begint dan ook met de berekening van de beleidsopgave in termen van de te halen CO₂-reductie. Hierop worden de eindbeelden gericht. Als vertrekpunt geldt hierbij de verwachting dat het realiseren van de beleidsopgave de inzet van klimaatneutrale energiedragers in de Gebouwde Omgeving noodzakelijk zal maken, in samenhang met de andere oplossingsrichtingen die in het NMP4 genoemd worden. Hiermee ligt de keuze voor eindbeelden die uitgaan van technische mogelijkheden voor de hand. Economische haalbaarheid, beperken van sociale risico’s en het creëren van draagvlak bij de actoren vormen echter een essentieel onderdeel van het transitieproces en zullen dan ook expliciet meegenomen worden. Dit gebeurt door voor elk eindbeeld (2030) na te gaan welke Gebouwde Omgeving dit beeld veronderstelt in termen van sociale, institutionele en marktcondities in 2010. Het traceren van deze condities vormt mede de input voor het actieplan (zie Figuur 2.1). Een belangrijke stap voor dit traceren is het differentiëren van de vraagkant, dat wil zeggen het kiezen van een geschikte segmentering van de Gebouwde Omgeving.

Deze studie heeft als vertrekpunt het transitieproces dat betrekking heeft op de inzet van klimaatneutrale energiedragers in de Gebouwde Omgeving. Hiermee ligt de keuze voor een beeld dat primair gedomineerd wordt door een technisch/economische context voor de hand. Beperken van sociale risico’s en het creëren van draagvlak bij de actoren vormen echter een essentieel onderdeel van het transitieproces en dienen expliciet meegenomen te worden. Nadat zowel is bekeken of het transitietraject vanuit technisch/economisch oogpunt en sociaal/economisch oogpunt realiseerbaar is, dient daarom nog getoetst te worden in hoeverre de betreffende ontwikkeling een bepaalde maatschappelijke context vereist.

De ontwikkeling van de (technisch/economische) eindbeelden voor deze studie is daarom gebaseerd op de volgende stappen:

- *Ontwikkeling van een doelstelling voor de Gebouwde Omgeving.* Een essentieel onderdeel van het eindbeeld is de sectorspecifieke CO₂-reductiedoelstelling. De hoogte van het reductiepercentage is bepalend voor de omvang en intensiteit van de inzet van besparingsopties. In Hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de ontwikkeling van een sectorspecifieke reductiedoelstelling.
- *Karakterisering van de Gebouwde Omgeving.* De Gebouwde Omgeving kenmerkt zich door een relatief grote diversiteit. Rekening gehouden moet worden met een veelheid aan factoren, die alle een (direct of indirect) effect kunnen hebben op de finale energievraag en op de invulling van de energieketen waarmee in deze vraag kan worden voorzien. Woningen hebben een totaal afwijkend energievraagpatroon van kantoorgebouwen. Een stedelijk gebied met een hoge woningdichtheid voor nieuw aan te leggen woningen maakt andere voorzieningen mogelijk dan in een landelijk gebied met hoofdzakelijk bestaande woningen. Ook de eigendomssituatie kan bij de besluitvorming omtrent de aanschaf van een bepaald type energieconversiesysteem een belangrijke rol spelen. Daarnaast kan een verandering in de ver-

houding tussen de warmte- en krachtvraag, bijvoorbeeld door een toename van de koelbehoefte of het aantal elektrische apparaten, van invloed zijn op de keuze voor bepaalde technieken. De segmentering van de Gebouwde Omgeving in de beschrijving van de toekomstbeelden is daarom een hulpmiddel om de relevante facetten in beeld te krijgen. Elk van de segmenten vereist een eigen aanpak waarbij verschillende actoren en technische mogelijkheden een rol spelen. Voor het uiteindelijke actieplan is deze segmentering in de aanpak dus noodzakelijk. Ze wordt beschreven in Hoofdstuk 4.

- *Inventarisering technische concepten.* Elk eindbeeld voor de Gebouwde Omgeving veronderstelt tenminste de productie van energie, het overbrengen van deze energie naar de Gebouwde Omgeving (tenzij de energie volledig lokaal geproduceerd wordt maar dit is niet waarschijnlijk), en het omzetten van de energie op de plaats van de energievraag. Er is dus sprake van een keten van geschakelde voorzieningen van productie tot en met eindgebruik. Deze keten zal voor verschillende eindbeelden een verschillende invulling krijgen, afhankelijk van de gekozen technische concepten (energiedrager plus daarmee samenhangende technische voorzieningen). Het betreft hier mogelijkheden voor de productie van klimaatneutrale energiedragers, de technieken en installaties die daarmee samenhangen en de aanvullende opties voor de Gebouwde Omgeving die passen binnen de oplossingsrichtingen van het NMP4. Deze worden geïnterpreteerd in Hoofdstuk 5.

2.3 Transitie management

Dat het transitiebegrif volop in de belangstelling staat, blijkt onder andere uit de prominente plek die het heeft gekregen in het NMP-4. De importantie van een transitie manager om het proces vorm te geven wordt daarbij algemeen erkend. Door middel van transitie management wordt door de transitie manager beoogd invloed uit te oefenen op de richting en snelheid van een transitieproces. Dit betekent echter niet dat een transitieproces exact stuurbaar is in een van tevoren nauw vastgelegde richting volgens een vast omlijnd tijdspad. Binnen een transitieproces kunnen verschillende partijen als transitie manager optreden, naar vermogen en naar situatie verschillend. Er zijn een aantal algemene uitgangspunten die het perspectief van de transitie manager bepalen:

- het denken op de lange termijn (tenminste 25 jaar) als afweging voor het vormgeven van beleid op de korte termijn,
- het denken in termen van meerdere niveaus (micro-meso-macro), meerdere domeinen en meerdere actoren,
- proberen systeeminnovatie te bewerkstelligen, in tegenstelling tot systeemverbetering,
- het openhouden van veel opties.

Vanuit de transitietheorie zijn een aantal instrumenten ontwikkeld die in het proces van transitie management een rol kunnen spelen. Hierop wordt nader ingegaan in Appendix A van dit rapport. Middels een zogeheten 'key change table' kan in kaart worden gebracht welke actoren of processen welke veranderingen dienen te ondergaan tijdens het transitietraject (Socrobust, 2002). Het is hierbij bijvoorbeeld van belang om de volgende punten na te gaan:

- Wat zijn de veranderingen in het toekomstige actor netwerk in vergelijking tot de huidige situatie.
- Welke van de huidige gebruiken/toepassingen zullen verdwijnen en welk effect heeft dit op de samenleving.
- Welke nieuwe gebruiken/toepassingen zullen moeten worden geïntroduceerd en geaccepteerd en wat is hiervan het effect op de samenleving.
- Welke van de actoren leiden het meeste schade van de beoogde transitie.
- Welke van de actoren profiteren het meeste van de beoogde transitie.
- Wat voor soort oppositie mag verwacht worden en wie zal deze oppositie naar verwachting voeren.
- Welke omgevingsfactoren kunnen van invloed zijn op de snelheid en richting van het transitieproces.

2.4 Beoordelingscriteria voor de verschillende transitiepaden

Binnen een bepaald segment in de Gebouwde Omgeving kan doorgaans op een aantal verschillende manieren een technische invulling worden gegeven aan de ontwikkelde eindbeelden. Ook hoeft er niet noodzakelijkerwijs sprake te zijn één allesomvattend eindbeeld, maar zijn verschillende eindbeelden mogelijk binnen één segment van de Gebouwde Omgeving. Afgevraagd kan worden hoe een keuze gemaakt kan worden tussen de verschillende beelden en de technologische routes die binnen deze routes mogelijk zijn.

Een aantal criteria dat gehanteerd kan worden bij de beoordeling van de verschillende technologische concepten is:

- Technische robuustheid. Hierbij kan een onderscheid worden naar robuustheid in enge zin, dat wil zeggen specifieke technische knelpunten binnen één specifieke technologische route, en robuustheid in brede zin, ofwel in hoeverre overlappen bepaalde technologische routes.
- Economische aspecten. Het betreft hier zowel de maatschappelijke kosten alsmede ook de specifieke investeringen (rentabiliteit) door bepaalde actoren. Welke investeringen dienen waar te worden gedaan, wie moet die doen, hoe hoog zijn deze investeringen, wat is de rentabiliteit en aan wie komen de baten³ van de investeringen toe.
- De totale CO₂-reductie en mogelijke bijdrage aan de beleidsdoelstelling.
- Stuurbaarheid van het transitieproces; In hoeverre is de overheid, meer specifiek VROM DGW, in staat bepaalde processen binnen het transitietraject te sturen. In hoeverre vallen bepalen (cruciale) processen buiten de invloedssfeer van de overheid. Hoe afhankelijk is het transitieproces van externe factoren.
- Beleidsuitgangspunten en instrumenteerbaarheid; Is het bestaande beleidsinstrumentarium voldoende, dienen er nieuwe beleidsinstrumenten te worden ontwikkeld, zijn de betreffende actoren voldoende gevoelig om in de gewenste richting gestuurd te worden?
- Sociaal-economische context; Is een transitiepad alleen mogelijk binnen een bepaalde sociaal-economische context, bijvoorbeeld een lage economische groei met een sterke overheid en een groot draagvlak voor maatregelen ter bestrijding van het broeikasgaseffect, of de route relatief ongevoelig voor aspecten van economische groei, rol van de overheid, liberalisering van de energiemarkt, consumentenvoorkeuren⁴ en milieubewustzijn.
- Voorzieningszekerheid; Technische betrouwbaarheid en economische robuustheid, bijvoorbeeld door het vermijden van afhankelijkheid ten aanzien van één specifieke energiedrager die (grotendeels) vanuit het buitenland wordt geïmporteerd.

2.5 Kenmerken voor robuustheid

Er zijn meerdere manieren om in de finale energievraag in de Gebouwde Omgeving te voorzien. Het betreft hier zowel verschillen op het gebied van de productie van een bepaalde energiedrager als ook de lokale omzetting van de energiedrager in de benodigde kracht en warmte. Zo zijn er meerdere conversie-opties om in de warmte voor de woning of een gebouw te voorzien. Ook is er een veelheid aan mogelijkheden om CO₂-vrije elektriciteit te produceren.⁵ Een deel van deze opties maakt gebruik van dezelfde energiedrager. In dat geval kunnen de opties vrijwel zonder problemen concurreren binnen een bepaalde infrastructuur. Soms wordt echter gebruik gemaakt van een andere energiedrager, hetgeen een andere infrastructuur kan vereisen. De ingezette energiedrager kan op haar beurt over het algemeen weer op meerdere manieren worden geproduceerd via het centrale park.

³ Het kan hierbij zowel om economische als niet economische baten gaan.

⁴ O.a. woonwensen.

⁵ Via 'conventionele' opwekking met CO₂-afvang of via hernieuwbare bronnen.

Klimaatneutrale energiedragers vormen het tweede element in de energieketen⁶ van energieproductie naar energieverbruik (zie ook Figuur 2.2). Een keuze voor een bepaalde klimaatneutrale energiedrager heeft een direct effect op de voorliggende stap (centrale en decentrale productie) en achterliggende stap (locale energieconversie) en een meer indirect effect⁷ op de finale energievraag. Voor elk van de onderscheiden klimaatneutrale energiedragers geldt dat zij kunnen worden ingezet in verschillende segmenten in de Gebouwde Omgeving. Echter, de specifieke eigenschappen van de verschillende segmenten maken dat een bepaalde klimaatneutrale energiedrager gemakkelijker in te zetten is in een bepaald segment dan een andere. Warmtedistributie in een landelijk gebied met een lage gebouwdichtheid mag worden beschouwd als een beduidend minder aantrekkelijke optie dan bijvoorbeeld een gasvormige energiedrager. Voor nieuwbouwlocaties met een relatief hoge woningdichtheid in de nabijheid van een energiecentrale lijkt warmtedistributie een voor de hand liggende optie. Ook zijn er, bij een gegeven klimaatneutrale energiedrager en een bepaald gebouwsegment soms nog meerdere conversietechnieken denkbaar die de betreffende klimaatneutrale energiedrager omzetten⁸ in het gewenste eindproduct.⁹

De grootte van het aantal verschillende mogelijkheden¹⁰ om de stap tussen de verschillende elementen in de energieketen te voorzien, is een maat voor de robuustheid van de specifieke 'consumptie - productie' keten. Zowel door middel van de HR-ketel, een bewezen techniek, als de meer geavanceerde maar experimentele gasgestookte warmtepomp kan in de warmtevraag van een woning worden voorzien. Indien, door onvoorziene redenen, de introductie van de gasgestookte warmtepomp zich niet zou ontwikkelen volgens de beoogde route, dan kan teruggevallen worden op de HR-ketel.¹¹ Ook zijn er bijvoorbeeld meerdere mogelijkheden om via het centrale productiepark CO₂-vrije elektriciteit op te wekken, zodat de veronderstelling dat het in de toekomst in principe mogelijk zou moeten zijn om op grote schaal CO₂-vrije elektriciteit in te zetten¹² relatief robuust is.

Naast de keuze met betrekking tot het type optie dat binnen een bepaalde energieketen kan worden ingezet, speelt ook de technisch/economische levensduur van keuzen op de verschillende niveaus een belangrijke rol. Vaak worden bij de volgende economische levensduur aangehouden:

- centrale productie en decentrale productie: 20 jaar,
- energie-infrastructuur: 40 jaar,
- energieconversie lokaal: 15 jaar,
- gebouw: 50 - 100 jaar.

Indien men binnen deze economische levensduur gemaakte keuzen op een bepaald niveau wil veranderen, is dit zeer kostbaar, vanwege desinvesteringen. Na deze economische levensduur zijn er vaak meer mogelijkheden, hoewel ook dan vervanging door een soortgelijke technologie vaak het eenvoudigst en daarmee ook het goedkoopst is. Keuzen die de komende jaren gemaakt worden op de niveaus van energie-infrastructuur en gebouw werken door tot ruim na 2030. Deze keuzen zijn bepalend voor de ruimte die er tussen nu en 2030 is voor introductie van klimaatneutrale energiedragers en andere manieren om de CO₂-uitstoot te beperken.

⁶ (De)centrale productie → infrastructuur en energiedrager → locale conversie en productie → energievraag eindverbruiker.

⁷ Via de rentabiliteit van zowel de investeringen in besparingsmaatregelen als ook in de infrastructuur.

⁸ Soms is de gevraagde energiedrager gelijk aan de gevraagde energiedrager en is de conversiestap overbodig. Dit geldt bijvoorbeeld bij klimaatneutrale elektriciteit die zonder verdere omzetting kan voorzien in de elektriciteitsvraag voor bijv. huishoudelijke apparaten.

⁹ Zoals bijvoorbeeld warmte voor ruimteverwarming of elektriciteit voor apparaten.

¹⁰ Het betreft hier zowel bewezen technologie als toekomstige experimentele opties.

¹¹ Met een weliswaar lager rendement.

¹² Mogelijke inpassingproblemen buiten beschouwing gelaten.

3. ONTWIKKELING CO₂-EMISSIES EN EMISSIEREDUCTIE-DOELSTELLING

3.1 Inleiding

Voor het schetsen van de eindbeelden in het transitieproces is het noodzakelijk om een concreet einddoel te formuleren, zie Paragraaf 2.1. Op basis van de doelstelling kunnen één of meerdere eindbeelden worden ontwikkeld die leiden tot een situatie waarbinnen het betreffende doel wordt behaald. Om na te kunnen gaan of de beoogde transitie leidt tot de gewenste verduurzaming van de Gebouwde Omgeving, dient derhalve allereerst een sectorspecifieke reductiedoelstelling te worden ontwikkeld.

3.2 Uitgangspunten NMP-4 en Evaluatie Nota Klimaatbeleid

De basisgedachte in het vierde Nationaal Milieubeleidsplan (NMP-4) is een bredere blik en een verder vooruitzicht. Er wordt vastgehouden aan de uitgangspunten van het NMP-3 voor de korte termijn, maar in het nieuwe NMP wordt de beleidshorizon op 2030 gelegd. In het nieuwe beleidskader worden doelstellingen en ambities op drie niveaus geformuleerd: richtinggevende doelstellingen voor de lange termijn, afrekenbare doelstellingen voor de korte- en middellange termijn die op de korte termijn vertaald worden naar taakstellingen voor maatschappelijke actoren.

De richtinggevende CO₂-doelstelling bedraagt 40 tot 60% emissiereductie ten opzichte van 1990. Om dit te bereiken is volgens het NMP-4 een overgang naar fundamentele innovatie van de energievoorziening nodig. Hiervoor zijn drie technologische sporen te ontdekken:

- inzet van hernieuwbare bronnen (zon, wind biomassa),
- efficiencyverbetering (daling energieverbruik per capita),
- geavanceerder energietechnologie (schoon fossiel).

Ook noemt het NMP zes oplossingsrichtingen:

1. Verandering in consumptiepatroon (10 Mton), o.a. mobiliteitsreductie.
2. Wijziging economische structuur (20 Mton), dematerialisatie, verschuiving naar extensief.
3. Efficiëntieverbetering (40 - 60 Mton), gemiddelde gasverbruik naar 800 - 900 m³ in 2030, warmtepomp in gebouwen.
4. Hernieuwbare bronnen (40 - 75 Mton), groei zon-PV met 25% per jaar, biomassa verkeer.
5. Schoon fossiel (50 - 60 Mton), o.a. afvang CO₂ bij centrales.
6. Kernenergie (10 - 20 Mton).

De Evaluatienota klimaatbeleid geeft aan dat met het huidige beleid het Kyoto-doel van zes procent minder emissies in 2010, waarschijnlijk gehaald wordt. Toch wordt aangedrongen op het robuuster maken van de strategie zodat er meer zekerheid wordt ingebouwd. Daar de nota streeft naar het ontwikkelen van streefwaarden voor sectorale emissieniveaus en het maken van afspraken daarover, wordt het monitoren van (sectoraal) beleid de komende jaren erg belangrijk. De nota onderschrijft het beeld uit het NMP-4: het huidige beleid is niet toereikend om na 2012 een verregaande emissiereductie te bereiken.

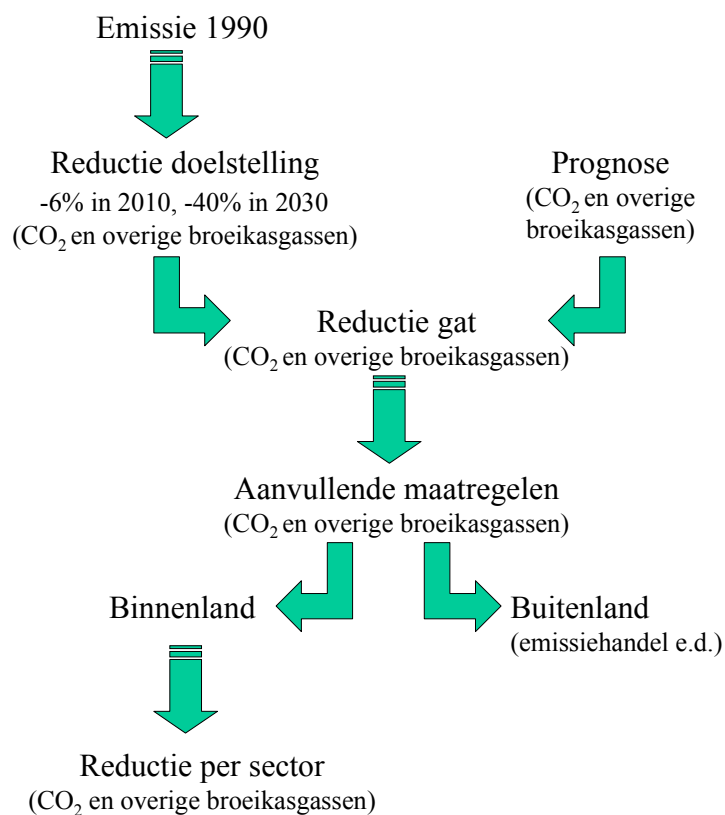
Het NMP-4 stelt niet alleen voor CO₂ bepaalde doelstellingen. Voor de introductie van klimaatneutrale energiedragers in de Gebouwde Omgeving is mogelijk het beleid ten aanzien van gevaarlijke stoffen en externe veiligheid relevant. Een belangrijk punt hieruit zijn de introductie van een bepaalde gegarandeerde bescherming tegen de gevaren van gevaarlijke stoffen in de woonomgeving van burgers.

3.3 Bepaling beleidsopgave reductie broeikasgassen

Bij het identificeren en analyseren van transitietrajecten voor de Gebouwde Omgeving is het van belang om de lange termijn doelstellingen met betrekking tot het verminderen van de uitstoot van schadelijke stoffen in kaart te brengen. De omvang en aard van de transitietrajecten is namelijk afhankelijk van de lange termijn doelstellingen voor het verminderen van de uitstoot van CO₂ en andere schadelijke stoffen. Daarom wordt in dit hoofdstuk een analyse gegeven van de mogelijke doelstelling voor de uitstoot van CO₂ in 2030 uit de Gebouwde Omgeving. Bij het inschatten van deze doelstelling zijn mogelijke lange termijndoelen voor de uitstoot van broeikasgassen voor de gehele Nederlandse energievoorziening als uitgangspunt genomen. Het inschatten van de doelstelling voor 2030 volgt daarbij een aantal stappen, die hieronder zijn geschetst.

Hier wordt als kanttekening opgemerkt dat in de praktijk een eventuele doelstelling voor de uitstoot van CO₂ voor de Gebouwde Omgeving overigens de uitkomst zal zijn van onderhandelingsprocessen en de toekomstige ‘markt’ voor emissiereductie. Daarbij gaat het o.a. om onderhandelingen tussen de EU en andere landen over de reductiedoelstellingen op de lange termijn, onderhandelingen binnen de EU over de ‘burden sharing’, onderhandelingen over welk deel van reductiedoelstellingen in het buitenland gerealiseerd mag worden, prijs en aanbod van emissiereducties vanuit het buitenland en onderhandelingen tussen sectoren en overheid over de verdeling van de emissiereductie over de sectoren.

Bij het bepalen van de beleidsopgave in een bepaald zichtjaar dient rekening gehouden te worden met een aantal factoren, zoals het basisjaar, de reductiedoelstelling, reductiemiddelen en de prognose van de ontwikkeling van de bedoelde broeikasgassen. Dit traject is schematisch weergegeven in Figuur 3.1.

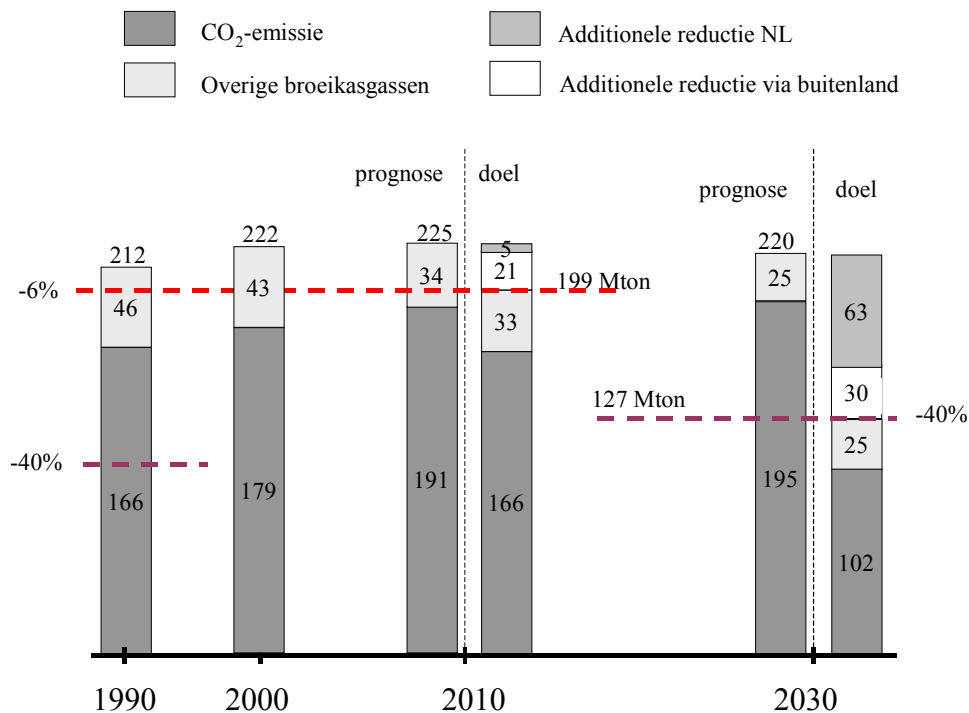


Figuur 3.1 Schematische weergave van het beslissingstraject voor de bepaling van de additionele broeikasgasreductie

De totale emissie van broeikasgassen in Nederland in 1990 bedroeg 212 Mton, waarvan 166 Mton is toe te schrijven aan de emissie van CO₂ en 46 Mton aan de emissie van niet-CO₂ broeikasgassen, zie ook Figuur 3.2. In de periode 1990 - 2000 neemt de emissie van broeikasgassen toe met 5% tot 222 Mton in 2000. Deze toename wordt veroorzaakt door een toename van de CO₂-uitstoot met 13 Mton en een daling van de uitstoot aan overige broeikasgassen met 3 Mton.

Voor 2010¹³ geldt een reductiedoelstelling ten opzichte van 1990 van -6% voor *alle* broeikasgassen. De maximale uitstoot voor Nederland in 2010 komt hierdoor uit op 199 Mton. De reductiedoelstelling kan vervolgens worden getoetst aan prognoses voor de ontwikkeling van broeikasgassen. Indien er sprake is van een gat tussen de verwachte ontwikkeling van de uitstoot van broeikasgassen en de reductiedoelstelling, dan dienen aanvullende maatregelen te worden genomen. Deze maatregelen kunnen zowel in het binnenland als ook in het buitenland worden genomen. Nadat bepaald is welk deel van de emissiereductie via het buitenland gerealiseerd kan worden, wordt duidelijk hoe groot de (additionele) emissiereductie in Nederland moet zijn om de doelstelling te halen. Als laatste stap kan nog een vertaling gemaakt worden van de nationale emissiereductiedoelstelling naar een reductiedoelstelling per sector.

Recente prognoses door RIVM en ECN wijzen op een toename van de broeikasgasemissies van 212 Mton in 1990 tot 225 Mton in 2010 (Ybema et al., 2002). Het gat tussen de doelstelling (199 Mton) en de prognose komt hiermee uit op 26 Mton. Voorgenomen is om in 2010 circa 20 Mton CO₂ te reduceren via het buitenland, zodat de additionele reductiedoelstelling voor 2010 rond de 5 Mton bedraagt, zie ook Figuur 3.2.



Figuur 3.2 *Gerealiseerde en verwachte ontwikkeling van broeikasgasemissies (in Mton) in Nederland alsmede de verwachte additionele reductiedoelstelling van -40% voor alle broeikasgassen in 2030*

Het maken van een prognose voor 2030 uitgaande van het huidige beleid is niet eenvoudig en de resultaten kennen derhalve een relatief grote onzekerheidsmarge. Voor de niet broeikasgassen wordt voor 2030 uitgegaan van een emissie aan broeikasgassen van 25 Mton. Aangenomen wordt dat de uitstoot van CO₂ in de periode 2010 - 2030 beperkt toeneemt tot 195 Mton in 2030. Indien wordt uitgegaan van een reductiedoelstelling voor alle broeikasgassen van -40% in 2030

¹³ Feitelijk: over de zogeheten budgetperiode 2008 – 2012.

ten opzichte van het niveau in 1990, dan mag de totale emissie van broeikasgassen maximaal 127 Mton bedragen, zie ook Figuur 3.2. Onder de aanname dat maximaal 30 Mton wordt gereduceerd via het buitenland, ontstaat voor een additionele reductiedoelstelling¹⁴ van 63 Mton in 2030.

In Tabel 3.1 is samengevat op welke wijze het emissieplafond voor CO₂ in Nederland kan worden bepaald, uitgaande van een emissiereductie voor alle broeikasgassen opzichte van de uitstoot in 1990.

Tabel 3.1 *Invulling van de reductiedoelstelling voor CO₂ en overige broeikasgassen in 2010 en 2030, uitgaande van een reductiedoelstelling ten aanzien van alle broeikasgassen*

-40% alle broeikasgassen in 2030		realisatie	realisatie	doel	doel
		1990	2000	2010	2030
Stap 1	Nederlands doel [% t.o.v. 1990]			-6	-40
	Totale uitstoot [Mton]	212	222	199	127
Stap 2	Reductie buitenland [Mton]			-20	-30
Stap 3	Uitstoot andere gassen [Mton]	46	43	33	25
Stap 4	Uitstoot CO ₂ in NL [Mton]	166	179	186	132
	verandering CO ₂ -uitstoot [% t.o.v. 1990]		+8	+12	-20

Een reductie met -6% in 2010 en -40% in 2030 van alle broeikasgassen betekent een maximale uitstoot van respectievelijk 199 Mton en 127 Mton (stap 1). Vervolgens wordt de beoogde reductie via het buitenland afgetrokken. Deze bedraagt naar verwachting 20 Mton in 2010 en 30 Mton in 2030 (stap 2). Daarna dient een inschatting gemaakt te worden van de ontwikkeling van de overige broeikasgassen (stap 3). Deze emissie bedraagt naar schatting 34 Mton in 2010 en 25 Mton in 2030. Op basis hiervan kan nu de maximale toegestane binnenlandse CO₂-uitstoot worden bepaald (stap 4) en het reductiepercentage voor CO₂ (in % ten opzichte van de CO₂-emissie in 1990). Uit Tabel 3.1 blijkt dat de binnenlandse CO₂-emissies in 2010 toe mogen nemen tot 186 Mton, onder de aanname dat 20 Mton broeikasgassen in het buitenland wordt gereduceerd. Dit is een stijging met +12% ten opzichte van het niveau aan CO₂-emissies in 1990. Indien aan de reductiedoelstelling van -40% in 2030 dient te worden voldaan, dan dient de totale binnenlandse CO₂-emissie met 20% te dalen ten opzichte van het niveau in 1990.

In het NMP4 wordt voor 2030 echter uitgegaan van een reductiedoelstelling voor CO₂ (en dus niet voor alle broeikasgassen) van -40% ten opzichte van 1990. In Tabel 3.2 is weergegeven wat in dit geval de consequentie is voor de (maximale) binnenlandse CO₂-emissie in 2030 indien deze reductie in Nederland dient te worden gerealiseerd. De totale CO₂-emissie in 1990 bedraagt 166 Mton. Een reductie met 40% betekent een CO₂-doelstelling van 100 Mton in 2030 (stap 1). De uitstoot van de overige broeikasgassen in 2030 bedraagt 25 Mton, zodat de totale binnenlandse emissies uitkomen op 125 Mton. Dit is een reductie met -41% ten opzichte van het niveau in 1990.

¹⁴ binnen Nederland

Tabel 3.2 *Invulling van de reductiedoelstelling voor CO₂ en overige broeikasgassen in 2030, uitgaande van een reductiedoelstelling ten aanzien van CO₂ voor 2030 in Nederland (conform NMP4)*

-40% voor CO ₂ in 2030 in NL			realisatie 1990	doel 2030
Stap 1	reductie CO ₂	[% t.o.v. 1990]		-40
	Uitstoot CO ₂ in NL	[Mton]	166	100
Stap 2	Uitstoot andere gassen	[Mton]	46	25
Stap 3	Reductie buitenland	[Mton]		p.m.
Stap 4	Nederlands doel	[% t.o.v. 1990]		-41
	Totale uitstoot in NL	[Mton]	212	125

3.4 Directe en indirecte CO₂-emissies

Bij het formuleren van een sectorspecifieke reductiedoelstelling kan een onderscheid gemaakt worden naar twee manieren voor het toekennen van CO₂-emissies aan sectoren:

- (1) Alleen de directe CO₂-emissies worden toegekend aan de sectoren (alleen emissies die fysiek plaatsvinden in een sector).
- (2) Zowel de directe als indirecte CO₂-emissies worden toegekend aan sectoren (bij de indirecte emissies gaat het vooral om de CO₂-emissies die plaatsvinden bij het opwekken van elektriciteit ten behoeve van de Gebouwde Omgeving).

In deze studie wordt uitgegaan van de situatie waarin de CO₂-emissies door het verbruik van elektriciteit wel aan de sector worden toegerekend, dit omdat in de Gebouwde Omgeving met behulp van specifieke sectorgerichte maatregelen er voldoende mogelijkheden zijn om de indirecte CO₂-emissies terug te dringen. Het betreft hier zowel maatregelen die betrekking hebben op vraagbeperking (efficiënte apparaten) als ook maatregelen die betrekking hebben op het stimuleren van het lokaal opwekken van duurzame energie (zonthermisch en PV).

Er is een aantal redenen aan te voeren voor het al dan niet meenemen van de emissies ten gevolge van het verbruik van elektriciteit.

- Om de CO₂-emissies terug te dringen kan zowel de efficiëntie aan de productie zijde als aan de vraagzijde (vraagbeperking) worden verhoogd. Aspecten als brandstofsubstitutie en opbouw van (de)centrale productie vallen echter buiten het (huidige) beleidsterrein van VROM-DGW.
- Naar verwachting zal brandstofsubstitutie van gas naar elektriciteit binnen de Gebouwde Omgeving, bijvoorbeeld door toepassing van elektrische warmtepompen, een meer belangrijke rol gaan spelen. Indien deze verschuiving in brandstofinzet op de CO₂-emissies niet wordt meegenomen zou een zwaar vertekend beeld kunnen ontstaan van de ontwikkeling van de emissies.
- Via de inzet van hernieuwbare bronnen is in potentie een aanzienlijke reductie mogelijk. Realisatie van het hiervoor benodigde vermogen vindt grotendeels buiten de Gebouwde Omgeving plaats. Echter, door consumenten alsmede het bedrijfsleden te stimuleren groene stroom af te nemen wordt vanuit de Gebouwde Omgeving sterke druk uitgeoefend op de productiezijde om te zorgen voor voldoende hernieuwbaar aanbod.
- Vanuit energetisch oogpunt verdient het aanbeveling om eerst te proberen het energieverbruik te vermijden (vraagreductie) om vervolgens zo efficiënt mogelijk in de vraag te voorzien. Het vermijden van de energievraag vindt met name plaats in de Gebouwde Omgeving.

3.5 Ontwikkeling CO₂-emissie tot 2030 in de Gebouwde Omgeving

In deze paragraaf wordt ingegaan op de ontwikkeling van de CO₂-emissies in de Gebouwde Omgeving tot 2030. Allereerst wordt ingegaan op de CO₂-uitstoot in 1990 en 2000. Vervolgens wordt een schatting gemaakt van de ontwikkeling van de CO₂-uitstoot bij ongewijzigd beleid. Op basis hiervan wordt tot slot afgeleid hoe groot het emissie gat is tussen de beleidsdoelstelling en de realisatie op basis van het huidig beleid.

3.5.1 CO₂-emissie in 1990 en 2000

De totale CO₂-emissies in de Gebouwde Omgeving in 1990 bedragen circa 51 Mton, zie Tabel 3.3. Hiervan is circa 29 Mton toe te schrijven aan het verbruik van brandstoffen (met name aardgas) en circa 22 Mton aan het indirecte verbruik via elektriciteit. In scenario berekeningen wordt uitgegaan van een temperatuurgecorrigeerde ontwikkeling, dit om een goede vergelijking te kunnen maken tussen diverse zichtjaren. De temperatuurgecorrigeerde emissie in 1990 is met bijna 56 Mton circa 5 Mton hoger dan de niet temperatuurgecorrigeerde emissie.

Tabel 3.3 CO₂-emissies in de Gebouwde Omgeving in 1990

Sector	Totaal fossiele brandstoffen		Elektriciteit		Totaal CO ₂ [Mton]
	[Mton]	[PJ]	[Mton]	[PJ _e]	
Reële emissies					
Huishoudens	19,3	(340)	10,1	(59)	29,3
Diensten ¹⁵	9,9	(171)	11,5	(68)	21,4
Totaal	29,2	(511)	21,6	(127)	50,7
Temperatuurgecorrigeerd					
Huishoudens	22,5	(396)	10,1	(59)	32,6
Diensten ¹⁵	11,6	(199)	11,6	(68)	23,2
Totaal	34,1	(595)	21,7	(127)	55,8

In vergelijking tot 1990 neemt de totale reële emissie in de Gebouwde Omgeving toe met ruim 4 Mton tot circa 55 Mton in 2000, zie Tabel 3.4. Deze toename bij de sector Huishoudens (+1,1 Mton) is toe te schrijven een stijging van de indirecte emissies via elektriciteitsverbruik (+1,3 Mton). De reële CO₂-emissies in de Diensten sector nemen met +3,1 Mton aanzienlijk sneller toe tot 24,5 Mton in 2000. Deze stijging is met name toe te schrijven aan de aan het verbruik van elektriciteit toe te rekenen CO₂-emissie (+2,8 Mton).

Tabel 3.4 CO₂-emissies in de Gebouwde Omgeving in 2000

Sector	Totaal fossiele brandstoffen		Elektriciteit ¹⁶		Totaal CO ₂ [Mton]
	[Mton]	[PJ]	[Mton]	[PJ]	
Reële emissies					
Huishoudens	19,0	(337)	11,4	(79)	30,4
Diensten ¹⁵	10,2	(180)	14,3	(99)	24,5
Totaal	29,2	(517)	25,7	(178)	54,9
Temperatuurgecorrigeerd					
Huishoudens	21,5	(381)	10,9	(79)	32,3
Diensten ¹⁵	11,6	(204)	13,5	(98)	25,1
Totaal	33,1	(585)	24,4	(177)	57,4

Evenals voor het jaar 1990 geldt voor het jaar 2000 dat de temperatuurgecorrigeerde emissie beduidend hoger uitvalt dan de reële emissie (+2,5 Mton). Op de betekenis van de temperatuurcorrectie voor de CO₂-reductiedoelstelling wordt in de volgende paragraaf nader ingegaan.

¹⁵ Diensten = Commercieel + Non-profit = Overige verbruikers – Landbouw - Bouw.

¹⁶ Inclusief het effect van groene stroom.

3.5.2 Temperatuurgecorrigeerde vs. niet temperatuurgecorrigeerde ontwikkeling

De CO₂-emissie in een bepaald zichtjaar is voor een deel afhankelijk van de gemiddelde buitentemperatuur. Het aandeel van het verbruik in een bepaalde sector dat temperatuurafhankelijk is verschilt per sector. In een gemiddeld warme winter wordt in de Gebouwde Omgeving minder aardgas verbruikt voor ruimteverwarming dan in een gemiddeld koude winter. De temperatuurafhankelijke fractie in het gasverbruik voor de sector huishoudens bedraagt circa 80%. Door middel van de graaddagenmethode (EnergieNed) kan het reële verbruik in een bepaald jaar worden omgerekend naar een referentieverbruik, het zogeheten temperatuurgecorrigeerde verbruik, dat correspondeert met het verbruik in een gemiddeld klimatologisch jaar.

Het gemiddelde klimatologische jaar wordt berekend op basis van een 30 jarig gemiddelde. Voor historische analyses, waarbij een temperatuurcorrectie wordt toegepast op het reële verbruik zoals gemeten in het verleden, wordt doorgaans uitgegaan van een 30 jarig zwevend gemiddelde bij de bepaling van het 'gemiddelde' klimatologisch jaar. Doordat er de laatste decennia sprake is van een langzame stijging van de gemiddelde temperatuur, neemt hierdoor ook de gemiddelde temperatuur van het klimatologische jaar dat als referentie voor temperatuurcorrectie dient toe, zie ook (Vreuls, 2001). In toekomstverkenningen, bijvoorbeeld bij het maken van een prognose tot 2030, wordt niet uitgegaan van een 30 jaars zwevend gemiddelde maar een 30 jaars constant gemiddelde, dit omdat de ontwikkeling van de gemiddelde buitentemperatuur¹⁷ in de toekomst niet bekend is.

Wat betekent dit nu concreet voor de beleidsdoelstellingen in 2010 en 2030? Conform de IPCC methode dient voor de bepaling van de CO₂-emissies in 1990 te worden uitgegaan van niet temperatuurgecorrigeerde waarden (reële emissies). De (nationale) reductiedoelstelling van 8% in 2010 ten opzichte van het niveau van 1990 is dan ook ten opzichte van de reële emissies. Doordat conform IPCC wordt uitgegaan van reële emissies ontstaat een gat met de temperatuurgecorrigeerde prognoses van in totaal 5 Mton CO₂ (3,3 Mton voor de sector Huishoudens en 1,8 Mton voor de Diensten sector). Daarbij speelt tevens nog het probleem dat niet te voorspellen is of de gemiddelde budgetperiode 2008 - 2012 gekenmerkt zal worden door relatief warme of door relatief koude winters. Door uit te gaan van prognoses op basis van een (constant) 30 jarig temperatuurgemiddelde, mag worden aangenomen dat de kans op een aantal warme winters in de periode 2008 - 2012 bij benadering even groot is als de kans op een aantal koude winters. In deze studie wordt daarom uitgegaan van een reductiedoelstelling voor 2010 en 2030 ten opzichte van de reële emissies¹⁸ in 1990 die wordt getoetst aan temperatuurgecorrigeerde prognoses¹⁹ voor 2010 en 2030.

3.5.3 Ontwikkeling CO₂-emissies in 2010

In de referentieraming wordt, bij ongewijzigd beleid, een daling van de gasvraag²⁰ gevonden voor zowel de sector Huishoudens als de sector Diensten van 25 PJ. Het elektriciteitsverbruik neemt daarentegen toe met 15 PJ_e voor Huishoudens en 23 PJ_e in de Diensten sector. Door de sterke toename van het aandeel groene stroom bij de sector Huishoudens neemt de totale energetische CO₂-emissie in de Gebouwde Omgeving echter af van ruim 57 Mton in 2000 tot 54 Mton in 2010, zie ook Tabel 2.1. Op de ontwikkeling van het aandeel groene stroom in het totale elektriciteitsverbruik wordt verderop in deze paragraaf nader ingegaan. De totale emissies door verbruik van fossiele brandstoffen neemt af met 2,9 Mton. Het netto effect van de toename

¹⁷ Feitelijk: het aantal graaddagen.

¹⁸ Dus zonder temperatuurcorrectie.

¹⁹ Op basis van een constant 30 jarig gemiddelde. Indien er daadwerkelijk sprake is van een trendmatig stijging van de gemiddelde temperatuur in Nederland, dan zal in 2010 een lagere waarde worden gevonden voor de gemiddelde temperatuurgecorrigeerde waarde op basis van een 30 jarig zwevend gemiddelde (in vergelijking tot de waarde gebaseerd op een 30 jarig constant gemiddelde). Dit betekent dat de prognose een lichte overschatting is. Ofwel, bij een stijging van de gemiddelde buitentemperatuur wordt het eenvoudiger een bepaalde reële emissiedoelstelling te halen. Met dit effect wordt in de prognoses geen rekening gehouden.

²⁰ Temperatuurgecorrigeerd.

van het aandeel groene stroom en de forse toename van het totale elektriciteitsverbruik is een daling van de CO₂-emissie met 0,4 Mton.

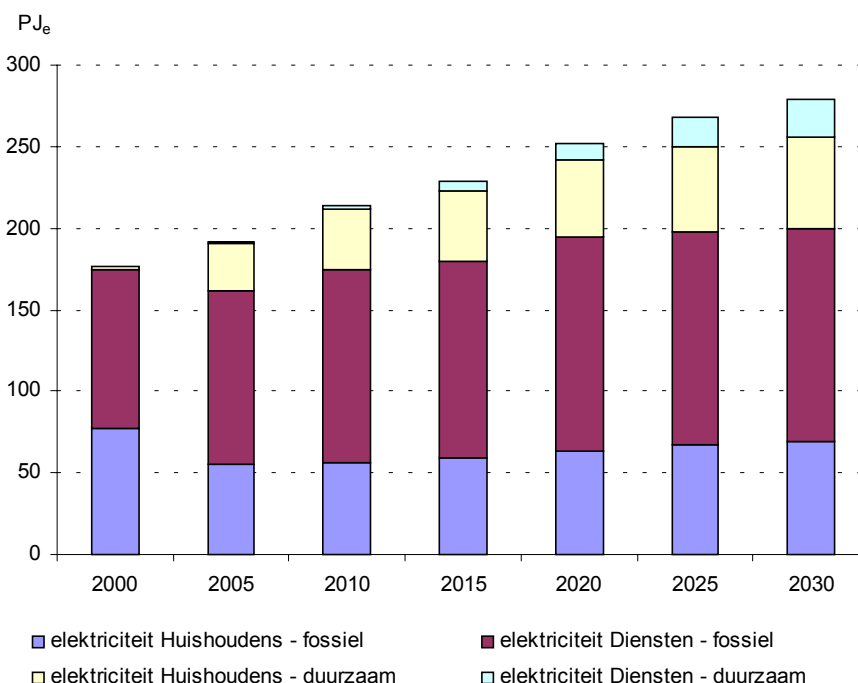
Tabel 3.5 CO₂-emissies in de Gebouwde Omgeving in 2010 [Mton] (Ybema et al., 2002)²⁰

Sector	Totaal fossiele brandstoffen	Elektriciteit ²¹	Totaal CO ₂
Huishoudens	19,8	7,8	27,5
Diensten ¹⁵	10,4	16,2	26,6
Totaal	30,2	23,9	54,1

De daling van de CO₂-emissie door het verbruik van fossiele brandstoffen bij de sector Huishoudens wordt toegeschreven aan een toename van de gemiddelde isolatiegraad van woningen, door de bouw van nieuwe volledig geïsoleerde woningen en na-isolatie van bestaande woningen, en door de verbetering van het gemiddelde rendement van ICV-ketels door de HR-ketel. De stijging van het huishoudelijk elektriciteitsverbruik is toe te schrijven aan een toename van het gemiddelde apparaatbezit per huishouden. Voor de sector Diensten geldt dat de interne warmtelast van kantoorapparatuur een grotere rol gaat spelen. Hierdoor neemt de vraag naar warmte af en de vraag naar koeling toe (hogere elektriciteitsvraag). Het overige deel van de daling van de gasvraag in de Dienstensector wordt toegeschreven aan de toename van de gemiddelde isolatiegraad en het gemiddelde ketelrendement.

3.5.4 Ontwikkeling van het aandeel groene stroom

Een belangrijke, doch onzekere factor bij het bepalen van de CO₂-emissie ten gevolge van het elektriciteitsverbruik in de Gebouwde Omgeving is het aandeel van groene stroom. In Figuur 3.3 is de verwachte ontwikkeling van het elektriciteitsverbruik in de Gebouwde Omgeving weergegeven. De ontwikkeling over de periode 2000 - 2010 is ontleend aan (Ybema et al., 2002). De ontwikkeling in de periode 2010 is gebaseerd op een extrapolatie van de resultaten van de referentieraming.



Figuur 3.3 Ontwikkeling van het duurzame en fossiel opgewekte elektriciteitsverbruik [PJ_e] in de Gebouwde Omgeving.

²¹ Inclusief het effect van groene stroom.

In 2000 neemt ruim 2% van de Huishoudens groene stroom af. Dit aandeel neemt naar verwachting snel toe tot circa 40% in 2010. Dit betekent dat in 2010 ruim 35 PJ_e aan duurzame opgewekte elektriciteit wordt afgenomen binnen de sector Huishoudens. In de Diensten sector wordt in 2010 naar verwachting ruim 1 PJ_e duurzaam opgewekte elektriciteit afgenomen door met name overheidsinstellingen. Voor 2030 is uitgegaan van een toename van het aandeel groene stroom in het totale elektriciteitsverbruik tot 45% (circa 55 PJ_e) voor de sector Huishoudens en 15% (circa 25 PJ_e) voor de Diensten sector.

3.5.5 Prognose van de CO₂-emissie in 2020 en 2030.

Het doortrekken van de ontwikkelingen zoals geschetst in de Referentieraming tot 2020 laten een afnemende daling van de vraag naar fossiele brandstoffen zien. In de Diensten sector treedt in de periode 2010 - 2020 een stabilisatie op, terwijl in de sector Huishoudens de vraag beperkt afneemt (circa 10 PJ). Het elektriciteitsverbruik blijft echter verder toenemen. De totale CO₂-emissie²² in de sector Huishoudens neemt hierdoor in de periode 2010 - 2020 toe met circa 0,3 Mton tot bijna 28 Mton. De totale CO₂-emissies in de Diensten sector nemen toe tot een kleine 27 Mton in 2020. Hiervan is een kleine 11 Mton toe te schrijven aan het verbruik van fossiele brandstoffen en 16 Mton aan het verbruik van elektriciteit.²³ De geeft voor de Gebouwde Omgeving in 2020 een totale CO₂-emissie van ruim 55 Mton CO₂.

Uitgaande van een stabilisatie van het verbruik aan fossiele brandstoffen wordt voor de sector Huishoudens in 2030 een totale emissie van 29 Mton berekend, waarvan ruim 19 Mton verbruik door het verbruik van fossiele brandstoffen en een kleine 10 Mton door het verbruik van elektriciteit.²⁴ De totale CO₂-emissie in de Diensten sector neemt toe tot 28 Mton, waarvan ruim 17 Mton is toe te schrijven aan de indirecte emissie door het verbruik van elektriciteit. De totale CO₂-emissie in de Gebouwde Omgeving in 2030 komt hiermee uit op ruim 56 Mton in 2030, waarvan 30 Mton door het verbruik van fossiele brandstoffen en 27 Mton door het verbruik van elektriciteit.

De forse toename van het aandeel groen stroom heeft een aanzienlijk effect op de hoogte van de aan de Gebouwde Omgeving toegerekende CO₂-emissies. Indien uitgegaan zou zijn van gemiddelde emissiefactoren op basis van het centrale productiepark, dan zouden de CO₂-emissies ten gevolge van het verbruik aan elektriciteit respectievelijk 5 Mton in 2010, 7 Mton in 2020 en ruim 9 Mton in 2030 hoger zijn uitgevallen. Hierbij dienen de volgende kanttekeningen te worden geplaatst. Doordat een groot deel van de duurzaam opgewekte elektriciteit van de Gebouwde Omgeving wordt toegerekend, neemt de emissiefactor voor de overige afnemers die niet expliciet voor de afname van groen stroom hebben gekozen toe. Dit geldt zowel voor de 'overige afnemers' in de Gebouwde Omgeving als de afnemers in de overige sectoren. Voor de Gebouwde Omgeving is voor dit effect op de CO₂-emissies een eerste orde correctie doorgevoerd. Tevens is uitgegaan van bestaand beleid, met een nihil tarief voor duurzaam opgewekte elektriciteit, hetgeen betekent dat voor huishoudens groene stroom niet duurder is dan 'grijze' stroom.

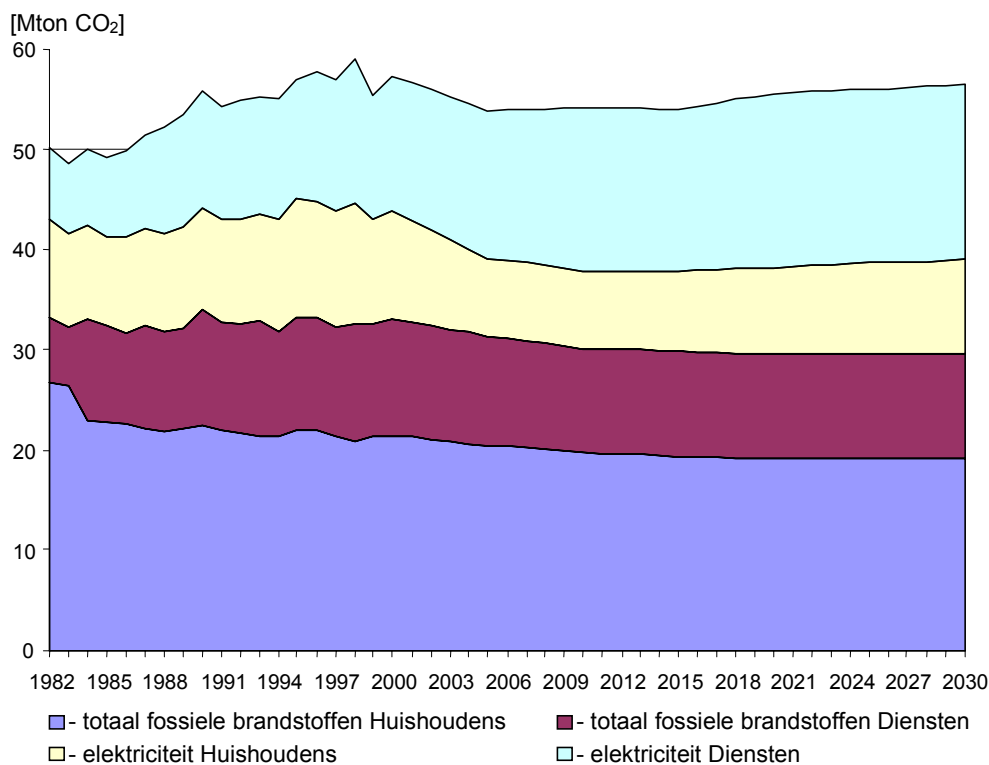
De ontwikkeling²⁵ van de (temperatuurgecorrigeerde) CO₂-emissie, inclusief het effect van de afname van groene stroom, is samengevat in Figuur 3.4.

²² Totaal fossiele brandstoffen (direct) + elektriciteit (toegerekend).

²³ Bij een totale elektriciteitsvraag van 140 PJ_e in 2020.

²⁴ Bij een totale elektriciteitsvraag van 125 PJ_e in 2030.

²⁵ Realisatie over de periode 1982 – 2000 en prognose over 2000 – 2030.



Figuur 3.4 *Ontwikkeling van de temperatuurgecorrigeerde CO₂-emissie in de Gebouwde Omgeving in de periode 1982 - 2000 en prognose van de temperatuurgecorrigeerde CO₂-emissie over de periode 2000 - 2030, inclusief het effect van de afname van groene stroom*

Opgemerkt dient te worden dat de schatting van het energieverbruik en de resulterende emissies in de Gebouwde Omgeving in 2030 niet zijn gebaseerd op zeer gedetailleerde scenarioberekeningen, maar zijn afgeleid op basis van extrapolaties van de ontwikkelingen tot 2020. Bij de schatting is (beperkt) rekening gehouden met een aantal factoren, zoals een afname van de groei van de bevolking en een toenemende vergrijzing. Met name aan de ontwikkeling van het aandeel groene stroom alsmede de efficiëntie van het centrale productiepark, en derhalve de hoogte van de toegerekende emissie door het verbruik van elektriciteit, dient voor het jaar 2020 en met name het jaar 2030 een ruime onzekerheidsmarge te worden toegekend.

3.6 Reductiedoelstelling Gebouwde Omgeving

In Paragraaf 3.3 is aangegeven op welke wijze een inschatting gemaakt kan worden van de spanningen die binnen Nederland moeten worden gedaan indien aan een bepaalde reductiedoelstelling dient te worden voldaan. In Paragraaf 3.5 is vervolgens specifiek ingegaan op de verwachte ontwikkeling van het energieverbruik en de hieruit voortvloeiende directe en toegerekende CO₂-emissies. Op basis van deze gegevens, alsmede factoren zoals resterende CO₂-reductiemogelijkheden per sector, dient een inschatting gemaakt te worden van een sectorspecifieke reductiedoelstelling voor de Gebouwde Omgeving.

Het aandeel van de totale CO₂-emissies door het verbruik van fossiele brandstoffen en elektriciteit binnen de Gebouwde Omgeving in de totale broeikasgasemissies in de periode 1990 - 2030 is vrijwel constant op 26%. Indien het effect van de afname van groene stroom niet wordt meegerekend, dan neemt het aandeel van de Gebouwde Omgeving in de totale broeikasgasemissies toe tot 30% in 2030.

Op basis van recente prognoses voor de ontwikkeling van het energieverbruik bij inzet van het huidige beleid, mag voor het jaar 2010 een reductiegat tussen de verwachte emissie en de reductiedoelstelling van circa 25 Mton worden verwacht, zie ook Paragraaf 3.5. Voorgenomen is om 20 Mton aan broeikasgassen in het buitenland te reduceren, zodat in Nederland naar verwachting nog circa 5 Mton additioneel dient te worden gereduceerd om aan de doelstelling voor 2010 te voldoen. Indien wordt uitgegaan van een reductiedoelstelling van -40% voor CO₂ in 2030, dan bedraagt het reductie gat tussen de prognose en de doelstelling circa 95 Mton. Onder de aanname dat 30 Mton aan broeikasgassen in het buitenland wordt gereduceerd, bedraagt het gat tussen de verwachte emissie en de doelstelling 65 Mton.

Hoe moeten nu de additionele (binnenlandse) reductiedoelstelling van (naar verwachting) 5 Mton in 2010 en 65 Mton in 2030 worden vertaald naar sectorspecifieke reductiedoelstellingen. Uitgegaan zou kunnen worden van een evenredige verdeling over de sectoren. Echter, dit hoeft uit oogpunt van kosteneffectiviteit niet de meest optimale oplossing te zijn. Naast kosteneffectiviteit speelt tevens de implementeerbaarheid van additioneel overheidsbeleid, draagvlak bij de sector, het resterende reductiepotentieel, alsmede overige macro economische aspecten, zoals effecten op de concurrentiepositie van de industrie en werkgelegenheid een rol. Binnen het kader van deze studie is het niet mogelijk om een onderbouwde verdeling te maken van de sectorspecifieke reductieverplichtingen waarbij rekening gehouden wordt met alle eerder genoemde aspecten. Tevens is het vaststellen van sectorspecifieke doelstelling ten dele een politieke keuze. Op basis van een aantal kentallen wordt echter getracht een eerste orde schatting van een sectordoelstelling voor de Gebouwde Omgeving te maken.

In 2010 dient naar verwachting additioneel 5 Mton aan broeikasgassen binnen Nederland te worden gereduceerd. Dit komt overeen met een reductie van 2,6% van de verwachte waarde voor de CO₂-uitstoot in 2010. De verwachte CO₂-uitstoot voor de Gebouwde Omgeving in 2010 bedraagt circa 54 Mton, zie ook Tabel 3.5. Uitgaande van een evenredige verdeling over de sectoren, betekent dit dat tot 2010 circa 1,4 Mton aan broeikasgassen dient te worden gereduceerd. Voor de Gebouwde Omgeving zijn een aantal maatregelen geformuleerd die hierin deels moeten voorzien (Menkveld, 2002). Verwacht wordt dat het 'pijplijnbeleid' voor de Gebouwde Omgeving 0,25 - 0,6 Mton CO₂-reductie op zal leveren in 2010. Naar verwachting resteert er, indien wordt uitgegaan van een evenredige verdeling over de sectoren, nog een reductiegat van 0,8 - 1,1 Mton. Indien de Gebouwde Omgeving verhoudingsgewijs meer moet reduceren dan de overige sectoren, dan valt de additionele reductiedoelstelling²⁶ nog hoger uit.

Een totale additionele reductieverplichting van 65 Mton²⁷ in 2030 komt overeen met een reductiepercentage van 33% ten opzichte van de verwachte uitstoot van CO₂ in 2030. De verwachte CO₂-emissie in de Gebouwde Omgeving komt in 2030 uit op 56 Mton. Een (evenredige) reductie met 33% betekent dat er in 18 Mton in de Gebouwde Omgeving dient te worden gereduceerd. De totale uitstoot in de Gebouwde Omgeving in 2030 komt in dit geval uit op circa 38 Mton CO₂. Indien de reductie (in %) in de Gebouwde Omgeving hoger dient uit te vallen dan de reductie in de overige sectoren, dan bedraagt de additionele reductiedoelstelling in 2030 meer dan 18 Mton.

Bij de bovenstaande bepaling van een mogelijke additionele reductiedoelstelling is het effect van de afname van groene stroom meegenomen. De feitelijke productie van deze groene stroom vindt echter grotendeels buiten de Gebouwde Omgeving plaats. Dit betekent in feite dat de energieproductiesector een deel (circa 9 Mton) van de reductiedoelstelling voor de Gebouwde

²⁶ Zijnde het verschil tussen de verwachte uitstoot aan broeikasgassen (inclusief huidig en pijplijnbeleid) en de CO₂-reductiedoelstelling.

²⁷ Uitgaande van een reductiedoelstelling van -40% voor CO₂ in 2030 ten opzichte van het CO₂-emissioniveau in 1990. Indien wordt uitgegaan van een reductiedoelstelling van -40% in 2030 voor alle broeikasgassen ten opzichte van de emissie in 1990, ontstaat een reductiegat van 63 Mton. Opgemerkt dient te worden dat de grootte van de additionele reductiedoelstelling een grote onzekerheid kent, dit omdat deze sterk wordt bepaald door de emissieontwikkeling in het referentiescenario.

Omgeving voor haar rekening zou nemen. Indien het effect van het verbruik van groene stroom op de CO₂-emissies niet meegeteld zou worden, dan zouden de emissies in de Gebouwde Omgeving in 2030 naar schatting uitkomen op 66 Mton. Een evenredige reductie met 33% zou in dit geval betekenen dat binnen de Gebouwde Omgeving 22 Mton additioneel gereduceerd zou moeten worden in 2030. De aan de Gebouwde Omgeving toe te rekenen emissies²⁸ zouden hiermee uitkomen op 35 Mton CO₂.

Een andere wijze om te komen tot een mogelijke reductiedoelstelling voor de Gebouwde Omgeving is om het reductiepercentage van -40% toe te passen op de (reële) uitstoot in 1990. De directe en toegerekende CO₂-emissie in 1990 bedraagt 50,7 Mton, zie ook Tabel 3.3. Een reductie met -40% geeft voor 2030 een emissie van circa 30 Mton. Indien als randvoorwaarde wordt gesteld dat de directe emissies²⁹ ten gevolge van de verbranding van fossiele energiedragers met -40% teruggedrongen zouden moeten worden, dan zou de directe CO₂-emissies in 2030 maximaal 17,5 Mton CO₂ mogen bedragen. Deze benadering kan echter een vertekend beeld geven doordat geen rekening wordt gehouden met aspecten van brandstofsubstitutie. Bedacht dient te worden dat in het scenario op basis waarvan de referentieontwikkeling is vastgesteld uitgegaan wordt van een verschuiving naar een meer dienstengeoriënteerde economie. Vanuit die optiek lijken de via deze weg afgeleide reductiedoelstellingen redelijk ambitieus.

Opgemerkt dient te worden dat het hier een ruwe indicatieve schatting van een mogelijke doelstelling voor de CO₂-uistoot voor de Gebouwde Omgeving in 2030 betreft. In al deze benaderingen wordt voorbijgegaan aan het gegeven dat, afhankelijk van de groei en beschikbaarheid van besparingsopties, er per sector grote verschillen kunnen optreden met betrekking tot zowel de mogelijkheden als ook de kosten(effectiviteit) waar tegen een bepaald reductie kan worden behaald. Voor bijvoorbeeld de sector Verkeer en Vervoer lijkt het, gezien de groei van de emissie in de periode 1990 - 2000, niet uitgesloten dat alleen tegen relatief hoge kosten en middels ingrijpende maatregelen een CO₂-reductie van -40% in 2030 ten opzichte van 1990 mogelijk. Het lijkt niet onwaarschijnlijk dat binnen andere sectoren eenzelfde reductie mogelijk zou zijn tegen geringere kosten.

Het bepalen van een sectordoelstelling zonder dat rekening gehouden wordt met sectorspecifieke reductiepotentiëlen en reductiekosten leidt zeer waarschijnlijk tot een macro-economisch suboptimale verdeling van de te behalen additionele CO₂-reductie. Ook is, en dit is feitelijk wel noodzakelijk, niet nagegaan in hoeverre de geschetste ontwikkeling voor de Gebouwde Omgeving spoort met de verbruiksentwikkeling in de overige sectoren. De inzet van bepaalde energiebronnen (bijvoorbeeld biomassa) in de Gebouwde Omgeving concurreert mogelijk met de inzet van deze energiebronnen in andere sectoren. Binnen het kader van dit project was het niet mogelijk om voor de jaren 2020 en 2030 te checken³⁰ of de veronderstelde ontwikkeling van het energieverbruik binnen de Gebouwde Omgeving tezamen met de verbruiksverwachte ontwikkeling in de overige sectoren leidt tot de in Paragraaf 3.3 geschetste ontwikkeling van de totale (nationale) CO₂-emissies. Tevens kent ook de prognose van de ontwikkeling van het energieverbruik zoals gegeven in Figuur 3.4 een forse bandbreedte. Het afleiden van consistente sectorspecifieke reductiedoelstellingen voor alle sectoren binnen de Nederlandse economie, waarbij rekening gehouden wordt met sectorspecifieke reductiepotentiëlen en reductiekosten, valt echter buiten het kader van deze studie.

²⁸ Direct + toegerekend, inclusief effect groene stroom.

²⁹ 29,2 Mton CO₂ in 1990, zie Tabel 3.3.

³⁰ Het totale plaatje is wel consistent voor de jaren 2000 en 2010.

3.7 Samenvattend

Een eenduidige sectorspecifieke reductiedoelstelling voor 2030 die tevens macro-economisch optimaal is, is in het kader van dit project niet af te leiden. Indien wordt uitgegaan van een evenredige verdeling van de emissiereductie over alle sectoren, dat wordt een maximale uitstoot voor de Gebouwde Omgeving berekend van rond de 35 - 40 Mton CO₂ in 2030. In deze studie wordt uitgegaan van een reductiedoelstelling van 35 Mton voor 2030.

4. KENMERKEN VAN DE GEBOUWDE OMGEVING

In de transitie naar een duurzame Gebouwde Omgeving speelt een aantal factoren een rol. Het gaat hierbij bijvoorbeeld om, al dan niet, autonome ontwikkelingen in de Gebouwde Omgeving, zoals veranderingen in eigendomsverhouding, de belangen van de verschillende actoren binnen en buiten de Gebouwde Omgeving en de huidige en toekomstige beleidsinstrumenten waarmee het gedrag van de relevante actoren kan worden beïnvloed. Een aspect dat hierbij een rol speelt is de inhomogeniteit van de Gebouwde Omgeving, zowel op het gebied van specifiek energieverbruik als ook de relevante actoren. In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op de positie en stuurbaarheid van actoren, effecten van bepaalde (autonome) trends alsmede de segmentering van de Gebouwde Omgeving.

4.1 Ontwikkelingen in de Gebouwde Omgeving

Beschouwen we de Gebouwde Omgeving in relatie tot de toekomstige energie-infrastructuur, dan zijn verschillende segmenten te onderscheiden. We hebben te maken met bestaande gebouwen en nieuwbouw. De woningen zijn te onderscheiden naar dichtheid (van vrijstaand tot hoogbouw) en woonvorm (eengezins- en meergezinswoningen). Naarmate ze ouder zijn is het energieverbruik relatief groter (minder isolatie en besparingstechnieken). Naast woningen, die het grootste deel van de Gebouwde Omgeving vormen, is er utiliteitsbouw (kantoren, bedrijven, scholen, ziekenhuizen, etc.).

De gebouwen met hun energieverbruik veranderen onder invloed van beslissingen van gebruikers en eigenaren. De energievoorziening wordt in sterke mate bepaald door de beschikbare infrastructuur, die een hoger schaalniveau heeft (buurt, wijk, dorp of stad). In de veranderingsprocessen zijn professionele organisaties actief: ontwerpers, bouwers, adviseurs die de eigenaren en gebruikers helpen om hun wensen met betrekking tot de gebouwen en hun omgeving te realiseren.

Sinds de jaren zeventig van de vorige eeuw is de bestaande Gebouwde Omgeving steeds sterker in beeld gekomen. De decennia daarvoor stonden in het teken van de naoorlogse wederopbouw en een voorspoedige economische groei. Er was vrijwel alleen aandacht voor nieuwbouw.

De belangrijkste veranderingsprocessen zijn: uitbreiding met nieuwe gebouwen, verbetering en aanpassing van bestaande gebouwen en vervanging van bestaande gebouwen door nieuwe. De overheid heeft vooral invloed op deze veranderingen door regelgeving. Via het Bouwbesluit gelden landelijk uniforme technische eisen voor nieuwe en voor (veranderingen aan) bestaande gebouwen. Ook op het aanbod van de energie-infrastructuur oefent zij invloed uit, maar dit gebeurt op een decentraal, lokaal niveau. Voor de verschillende vormen van energieopwekking of energieverbruik in gebouwen geldt vooral een pakket eis via de EPN (onderdeel van het Bouwbesluit) en EPL. Veranderingen in bestaande gebouwen zijn in de regel niet afdwingbaar. Pas wanneer veranderingen worden aangebracht kunnen eisen aan de kwaliteit daarvan worden gesteld.

Veranderende gebouwenvoorraad

Te ontwikkelen transitiepaden moeten aansluiten op een veranderende gebouwenvoorraad. Het is niet te voorspellen hoe de gebouwenvoorraad in 2030 eruit zal zien, maar een ontwikkelingsrichting is wel aan te geven. Het huidige beleid is vastgelegd in de Nota Mensen Wensen Wonen.

Voor woningen zijn de volgende trends van belang:

- Verschuiving van huur naar koop: meer individueel woningbezit.
- Voortgaande verdunning: meer woonoppervlak per inwoner.
- Individualisering: eigen aanpassingen van de woning.
- Meer aandacht voor veiligheid en gezondheid.
- Upgrading: een voortgaande kwaliteitsverbetering.
- Verruiming: hogere verdiepingen, grotere deuren, meer volume per inwoner.
- Complexere bouwvormen in verstedelijkte gebieden: overdekt parkeren, functiemenging, hoogbouw.
- Nieuwe woonvormen in groene gebieden (verdund wonen).
- Meer automatisering: elektronische bediening en besturing op afstand van onderdelen van de woning.
- Meer diensten gekoppeld aan de woning: zorg, toelevering, welzijn.

Bestaande woningvoorraad

In de bestaande voorraad speelt de voortgaande ontwikkeling van de kwaliteit. Woningen worden vergroot, aangepast, beter geïsoleerd. Dit voltrekt zich in een betrekkelijk willekeurig patroon: de beslissingen van de afzonderlijke eigenaren bepalen wat verandert. De corporaties zijn waarschijnlijk het meest aanspreekbaar als het gaat om maatschappelijk wenselijke veranderingen in de bestaande voorraad. De investeringsbereidheid in relatie tot het klimaatbeleid wordt echter getemperd door de beperkte armslag. Maatschappelijke vraagstukken als betaalbaarheid, kwaliteitsverbetering, leefbaarheid en zorg leggen al een aanzienlijk beslag op de beschikbare investeringsruimte. Het beleid in de afgelopen jaren stond vooral in het teken van het vergroten van de solvabiliteit. Ook neemt naar verwachting het aandeel van de door woningbouwcorporaties beheerde woningen in de totale woningvoorraad verder af.

Waar de kwaliteit te sterk tekort schiet zien we vervangende nieuwbouw. Ingrijpende structurele veranderingen beperken zich tot (delen van) herstructureringswijken. Hoewel dit de gelegenheid biedt ook de energie-infrastructuur aan te passen is het de vraag of de schaalgrootte hiervoor voldoende is. In bestaande wijken met relatief lage dichtheden (herstructurering zien we veelal in de dichter bebouwde wijken) zal verandering van de energie-infrastructuur een opzichzelfstaande ingreep zijn: de Gebouwde Omgeving verandert daar vooral op woningniveau. In de veranderingsprocessen in bestaande woonwijken kan in achterblijvende gebieden door aanschrijvingsbeleid verbetering worden afgedwongen. Daarnaast is er generiek beleid: subsidie voor EP-advisering en renteaftrek op investeringen van de eigenaar-bewoner.

Belangrijkste kenmerk van de veranderingen in de bestaande woningvoorraad is de traagheid ervan. Veranderingen in de energie-infrastructuur zullen in deze omgeving niet gemakkelijk tot stand komen: de grootschaligheid botst met de kleinschaligheid van de bouwactiviteiten in de bestaande voorraad.

Nieuwe woninglocaties

Na de uitontwikkeling van de Vinex-locaties, die rond 2015 zijn beslag zal hebben gehad, zal de ontwikkeling van nieuwe grootschalige woningbouwlocaties mogelijk veel minder aan de orde zijn. Een deel van de nieuwe uitbreidingsbehoefte kan nog worden opgevangen op locaties die al in ontwikkeling zijn.

De vraag naar meer kwaliteit en een afnemende uitbreidingsbehoefte zou tot uiting kunnen komen in kleinschaliger locaties. In het tijdsbestek van de periode 2010-2030 zullen de nieuwbouwlocaties waarschijnlijk weinig draagvlak kunnen bieden voor nieuwe energie-infrastructuur, en dan ook nog op een klein schaalniveau gericht moeten zijn. Een grotere ruimtebehoefte per hoofd van de bevolking dan nu voorzien zou dit beeld kunnen doorkruisen.

Het is de vraag of deze nieuwe locaties als een trekker kunnen fungeren voor geheel nieuwe vormen van energietoelevering aan de woning. De belangrijkste functie kan zijn om die vormen van klimaatneutrale energiedragers toe te passen die goed aansluiten bij de veranderingen die in de bestaande voorraad nodig zijn. Daarin kunnen ze als voorlopers fungeren.

Bestaande utiliteitsgebouwen

De trends in de utiliteitsbouw zijn minder goed voorspelbaar. Perioden met een hoog en laag investeringsniveau wisselen elkaar af (varkenscyclus). Sommige trends in het wonen zijn door te trekken naar het werken in de dienstverlening: een hoogwaardige, prettige omgeving ziet men als een middel om personeel te werven of te houden. De wenselijke menging van wonen en werken op goed bereikbare locaties brengt beide functies samen. Een verbeterde toegankelijkheid is in de werkomgeving even wenselijk als in de woonomgeving. Sterker dan in de woonomgeving is er de wens om de werkomgeving op afstand te kunnen besturen: regeltechniek en beveiliging zijn er verder gevorderd en staan in het teken van de beheersing van het binnenmilieu. De intrede van de automatisering maakte dit zowel mogelijk als ook noodzakelijk: de interne warmtelast van een hogere bezettingsgraad en meer apparatuur schept in een goed geïsoleerd gebouw al snel een probleem dat met koeling wordt opgelost. Vanuit een oogpunt van energie-efficiency is dit minder wenselijk.

De voorraad utiliteitsgebouwen kent een grotere diversiteit en geringere voorspelbaarheid als het gaat om veranderingen. In het segment overheid en budgetsector (gezondheidszorg, onderwijs, e.d.) is sprake van een inhaal door ontstane kwaliteitstekorten. Daar ligt ruimte om op dat moment ook de technische infrastructuur van de gebouwen te herzien. De dienstensector is sterk gegroeid in de afgelopen decennia, waarbij de ICT en telecombedrijven vooraan stonden. De grotere dynamiek in de voorraad, zowel wat betreft uitbreiding als de bestaande voorraad en in beide in de ontwikkeling van de gebruiksmogelijkheden bieden meer aangrijpingspunten voor veranderingen in de energievoorziening en het energieverbruik.

In deze segmenten is vaak sprake van een scheiding tussen eigendom en gebruik. Het energieverbruik speelt in de bedrijfsvoering van de dienstverlening een ondergeschikte rol. Ten opzichte van de personeels- en huisvestingskosten is de energielevering een marginale kostenpost. Dat wordt evenwel vertekend omdat de installatietechniek tot de huisvestingskosten wordt gerekend, en daarin een steeds groter aandeel krijgt.

Bij oudere gebouwen horen oudere, vaak verouderde installaties. Een verouderde elektriciteitsvoorziening of liftinstallatie bijvoorbeeld. Vernieuwingen gebeuren stapsgewijs, waardoor de overstap op een heel nieuw systeem aanzienlijk kapitaalsverlies kan betekenen: er is altijd wel iets recent vernieuwd. De combinatie van verwarming, ventilatie, eventueel koeling, warmwater, computernetwerk, telefooninstallatie, beveiliging, lift, regeltechniek neemt een steeds groter deel van de kapitaalsinvestering van utiliteitsgebouwen in beslag, mede door de kortere afschrijvingstermijnen.

Nieuwe utiliteitsgebouwen

In tegenstelling tot woningen hebben de meeste utiliteitsgebouwen een aanzienlijk kortere gebruiksduur. Veel kantoren uit de eerste decennia na de tweede wereldoorlog hebben een ander gebruik gekregen of zijn gesloopt. De gebruikers verhuisden van de grote stadsstraten naar dichtbij de snelweg. Het is de vraag of deze verschuiving een nieuwe dimensie krijgt. Waarschijnlijker lijkt echter een intensivering op de reeds ontwikkelde knooppunten van snelweg en openbaar vervoer, zolang zich geen nieuwe vervoerssystemen aandienen. Dat betekent dat herontwikkeling een belangrijker plaats krijgt dan de uitbreiding met nieuwe locaties. Veel nieuwe gebouwen zullen echter voldoende omvang hebben om te investeren in een combinatie van energie-infrastructuur en gebouwinstallaties die een bijdrage kunnen leveren aan een klimaatneutraal beleid.

Een voorbeeld hiervan is het ING-house aan de Zuidas van Amsterdam. In dit in aanbouw zijnde gebouw hebben de op energie efficiency ontwikkelde installaties een groot aandeel in de totale investering. Met behulp van een uitgekiend ventilatiesysteem en warmteopslag hoopt men de warmtelast van gebruikers en van de aanzienlijke zinstraling in dit glazen huis te baas te blijven. Bij zo'n gebouw is de extra investering voor klimaatneutrale energiedragers verhoudingsgewijs gering. De meeste utiliteitsgebouwen zijn echter eenvoudiger van opzet.

4.2 Kenmerken en invloed van actoren

Bij de transitie naar een meer duurzame Gebouwde Omgeving door de inzet van onder meer klimaatneutrale energiedragers spelen zowel direct betrokken actoren in de Gebouwde Omgeving als ook actoren die op afstand invloed uitoefenen. Tot de eerste groep rekenen we die actoren die bezig zijn met de (her)ontwikkeling van gebouwen en met de (her)inrichting van terreinen. De tweede groep omvat intermediaire functies in deze ontwikkelingsprocessen: overheid, energiedistributie. In deze paragraaf wordt nader ingegaan op de kenmerken en invloed van actoren die een mogelijk een rol kunnen of moeten spelen in het transitieproces.

4.2.1 Actoren in de Gebouwde Omgeving

De besluitvorming over de energievoorziening in gebouwen ligt bij nieuwbouw vooral bij de ontwikkelaar en toekomstige eigenaar. Bij bestaande gebouwen is het de eigenaar die in overleg met de gebruiker beslist over de inrichting van het gebouw. In meer dan de helft van de bestaande woningen zijn deze rollen aan elkaar verbonden en dit aandeel zal naar verwachting verder groeien (eigen woningbezit).

In de huursector moeten eigenaar en zittende huurder onderhandelingen voeren over veranderingen aan de woning. Dat blijkt in de praktijk niet zo gemakkelijk te zijn. Het is belangrijk de huurder te overtuigen van de voordelen van de voorgestelde aanpassingen. Pas bij voldoende animo bij een grote meerderheid van de huurders kunnen verbeteringen worden doorgevoerd.

De eigenaar-bewoner speelt een steeds belangrijker rol in de veranderingen in de woningvoorraad. Meer dan de helft van de woningen is in eigendom bij de bewoner en dit aandeel zal de komende jaren naar verwachting nog sterk groeien: door verkoop van huurwoningen en doordat hun aandeel in de nieuwbouw ook hoger ligt (70-80%). Na de Vinex-locaties lijkt een aanneemelijk scenario dat het accent verschuift naar de vervangingsvraag, vooral in naoorlogse wijken. Het aandeel van de nieuwbouw zal afnemen, omdat bij een groter aandeel van het eigen woningbezit verbetering vaker aan de orde zal zijn dan sloop/nieuwbouw. Sloop/nieuwbouw komt in dit segment slechts sporadisch voor. Het veranderen en verbeteren van deze woningen is een continue activiteit, die sterk afhankelijk is van de welvaartsontwikkeling. Het klimaatbeleid zal voor de eigenaar-bewoner geen hoofdzaak zijn. De veranderende woonbeleving is de belangrijkste drijfveer van investeringen in de bestaande woning.

De bewoner heeft de wens om een beter binnenklimaat te krijgen, maar dat mag niet gepaard gaan met een groot ruimtebeslag. Flexibiliteit is nodig: als technieken verouderen moet er weer iets nieuws voor in de plaats komen. Veranderingen in de energie-infrastructuur van de woning zullen pas gezocht worden wanneer nieuw aanbod het bestaande verslaat, in kwaliteit, duurzaamheid, exploitatiekosten of prijs. Regelgeving biedt bij bestaande gebouwen en installaties minder soelaas, omdat de verplichting tot verandering moeilijk op te leggen valt. Tot nog toe gaan installaties voor 10-20 jaar mee: daarna is vervanging gewenst. Er is dus een potentieel omvangrijke vervangingsmarkt in de bestaande voorraad, waar nieuwe producten zich op kunnen richten.

Bedrijfsgebouwen worden in hun ontwikkeling sterker gestuurd door de bedrijfsprocessen. Het gebouw is vaker een huls om het proces te beschermen. Niet zelden betekent een procesver-

nieuwing het afstoten van het gebouw en een nieuwe vestiging elders. De vestigingskeuze vindt vaak op een supranationaal niveau plaats: op basis van loonkosten en locatiefactoren verhuist men naar Oost-Europa of Azië, terwijl andere bedrijven zich juist in Nederland vestigen. Het energieverbruik ten behoeve van de huisvesting is vaak ondergeschikt aan dat van het hele bedrijfsproces.

Het primaat voor de keuzen met betrekking tot de ontwikkeling van gebouwen ligt bij de combinatie van eigenaar en gebruiker. De eigenaar (her)ontwikkelt zijn gebouw of koopt het in bij een ontwikkelaar. Voorzien in de wensen van de gebruiker is een primair doel om een rendabel gebouw te realiseren. Waar eigenaar en gebruiker samenvallen is deze verbinding heel direct. De overgang naar klimaatneutrale energiedragers zal bij deze eigenaren en gebruikers moeten worden gestimuleerd (aanzetten om ze toe te passen) of moeten worden afgedwongen (afsnijden van alternatieven).

De realisatie van gebouwen verloopt via een plan- en productieproces, waarin de architect en de bouwer een hoofdrol spelen. Ze laten zich op het terrein van energie in toenemende mate ondersteunen door specialisten: de W&E-adviseur en de installateur. Als het gaat om de omvang van het energieverbruik en de mogelijke inzet van klimaatneutrale energiedragers, dan zullen vooral de specialisten op dat terrein, de W&E-adviseurs het voortouw moeten nemen en met voorstellen moeten komen. Dat vereist bij hen kennis over de mogelijkheden, de voordelen en de kosten.

4.2.2 Actoren op afstand

De belangrijkste beperkingen in het bouwen stelt de overheid. De rijksoverheid bepaalt via het Bouwbesluit het technisch kader voor het bouwen. De laatste decennia is hier een steeds grotere rol gegeven aan energiezuinigheid en milieu. De eisen op het vlak van energiezuinigheid zijn de laatste jaren geleidelijk verder opgeschoefd, zowel voor woningen als voor andere functies. Aan een eisenpakket op het gebied van milieu wordt nog gewerkt. Voorts kan de rijksoverheid via heffingen en belastingen het energieverbruik beperken of sturen.

De keuze voor de energievoorziening in gebouwen is beperkt. De eigenaar en/of gebruiker kan zelf in de energie voorzien, door lokale opwekking (zon en wind), maar meestal is dat niet voldoende. Daarnaast bieden de energiedistributiebedrijven hun vaste pakket aan. De transport- en distributiesystemen van energiebron naar gebouwen worden door deze bedrijven aangelegd en beheerd. Nagenoeg alle gebouwen beschikken over een elektriciteitsaansluiting, en een beperkt aantal zal geen gasaansluiting hebben. Het aandeel van warmtelevering aan woningen en gebouwen beperkt zich tot een aantal specifieke gemeenten zoals Spijkenisse en Utrecht, waar distributiebedrijven al geruime tijd stadsverwarming bieden. Gewoonlijk betekent warmtelevering dat er geen gasnet beschikbaar is. Nagenoeg alle andere woningen beschikken over aardgas en elektriciteit als energiedragers. Op beperkte schaal zijn de laatste jaren nieuwbouwlocaties met stadsverwarming ontwikkeld. En ook op beperkte schaal vindt toelevering van energie plaats door de klant, bij toepassing van wind- en zonne-energie. Energiedistributiebedrijven trachten in de gebouwenmarkt nieuwe concepten door te voeren met behulp van eigen advies-takken.

De ombouw naar klimaatneutrale energiedragers kan grote gevolgen hebben voor deze distributiesystemen. Sterker nog: waarschijnlijk zullen de distributiebedrijven een belangrijke initiërende rol moeten spelen in de Gebouwde Omgeving, afhankelijk van de te kiezen vorm van klimaatneutrale energie. De aansluitvoorwaarden voor particulieren en bedrijven voor de levering van gas en elektra vormen een handvat om tot verandering van energiedragers te komen, op het moment dat verandering of vernieuwing van de energiedistributie aan de orde is.

De aanleg van energiesystemen en de inpassing ervan in nieuwe of bestaande stedenbouwkundige structuren, dat is een thema waarop ook de gemeentelijke overheid veel invloed kan uitoefenen.

fenen. Voor zover de energie-infrastructuur vernieuwing behoeft, zal de gemeente mee moeten werken om de aanleg van netwerken mogelijk te maken. De vervangingscyclus van de energie-infrastructuur biedt zowel voor bestaande woningen als voor andere gebouwen een aanknopingspunt voor ombouw naar andere distributiesystemen. De achteruitgang van oudere aardgasleidingen kan bijvoorbeeld aanleiding vormen voor een transitie naar andere systemen.

Een tweede rol van de gemeente ligt in de programmering van nieuwbouw. Bij de aanleg van nieuwbouwwijken kan de gemeente invloed uitoefenen op de aan te leggen energie-infrastructuur. Dit komt onder meer naar voren in het feit dat de groeikernen en -steden en Vinex-gemeenten relatief sterk vertegenwoordigd zijn bij de groep gemeenten die stadsverwarming aanleggen. Tot enkele jaren geleden waren de gemeenten (mede)eigenaar van de distributiebedrijven, zodat ze directe invloed konden uitoefenen op de keuze van distributiesystemen. De verzelfstandiging van energiedistributie beperkt de gemeentelijke armslag. De bouwopgave voor de komende decennia zal naar verwachting kleinschaliger en meer gevarieerd zijn, zowel bij uitbreiding als bij nieuwbouw in bestaande gebieden. Ook dit beperkt de mogelijkheden van gemeente en energiedistributeur om over te stappen op andere systemen: daar is immers schaal-grootte een eerste vereiste.

Naast de nieuwbouw wint de herontwikkeling van bestaande wijken aan belang. De planontwikkeling voor deze gebieden is complex. Er zijn veel actoren bij betrokken, de belangen zijn sterk uiteenlopend. De energie-infrastructuur is in dit planproces veelal een ongewenste complicatie, die niet met open armen wordt ontvangen. De gemeente claimt in dit planproces een regierol. Tot die rol behoort ook het aankaarten van vernieuwingen in de energie-infrastructuur. Op bescheiden schaal zijn er nu projecten waarbij de toepassing van duurzame energie een centrale positie heeft gekregen. Deze richten zich voornamelijk op bouwkundige ingrepen en installatietechniek.

De lossere relatie tussen gemeente en energiedistributie, met een eigen autonome rol in de (her)ontwikkeling van wijken maakt het noodzakelijk om een dubbele slag te slaan, wanneer verandering in energieproductie en -distributie gewenst wordt: voor beide partijen moet het duidelijk zijn dat deze verandering doorgang moet vinden en een actieve opstelling van de actoren kan verwachten.

4.3 Huidige en toekomstige beleidsinstrumenten

In het NMP4 worden drie sporen onderscheiden via welke het beleid de ontwikkeling van de uitstoot aan broeikasgassen kan beïnvloeden, zie ook Paragraaf 3.1. Het betreft hier:

1. hernieuwbare energiebronnen, zoals zon, wind, waterkracht en biomassa,
2. efficiënter energiegebruik, bijvoorbeeld door beperking van de energievraag,
3. geavanceerde energietechnologie voor emissiereductie, zoals productie van klimaatneutrale energiedragers via bijvoorbeeld CO₂-afvang.

Hernieuwbare bronnen kunnen zowel worden ingezet op lokaal niveau (PV, zonneboilers) als ook centrale en decentraal niveau (windparken). Het komen tot een efficiënter energieverbruik richt zich met name op het laatste element in de energieketen, zie ook Figuur 6.1, zijnde de beperking van de (finale)energievraag. Ook op het niveau van de infrastructuur is een (beperkte) efficiëntiewinst te behalen door bijvoorbeeld beperking van transportverliezen. Het derde spoor om door middel van geavanceerde energietechnologie de CO₂-emissies te beperken grijpt met name aan op (grootschalige) (de)centrale energieproductie. De sporen 'hernieuwbaar' en 'geavanceerd' grijpen (groten)deels aan op hetzelfde punt in de energieketen. Het beleidsspoor 'efficiënt' daarentegen is zowel complementair ten opzichte van zowel 'hernieuwbaar' en 'geavanceerd'.

In de Gebouwde Omgeving kan de CO₂-emissie worden beïnvloed door het inzetten van verschillende instrumenten. Deze paragraaf schetst dit instrumentarium en de actoren waarop het betrekking heeft en de mogelijke verdere ontwikkeling. Volgens het NMP-4 moeten nieuwe beleidsinstrumenten zodanig gekozen worden dat de betrokken partijen er zelf belang bij krijgen om de milieuproblemen aan te pakken. Ook wordt de keuze van de middelen die gebruikt worden om de taakstelling te realiseren zoveel mogelijk aan marktpartijen overgelaten. De overheid stuurt voorts dan ook steeds meer aan op instrumenten die op marktsturing gericht zijn. Dit zijn heffingen of belastingen, maar ook een systeem van verhandelbare emissies in combinatie van harde milieudoelstellingen. Het voordeel van heffingen en belastingen is dat de kosten in te schatten zijn. Voor beide instrumenten geldt dat de vormgeving ervan steeds sterker zal worden beïnvloed op Europees niveau. Convenanten zijn in het verleden succesvol geweest, maar er zijn vaak ook veel problemen met de uitvoering ervan. Het NMP-4 stelt dat de huidige convenanten geëvalueerd worden om de milieusuccessen en succes- en faalfactoren boven water te krijgen. Op basis van dat onderzoek zal de positie van convenanten in nieuw beleid worden bepaald.

EPN, EPL en EPA

Voor de nieuwe woningen en utiliteitsgebouwen is er de Energie Prestatie Norm (EPN), die voorschrijft hoe energiezuinig een woning moet zijn. Deze norm is sinds de introductie in 1998 regelmatig aangescherpt. Projectontwikkelaar en architecten moeten hierom steeds sterker rekening houden met energetische voorwaarden van hun ontwerpen.

Op wijkniveau wordt de energieprestatie gemeten door de Energie Prestatie op Locatie (EPL). Er is een EPL voor nieuwbouw en voor bestaande bouw. Vrijwel alle maatregelen die de EPL verlagen worden ook in de EPN meegenomen. Waar de EPN bij marktpartijen als begrip inmiddels ingeburgerd is, communiceert de nieuwere EPL nog moeilijk richting architecten, stedenbouwkundigen en projectontwikkelaars.

In de bestaande bouw wordt door middel van het Energie Prestatie Advies (EPA) beoogd het tempo van energiebesparing in de bestaande woningbouw te verhogen. Middels een op maat gesneden advies worden bewoners en bedrijven voorgelicht over de besparingsmaatregelen die in hun specifieke geval rendabel getroffen kunnen worden. Het is waarschijnlijk dat er in de sociale sector meer EPA's uitgevoerd zullen worden dan in de categorie eigenaar/bewoners. Het EPA is voor woningbouwverenigingen een nuttig instrument om bij (grootschalige) woningverbetering de energetische kwaliteit te verbeteren. De overheid heeft doelstellingen gesteld in de vorm van een minimum uit te voeren hoeveelheid EPA's. Het verhogen van deze doelstelling stuit op een aantal bezwaren, zoals beschikbaarheid van adviseurs, interesse van de consument en kostendekkendheid van de uitvoering.

Zowel de EPN als de EPL als de EPA moeten worden aangepast zodat zij ook de inzet van klimaatneutrale energiedragers tot uitdrukking brengen.

Klimaatconvenant

In februari 2002 is het klimaatconvenant getekend tussen Rijksoverheid, het Interprovinciaal Overleg (IPO) en de Vereniging Nederlandse Gemeenten. Het convenant vormt een afspraak over de inspanningen van lokale overheden als bijdrage aan het klimaatbeleid van het Rijk. Als tegenprestatie verplicht het Rijk zich om gemeenten die inschrijven op één van de drie ambitieniveaus van het convenant daarvoor financieel te ondersteunen middels een samenhangend stelsel van subsidieregelingen. Gemeenten zullen hierdoor de komende jaren hun lokale klimaatbeleid vorm gaan geven. Zij zullen zich hierdoor steeds meer ontpoppen als regisseur van lokale energieprojecten, in samenwerking met woningbouwverenigingen, energiebedrijven, projectontwikkelaars, bedrijfsverenigingen, et cetera. Wanneer de opkomst van lokaal klimaatbeleid door zal zetten dan zal er de komende door gemeenten jaren fors worden geïnvesteerd in kennis, personeel en organisatie. Dit past in de ontwikkeling waarbij de verantwoordelijkheid van mede-overheden voor de plaatselijke leefomgeving wordt vergroot.

REB en groene stroom

Sinds 1996 wordt in Nederland op zowel aardgas als elektriciteit een Regulerende Energiebelasting (REB) geheven. In het kader van de vergroening van het Nederlandse belastingstelsel is deze heffing sindsdien sterk gestegen. Door een verhoging van de REB en een vrijstelling voor duurzaam opgewekte elektriciteit is de prijs van groene stroom nagenoeg gelijk geworden aan die van conventionele stroom. Zoals in Paragraaf 2.3.4 reeds is aangegeven wordt verwacht dat in 2010 40% van de huishoudens is overgestapt op groene stroom. Dit betekent dat er een enorme toename van bewustwording bij huishoudens plaats zal vinden. Hierdoor zal het besef, begrip en draagvlak voor (technologische) veranderingen in de energievoorziening van huishoudens hoogstwaarschijnlijk toenemen.

Klimaataangifte

In maart 2002 heeft de rekenkamer een hard oordeel geveld over het Nederlandse klimaatbeleid. Het beleid om broeikasgassen te reduceren is onsamenhangend, niet te meten en de uitvoering ervan verloopt te traag. Minister Pronk heeft hierop aangegeven dat er in de toekomst mogelijk sectorale reductiedoelstellingen worden gesteld. Sinds een aantal jaren zijn er proefprojecten die hierop inspelen. Voor verschillende doelgroepen zijn er klimaataangiftes ontworpen, waardoor er beter zicht ontstaat op de emissies per sector en er zo een mogelijkheid ontstaat om emissiehandel uit te breiden³¹ (Van Dril, 2000).

4.4 Segmentering van de Gebouwde Omgeving

De Gebouwde Omgeving, vooral de utiliteitsbouw, kenmerkt zich door een relatief grote diversiteit. Rekening gehouden moet worden met een veelheid aan factoren, die allen een (direct of indirect) effect kunnen hebben op de finale energievraag en op de energieketen waarmee in deze vraag kan worden voorzien. In een stedelijk gebied met een hoge woningdichtheid voor nieuw aan te leggen woningen kunnen andere voorzieningen worden getroffen dan in een landelijk gebied met hoofdzakelijk bestaande woningen. Ook de eigendomssituatie kan bij de besluitvorming omtrent de aanschaf van een bepaald type energieconversiesysteem een belangrijke rol spelen. Daarnaast kan een verandering in de verhouding tussen de warmte- en krachtvraag, bijvoorbeeld door een toename van de koelbehoefte of het aantal elektrische apparaten, van invloed zijn op de keuze voor bepaalde technieken.

De energievraag in woningen is globaal in te delen in vraag naar ruimteverwarming, vraag naar warmtapwater en vraag naar elektriciteit. In een deel van de utiliteit is daarnaast ook vraag naar koeling. Alle beschouwde energiedragers worden ingezet om te voorzien in een of meerdere van deze vormen van energievraag. Deze energievraag is niet afhankelijk van de energiedrager. De energievraag is wel afhankelijk van het type gebouw, type gebruiker, gebruikersgedrag en van de maatregelen die worden genomen voor vraagbeperking en lokale opwekking van duurzame energie.

De Gebouwde Omgeving is niet homogeen. De energiesituatie voor nieuwbouwprojecten is onvergelykbaar met die voor de bestaande bouw. Woningen hebben een totaal afwijkend energievraagpatroon van kantoorgebouwen. In een stedelijk gebied met een hoge woningdichtheid zijn andere besparingsmogelijkheden te realiseren dan in een landelijk gebied met een lage woningdichtheid. Het is daarom ook niet mogelijk om door middel van slechts één of een zeer beperkt aantal beelden de Gebouwde Omgeving zodanig te beschrijven dat alle verschillende facetten voldoende worden belicht. Elk van de segmenten vereist een eigen aanpak waarbij verschillende actoren en technische mogelijkheden een rol spelen.

³¹ Het ECN heeft een CO₂-score voor bedrijven en gemeenten ontwikkeld. Ook is via de Novem vorig jaar een soortgelijk project voor gemeenten doorlopen.

De keuze voor een bepaalde ‘consumptie-productie’ keten kan afhangen van de specifieke eigenschappen van de verschillende segmenten binnen de Gebouwde Omgeving. Doordat de Gebouwde Omgeving uiteenvalt in verschillende segmenten en binnen een bepaald segment vaak meerdere ‘consumptie - productie’ ketens mogelijk zijn, ontstaat een breed palet aan mogelijkheden om op een andere wijze in de totale energievraag van de Gebouwde Omgeving te voorzien.

De verschillende te onderscheiden segmenten zijn aangegeven in Paragraaf 4.2: voor utiliteitsgebouwen een onderscheid naar nieuw en bestaand, voor woningen een onderscheid naar nieuw en bestaand en daarbinnen naar stedelijke en landelijke omgeving (met dichtheid als belangrijkste verschil).

Woningen en utiliteitsgebouwen verschillen in vraag naar warmte en elektriciteit. Nieuwe gebouwen kunnen gemakkelijker aan hoge eisen met betrekking tot energie-efficiency voldoen en zijn gemakkelijker aan te sluiten op andere energiesystemen dan de bestaande. De dichtheid speelt vooral bij de verandering van energiedistributie een rol.

Vanwege de heterogeniteit binnen de Gebouwde Omgeving is het niet mogelijk om door middel van slechts één (technologisch) eindbeeld de gehele Gebouwde Omgeving adequaat te beschrijven. Het is derhalve noodzakelijk de Gebouwde Omgeving op te delen in een aantal segmenten. Deze segmenten dienen voldoende onderscheidend van elkaar te zijn en de Gebouwde Omgeving volledig te dekken. Ter voorkoming van een te grote complexiteit van de analyse dient echter wel het aantal segmenten zo veel mogelijk te worden beperkt. Belangrijke onderscheidende kenmerken voor de Gebouwde Omgeving zijn aangrijpingspunten voor beleid, de relevante actoren alsmede het specifiek energieverbruik.

Op basis van de energetische kenmerken is het voor de hand liggend een onderscheid te maken tussen utiliteitsbouw en woningbouw. Ook lijkt op voorhand, omwille van de instrumenteerbaarheid van beleid alsmede de mogelijkheden tot toepassen van bepaalde (klimaatneutrale) technische opties, een onderscheid naar nieuwbouw en bestaande bouw noodzakelijk. Met name voor woningbouw zou een verschil in woningdichtheid (landelijk vs. stedelijk gebied) een rol kunnen spelen bij de introductie van klimaatneutrale energiedragers. Dit aspect lijkt bij utiliteitsbouw, vanwege de neiging tot clustering van bedrijven, minder van belang. Derhalve wordt voorgesteld uit te gaan van de volgende segmenten binnen de Gebouwde Omgeving:

- bestaande utiliteitsgebouwen,
- nieuwe utiliteitsgebouwen,
- bestaande woningen met hoge dichtheid (stedelijk gebied),
- bestaande woningen met lage dichtheid (landelijk gebied),
- nieuwe woningen op grote bouwlocaties,
- nieuwe woningen op kleine bouwlocaties.

De indeling is weliswaar betrekkelijk grof, maar naar verwachting bruikbaar om de belangrijkste verschillen in relatie met klimaatneutrale energiedragers te laten zien.

5. TECHNISCHE CONCEPTEN VOOR DE GEBOUWDE OMGEVING

5.1 Inleiding

Bij de productie van klimaatneutrale energiedragers wordt de CO₂-emissie afgevangen die vrijkomt bij de productie van een klimaatneutrale energiedrager uit fossiele brandstoffen. Hierbij wordt de afgevangen CO₂ zodanig opgeslagen dat deze (bij voorkeur) niet, of pas op zeer lange termijn weer terechtkomt in de atmosfeer. Dit spoor om door middel van geavanceerde energietechnologie de CO₂-emissies te beperken grijpt met name aan op (grootschalige) (de)centrale energieproductie. De volgende energiedragers kunnen in principe klimaatneutraal worden geproduceerd:

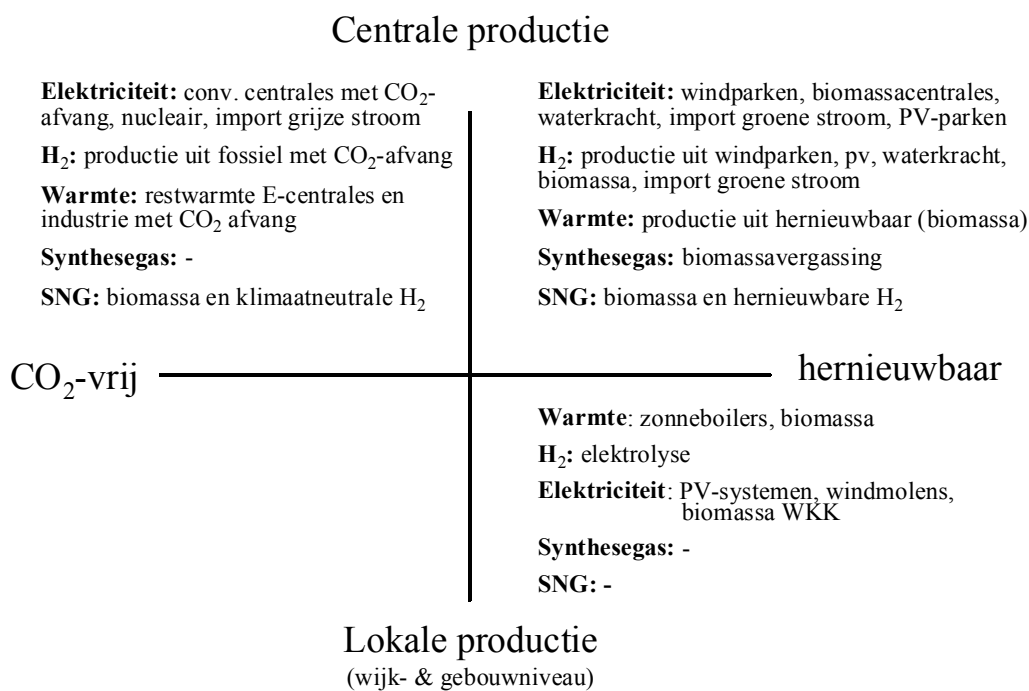
- elektriciteit
- warmte
- waterstofgas
- synthese gas
- synthetisch aardgas (SNG).

Om te komen tot een situatie waarbij de CO₂-emissie ten gevolge van activiteiten in de Gebouwde Omgeving zeer laag of zelfs nul is, kan zowel gebruik worden gemaakt van klimaatneutrale alsmede hernieuwbare energiedragers. Het onderscheid hierbij is dat bij de inzet van klimaatneutrale energiedragers doorgaans³² wel CO₂ wordt geproduceerd dat (vrijwel geheel³³) wordt afgevangen en opgeslagen, terwijl bij hernieuwbare bronnen geen CO₂ wordt geproduceerd. Een ander onderscheid is dat bij de productie van klimaatneutrale energiedragers wel de - in principe eindige - voorraden fossiele en nucleaire brandstoffen worden gebruikt, terwijl hernieuwbare energiebronnen niet afhankelijk zijn van deze energievoorraden.

CO₂-vrije energiedragers kunnen op een verschillende schaal worden opgewekt. De keuze voor de productiewijze alsmede de het schaalniveau zijn bepalend voor de technieken die beschikbaar zijn om in de energievraag te voorzien, zie Figuur 5.1. Klimaatneutrale energiedragers worden CO₂-vrij opgewekt. De productie vindt plaats op centraal niveau. De noodzaak tot bijvoorbeeld CO₂-afvang maakt dat dit niet op lokaal, dat wil zeggen op woning- of wijkniveau, kan worden toegepast. Hernieuwbare opties kunnen zowel centraal als ook op lokaal niveau worden opgewekt. De focus van deze studie is op de rol van klimaatneutrale energiedragers, hetgeen betekent dat het hier CO₂-vrije energiedragers betreft die worden geproduceerd middels centrale energieproductie.

³² Ook productie van elektriciteit door middel van nucleaire energiecentrales wordt gerekend tot klimaatneutraal, alhoewel hierbij geen CO₂ wordt geproduceerd, dit omdat nucleaire energie niet tot hernieuwbare bronnen mag worden gerekend.

³³ Doorgaans is de CO₂-inhoud van klimaatneutrale energiedragers niet gelijk aan nul, dit omdat in de praktijk de gasstromen doorgaans niet volledig van CO₂ kunnen worden ontdaan. Voor de CO₂-afvangst bij bijvoorbeeld een gas- of kolencentrale voor elektriciteitsproductie dient uit gegaan te worden van afvangstpercentages van rond de 90%. Bij de productie van H₂-gas zijn echter aanzienlijk hogere afvangstpercentages haalbaar (vrijwel 100%).



Figuur 5.1 *Schematische weergave van de relatie tussen de productiewijze van energieneutrale energiedragers en de ruimtelijke dimensie*

De productie van klimaatneutrale energiedragers vindt plaats op centraal niveau³⁴. Op ditzelfde niveau worden ook de, al dan niet klimaatneutrale, energiedragers voor de overige sectoren geproduceerd. Niet onwaarschijnlijk is dat deze sectoren tevens in meer of mindere mate een beroep doen op het productievermogen dat nodig is om klimaatneutrale energiedragers te produceren. Dit kan mogelijk tot conflicten leiden en tot macro-economisch sub-optimale verdelingen tussen sectoren. Dit probleem zou met name kunnen gaan spelen met betrekking tot de beschikbaarheid van brandstof voor biomassacentrales. De problematiek om te komen tot de macro-economisch meest gunstige verdeling van de inzet van fossiele grondstoffen en biomassa voor centrale energieproductie over de verschillende sectoren valt echter buiten de context van deze studie.

De verschillende mogelijke klimaatneutrale energiedragers worden hieronder beschreven aan de hand van de keten van productie van energiedrager tot energievraag. Deze keten is in te delen in de stappen: productie van energiedrager, distributie van energiedrager, energieconversie, energievraag.

5.2 Klimaatneutrale energiedragers

De klimaatneutrale energiedragers zijn in de Gebouwde Omgeving in drie hoofdvormen in te delen: gasvormige klimaatneutrale energiedragers, klimaatneutrale warmte (warm water) en klimaatneutrale elektriciteit. De gasvormige energiedragers zijn verder onder te verdelen in waterstof, synthesegas, synthetisch aardgas (SNG). Vaste of vloeibare energiedragers zijn niet in de beschouwing meegenomen, omdat toepassing hiervan op grote schaal in de Gebouwde Om-

³⁴ In theorie is het mogelijk om lokaal waterstof te produceren via elektrolyse. De herkomst van de hiervoor gebruikte elektriciteit bepaald of de waterstof klimaatneutraal of hernieuwbaar is. Het betreft hier met name een theoretisch mogelijkheid, dit omdat de energieverliezen om via elektriciteit waterstof te maken en dit weer om te zetten naar elektriciteit en warmte hoog zijn. Energetisch is het veel gunstiger om de elektriciteit meteen in te zetten om te voorzien in de elektriciteitsvraag voor apparaten en te voorzien in de warmtevraag via een elektrische warmtepomp.

geving in Nederland niet waarschijnlijk geacht wordt. Vanzelfsprekend is de infrastructuur voor energiedistributie sterk afhankelijk van de energiedrager.

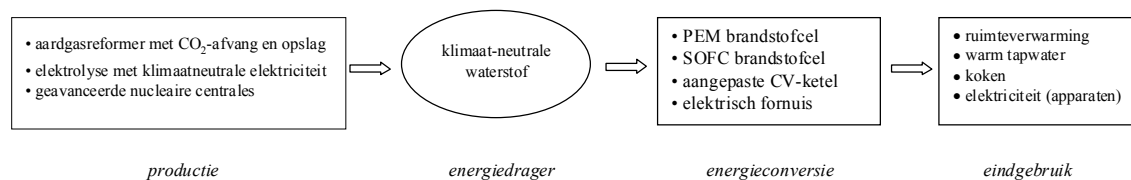
De keten begint bij de productie van klimaatneutrale energiedragers. Productie van klimaatneutrale energiedragers is globaal op twee manieren mogelijk: omzetting van fossiele brandstoffen met afvang en opslag van alle CO₂ en productie met nucleaire energie. Ook is het mogelijk om CO₂-vrije elektriciteit te produceren door middel van hernieuwbare bronnen als windenergie en PV. Afhankelijk van de energiedrager komen een of meerdere van deze productiemethoden in aanmerking. Productie vindt op dit moment grotendeels buiten de Gebouwde Omgeving plaats, vanwege veiligheid, hinder en milieuoverlast. Indien dit beleid gehandhaafd blijft, heeft de productie geen directe invloed op de Gebouwde Omgeving. Wel zijn er grote veranderingen noodzakelijk in de productie bij grootschalige introductie van klimaatneutrale energiedragers. Behoudens een kleine bijdrage door nucleaire energie, wordt moment niet tot nauwelijks gebruik gemaakt van klimaatneutrale energiedragers om te voorzien in de energievraag in de Gebouwde Omgeving.³⁵

Onderstaand wordt een overzicht gegeven van de verschillende (klimaatneutrale) energieketens waarmee CO₂-arme of zelfs CO₂-vrije energiedragers kunnen worden opgewekt. Per energiedrager wordt een beknopte technische beschrijving gegeven van de keten. Hierbij zijn voor productie en conversie de meest kansrijke opties aangegeven, rekening houdend met het energetisch rendement over de keten, de investeringskosten en de inpassingmogelijkheden in de Gebouwde Omgeving. Vervolgens wordt ingegaan op de technische robuustheid, de kosten en het energetisch rendement van de keten.

5.3 Klimaatneutrale waterstof

5.3.1 Technische beschrijving

In Figuur 5.2 is de energieketen weergegeven voor de inzet van klimaatneutrale waterstof als energiedrager voor de Gebouwde Omgeving.



Figuur 5.2 *Energieketen voor klimaatneutrale waterstof*

Productie

Productie van waterstof is mogelijk door stoomreforming of autotherme reforming van aardgas. Deze processen worden reeds op industriële schaal toegepast, onder meer voor de productie van H₂ voor kunstmestfabricage. In deze processen wordt aardgas omgezet in een mengsel van H₂ en CO. De CO wordt omgezet in CO₂ en afgescheiden. Voor klimaatneutrale waterstof dient de geproduceerde CO₂ vervolgens getransporteerd en opgeslagen te worden in een CO₂-opslagplaats. Volgens studies kunnen in Nederland oude aardgasvelden of watervoerende lagen hiervoor in aanmerking komen. Er zijn tot nog toe geen experimenten uitgevoerd met grootschalige CO₂-opslag, zie ook Paragraaf 5.8.

Een alternatief voor stoomreforming van aardgas is productie van waterstof uit steenkool of olie, in combinatie met CO₂-opvang. Voordeel van deze variant is dat er geen eenzijdige afhankelijkheid van aardgas ontstaat. Nadeel is dat er bij deze processen extra zuiveringsstappen van

³⁵ Groene stroom wordt gerekend tot hernieuwbare energiedragers en niet tot klimaatneutrale energiedragers, zie ook Paragraaf 5.1.

het productgas nodig zijn en dat er aanzienlijk meer CO₂ vrijkomt. Dit kan oplopen tot twee keer zoveel CO₂. Consequentie is dat er bij deze productiewijze tot twee keer zoveel CO₂ afgevangen en opgeslagen moeten worden. Ook exclusief CO₂-opslag worden de productiekosten van waterstofproductie uit steenkool ca. 50% hoger geschat dan waterstofproductie uit aardgas.

Een derde manier om H₂ te produceren is door elektrolyse van water, gevoed met klimaatneutraal opgewekte elektriciteit dan wel elektriciteit afkomstig uit hernieuwbare bronnen. Een voordeel van H₂ ten opzichte van elektriciteit is, onder meer vanwege het transport via een leidingstelsel, dat het beter is op te slaan dan elektriciteit.³⁶ Bij de productie van klimaatneutrale elektriciteit naar klimaatneutrale H₂ gaat circa 35% van de energie-inhoud verloren.³⁷ Daar bovenop komt nog het energieverlies bij omzetting van H₂ in elektriciteit en warmte.³⁸ Gezien de kosten die dit met zich meebrengt en de beperkte beschikbaarheid van hernieuwbare elektriciteit lijkt het aantrekkelijker om hernieuwbare elektriciteit direct te benutten, in plaats van deze om te zetten van hernieuwbare elektriciteit in klimaatneutrale waterstof. Bij een groot overschot aan hernieuwbare elektriciteit, bijvoorbeeld bij veel niet of matig regelbaar hernieuwbaar vermogen, zou H₂ als opslagmedium kunnen fungeren.

De meest kansrijke optie voor grootschalige productie van H₂ lijkt productie uit aardgas door middel van stoomreforming. Voorwaarde hierbij is dat aardgas in voldoende mate en tegen een aantrekkelijke prijs beschikbaar is. Bij dit proces komt CO₂ in geconcentreerde vorm vrij, zodat dit met een zeer hoog percentage kan worden afgevangen.

Ten slotte worden er nieuwe typen nucleaire centrales ontwikkeld waarin rechtstreeks waterstof opgewekt kan worden en de hoeveelheid radioactief afval beperkt wordt. Bij deze opwekkingswijze moeten wel beperkte hoeveelheden radioactief afval opgeslagen worden, maar is er geen noodzaak van grootschalige opslag van CO₂. Indien de maatschappelijke weerstand tegen kernenergie afneemt, is dit ook een kansrijke optie.

Distributie

Distributie van waterstofgas kan mogelijk plaatsvinden in een aangepast gasnet. In de praktijk is echter nog niet bewezen dat dit ook werkelijk kan. Het is zeker niet uitgesloten dat blijkt dat H₂ transport alleen mogelijk is middels een nieuw aangelegd leidingstelsel, bijvoorbeeld omdat de koppelingen tussen de buizen van het huidige leidingstelsel onvoldoende lekdicht te maken zijn. Nader onderzoek (experimenten) zal dit uit moeten wijzen. Aanpassingen zijn nodig aan de gasmeter, de lekdichtheid van de verbindingen in het lagedruknet, en de compressorinstallaties die ervoor zorgen dat het net op druk blijft. Bij een drie maal grotere volume flow³⁹ (en dezelfde drukken) hoeft de capaciteit van het leidingnetwerk echter niet aangepast te worden om een zelfde hoeveelheid energietransport mogelijk te maken. Wel zijn er in de woningen extra veiligheidsmaatregelen nodig. Wanneer waterstof zich ophoopt in afgesloten ruimten kan het namelijk gemakkelijk exploderen, gemakkelijker dan aardgas. De invulling van deze veiligheidsmaatregelen dient nog bepaald te worden.

Conversie

Voor conversie van waterstof naar warmte en elektriciteit in de woning is een brandstofcel uitermate geschikt. In de brandstofcel worden waterstof en zuurstof omgezet in water, waarbij elektriciteit en warmte wordt geproduceerd. Een alternatief is verbranding van H₂ in aangepaste CV-ketels. Er wordt dan alleen warmte geproduceerd, en geen elektriciteit. Dit wordt niet als aantrekkelijke optie gezien omdat het ketenrendement van deze oplossing laag is, vanwege de

³⁶ Korte termijn fluctuaties in energievraag kunnen worden opgevangen via de bufferende werking van het leidingstelsel. Lange termijn opslag voor H₂ is in principe wel mogelijk, maar aanmerkelijk minder eenvoudig (en dus duurder) dan voor aardgas.

³⁷ Uitgaande van een productierendement bij elektrolyse van 65%. (Arthur D. Little 1999, Novem GAVE: Analysis and Integral Evaluation of Potential CO₂-neutral Fuel Chains Appendices, 84).

³⁸ Bij de brandstofcel circa 20% bij rendement thermisch/elektrisch van 55% / 25%)

³⁹ Deze is nodig omdat H₂ een lagere energiedichtheid heeft dan aardgas

verliezen eerder in de energieketen die ontstaan bij het omvormen van aardgas of elektriciteit tot H₂.

Eindvraag

Met waterstof kan door middel van de brandstofcel in principe in zowel de warmtevraag voor ruimteverwarming en warmtapwater als in de elektriciteitsvraag worden voorzien. Er zal waarschijnlijk elektrisch gekookt moeten worden. Voorwaarde voor toepassing van de brandstofcel is dat er gelijktijdig warmte- en elektriciteitsvraag is, dan wel dat de warmte of elektriciteit opgeslagen kan worden. Wanneer de warmte en elektriciteitsvraag niet de juiste verhouding hebben, kan er alleen warmte of elektriciteit geproduceerd worden, waardoor het energetisch rendement van de keten daalt. Hierdoor kan er ook een conflict ontstaan tussen toepassing van een brandstofcel en maatregelen voor beperking van de warmtevraag of lokale duurzame opwekking (zoals zonnecollectoren). Ook zorgt toepassing van de brandstofcel voor lagere omzetten over het elektriciteitsdistributienet. Alleen bij lokale seizoensopslag en sturing van de brandstofcel op elektriciteitsvraag kan toepassing van de brandstofcel een elektriciteitsaansluiting overbodig maken. Door de afhankelijkheid van de warmtevraag zal de brandstofcel voornamelijk in de winter ingezet worden.

5.3.2 Technische robuustheid

De technische robuustheid van de keten wordt bepaald door de mate waarin de keten aan kan sluiten bij de bestaande situatie en in hoeverre er voor de verschillende stappen in de keten alternatieven zijn. Ook de mate waarin de introductie afhankelijk is van de ontwikkeling van nieuwe technologieën speelt hierbij een rol. Van een aantal aspecten binnen de H₂-keten is nog niet zeker of en hoe deze in de praktijk toegepast zullen of kunnen worden. Hierbij kan een onderscheid worden gemaakt naar versterkende factoren en belemmerende factoren. Versterkende factoren zijn aspecten die, indien blijkt dat de betreffende stap technisch en/of economisch haalbaar is, een positieve invloed hebben op de introductie van de H₂-route.

Een versterkende factor voor de introductie van klimaatneutrale waterstof is wanneer zou blijken dat voor het transport van zuiver H₂ gebruik gemaakt kan worden van de, weliswaar aangepaste, bestaande gasinfrastructuur.

Belemmerende factoren zijn:

- afhankelijk van afvangen en opslaan van CO₂,
- voorkeur voor aardgas als primaire brandstof,
- ketenrendement afhankelijk van brandstofcel als conversietechnologie,
- gelijktijdigheid van warmtevraag en elektriciteitsvraag,
- inzet van brandstofcel voornamelijk in winterseizoenen,
- brandstofcel is slecht te combineren met beperking van de warmtevraag en lokale duurzame energieopwekking,
- toepassing van de brandstofcel zorgt voor lagere omzetten over het elektriciteitsdistributienet,
- veiligheidsvoorzieningen voor H₂ in gesloten ruimten,
- bij invoering is een grootschalig scenario voor overschakelen van aardgasinfrastructuur op waterstofinfrastructuur noodzakelijk,
- voor introductie op grote schaal dient de productiecapaciteit van klimaatneutrale waterstof (door middel van CO₂-afvang en opslag of uit klimaatneutrale of hernieuwbare elektriciteit) drastisch verhoogd te worden,
- waarschijnlijk verplicht elektrisch koken.

De volgende nieuwe technologieën dienen ontwikkeld te worden:

- afvangen van CO₂ uit een productgas stoomreformer,
- transporteren en opslaan van CO₂,

- grootschalige productie van H₂-plants,
- grootschalige productie van brandstofcellen,
- veiligheidsvoorzieningen voor H₂ in gesloten ruimten.

Een minder vergaand alternatief voor distributie van zuivere H₂ is om een beperkte hoeveelheid H₂ bij te mengen in het bestaande aardgasnet. Het is mogelijk om tot 10% H₂ bij te mengen zonder dat de apparatuur vervangen hoeft te worden. Wel dient vóór de introductie van het waterstof-methaan mengsel alle apparatuur anders ingesteld te worden. Vanwege de lagere verbrandingswaarde van H₂ leidt het bijmengen van H₂ tot een reductie van de CO₂-emissie van het gasmengsel met ca. 3,5%. Voor de reductiedoelstelling van 40% tot 50% in de Gebouwde Omgeving levert dit dus maar een zeer beperkte bijdrage. Wel kan het mogelijk onderdeel zijn van een scenario voor een gefaseerde overgang naar een volledige waterstofinfrastructuur (Elderman 1990).

5.3.3 Kosten

Bij overschakeling op klimaatneutraal waterstof dienen de volgende extra kosten te worden gemaakt ten opzichte van de huidige gas- en elektriciteitsinfrastructuur:

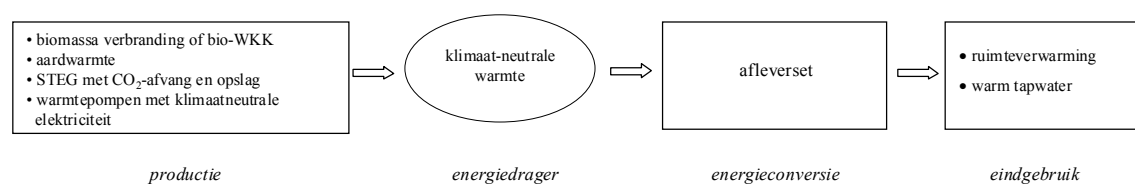
- productie waterstof uit aardgas of nucleair,
- CO₂-afvang, transport en opslag of opslag radioactief afval,
- aanpassing gasdistributienet,
- vervanging van gasgestookte apparatuur door brandstofcellen of waterstofgestookte apparatuur.

Er zijn dus in alle stappen van de keten aanzienlijke extra kosten: bij productie, distributie en eindgebruik. Lokale opwekking van elektriciteit in brandstofcellen kan tot op bepaalde hoogte centrale opwekking van elektriciteit vervangen. Hierdoor kan sprake er zijn van minderinvesteringen of desinvesteringen bij de productie en distributie van elektriciteit.

5.4 Klimaatneutrale warmte

5.4.1 Technische beschrijving

In Figuur 5.3 is de energieketen weergegeven voor de inzet van klimaatneutrale warmte als energiedrager voor de Gebouwde Omgeving.



Figuur 5.3 *Energieketen voor klimaatneutrale warmte*

Productie

Klimaatneutrale warmte kan op tal van manieren geproduceerd worden: door verbranding van biomassa, gebruik van aardwarmte, opwekking met warmtepompen uit klimaatneutrale elektriciteit. Ook kan het als bijproduct van klimaatneutrale elektriciteitsproductie opgewekt worden, in een warmtekrachtcentrale die met biomassa wordt gestookt, of in een Stoom en Gas Turbine (STEG) met CO₂-afvang en opslag. Technisch gezien is het ook mogelijk om restwarmte van kerncentrales te gebruiken.

In 2000 wordt met warmtedistributie circa 33 PJ_{th} aan de Gebouwde Omgeving geleverd. Deze warmte is niet CO₂-neutraal en wordt voornamelijk uit fossiele brandstoffen opgewekt, als bij-

product bij de elektriciteitsproductie. Wel is er met de meeste genoemde technieken in binnen- of buitenland reeds enige ervaring. Uitzondering hierop is opwekking van klimaatneutrale warmte in een STEG met CO₂-afvang en opslag. De hierbij noodzakelijke CO₂-afvang en opslag is nog niet gerealiseerd.

Enkele van de genoemde productiemethoden maken gebruik van energiebronnen die niet voor andere doeleinden zijn in te zetten. Het gaat hierbij om aardwarmte en om het gebruik van restwarmte die vrijkomt bij elektriciteitsproductie in een bio-wkk of in een STEG met CO₂-afvang en opslag. Bij een optimalisatie op macroniveau zijn deze productiemethoden het meest aantrekkelijk. Financiële optimalisatie kan echter tot de keuze van andere productiemethoden leiden. Zo wordt op dit moment in Zweden op veel plaatsen warmte gedistribueerd die is opgewekt door verbranding van biomassa. Hiervoor wordt ook Nederlands afvalhout gebruikt.

Distributie

Distributie van klimaatneutrale warmte kan met warmtedistributienetten, zoals die nu op een twintigtal plaatsen in Nederland worden toegepast. Een variabele hierbij is de temperatuur waarbij de warmte wordt gedistribueerd. Deze ligt in de huidige stadsverwarmingsnetten meestal op een temperatuur tussen 70 tot 90°C bij de eindgebruiker en tussen de 90 en 120°C in het transportnet. Bij inzet van warmtepompen en aardwarmte is een lagere aanvoertemperatuur wenselijk (tot 70°C). Dit heeft gevolgen voor de dimensionering van het warmtenet en voor de dimensionering van de eindgebruikersinstallatie. Deze lagere temperaturen maken ook het gebruik van nieuwe, goedkopere materialen voor de leidingen mogelijk.

Voor het overige kan bij distributie van klimaatneutrale warmte gebruik gemaakt worden van bestaande technieken voor warmtedistributie. Ook kunnen bestaande warmtedistributienetten gebruikt worden voor de distributie van klimaatneutraal opgewekte warmte. Warmtedistributienetten met een lage temperatuur (tot 70°C) laten de meeste flexibiliteit bij de keuze van de wijze van warmteproductie.

De investeringskosten voor een warmtedistributie-infrastructuur zijn aanzienlijk hoger dan die van een gasdistributie-infrastructuur. De meerinvestering voor de warmtedistributie-infrastructuur wordt slechts op lange termijn (20 jaar of meer) terugverdiend. Bij de huidige energieprijzen is de economische haalbaarheid van warmtedistributie-projecten sterk afhankelijk van de aanwezigheid van een geconcentreerde, hoge warmtevraag dichtbij een goedkope warmtebron. Bij de meeste projecten bevindt de warmtebron zich binnen een straal van 10 km van de afnemers van de warmte.

Energieconversie

De levering van warmwater voor verwarming en warm tapwater wordt geregeld door een afleverzet. Deze wordt geplaatst in de meterkast en (in de huidige situatie) geïnstalleerd en onderhouden door de exploitant van het warmtedistributienet. De bewoner hoeft geen energieconversie-apparatuur in zijn woning te plaatsen. Bij distributie van lage temperatuur warmte is in de woning een lage temperatuur verwarmingssysteem noodzakelijk.

Eindgebruik

Met klimaatneutrale warmte kan voorzien worden in de behoefte aan ruimteverwarming en aan warmtapwater. Wanneer door nieuwe technische ontwikkelingen het rendement van absorptiekoelmachines verhoogd kan worden, kan klimaatneutrale warmte in de utiliteit ook ingezet worden voor opwekking van koude. Klimaatneutrale warmte kan niet voorzien in de vraag naar elektriciteit⁴⁰: hiervoor blijft een elektriciteitsinfrastructuur noodzakelijk.

⁴⁰ Klimaatneutrale warmte kan wel worden opgewekt via WKK, een aansluiting van de eindverbruiker op het elektriciteitsnet blijft echter noodzakelijk omdat warmte niet in de krachtvraag van de eindverbruiker kan voorzien.

De economische haalbaarheid van warmtedistributie hangt af van de hoeveelheid warmte die geleverd kan worden per euro die geïnvesteerd is in het warmtedistributienet. Afname van de warmtevraag per woning door bijvoorbeeld isolatie of plaatsing van zonnecollectoren maakt warmtedistributie economisch minder aantrekkelijk. Hierdoor is er een economische spanning tussen maatregelen op gebouwniveau en aansluiting op warmtedistributie. Technisch zijn er geen belemmeringen voor toepassing van warmtedistributie in combinatie met beperking van de warmtevraag en inzet van lokale duurzame energie.

5.4.2 Technische robuustheid

Versterkende factoren voor de introductie van klimaatneutrale warmte zijn:

- Vele alternatieven beschikbaar voor productie van klimaatneutrale warmte; een aantal van deze alternatieven wordt reeds op beperkte schaal toegepast.
- Een aantal energiebronnen waarmee klimaatneutrale warmte kan worden opgewekt is niet geschikt voor opwekking van andere klimaatneutrale energiedragers.
- Er is in Nederland meer dan 50 jaar ervaring met warmtedistributie; op dit moment wordt met warmtedistributie circa 35 PJ_{th} aan warmte aan de Gebouwde Omgeving geleverd.
- Er is geen energieconversie-apparatuur in de woning nodig.
- 'Kleinschalige' invoering per wijk is mogelijk.

Belemmerende factoren zijn:

- Voor distributie van klimaatneutrale warmte is een aparte infrastructuur nodig; hiermee zijn relatief hoge investeringen gemoeid, met een lange terugverdientijd.
- Economische haalbaarheid is afhankelijk van de aanwezigheid van een geconcentreerde, hoge warmtevraag dichtbij een goedkope warmtebron.
- Vermindering van de warmtevraag per woning door bijvoorbeeld isolatie of plaatsing van zonnecollectoren maakt warmtedistributie economisch minder aantrekkelijk.
- Koken op gas is niet mogelijk in combinatie met warmtedistributie.
- Bij distributie van lage temperatuur warmte is in de woning een lage temperatuur verwarmingssysteem noodzakelijk.
- Voor introductie op grote schaal dient de productiecapaciteit van klimaatneutrale warmte (door middel van CO₂-afvang en opslag, hernieuwbare energie of kernenergie) drastisch verhoogd te worden.

De volgende nieuwe technologieën dienen ontwikkeld te worden:

- Nieuwe productietechnieken zoals bio-wkk, aardwarmte, STEG met CO₂-opvang en opslag, (in aanvulling op bestaande productietechnieken).
- Nieuwe leidingsystemen voor distributie van lage temperatuur warmte (voor kostenbesparing).

5.4.3 Kosten

Bij invoering van klimaatneutrale warmte dienen de volgende extra kosten te worden gemaakt ten opzichte van de huidige gas- en elektriciteitsinfrastructuur:

- Productie van klimaatneutrale warmte uit fossiele bronnen met CO₂-afvang, duurzame bronnen, of uit nucleaire energie; de kosten hiervoor kunnen worden beperkt indien gebruik gemaakt kan worden van restwarmte die ontstaat bij andere processen (bijvoorbeeld opwekking van klimaatneutrale elektriciteit).
- Distributie van warmte.

Er is sprake van de volgende minderkosten dan wel desinvesteringen ten opzichte van de huidige gas- en elektriciteitsinfrastructuur:

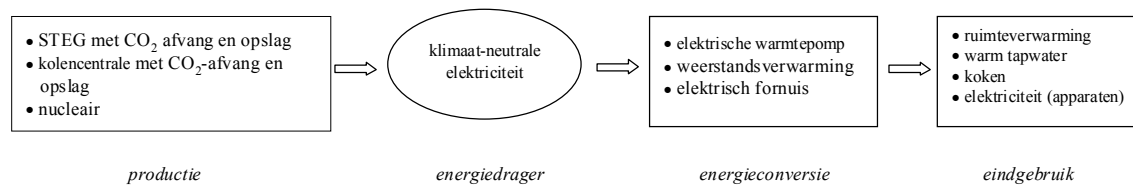
- inkoop van gas,
- distributie van gas,
- gasgestookte apparatuur.

Indien gebruik gemaakt kan worden van restwarmte die ontstaat bij andere processen ligt het zwaartepunt van de meerkosten bij invoering van klimaatneutrale warmte in de warmtedistributie-infrastructuur. De exploitatie van warmtedistributie-infrastructuren zal rendabeler worden, naarmate er hogere eisen aan beperking van de CO₂-uitstoot gesteld worden.

5.5 Klimaatneutrale elektriciteit

5.5.1 Technische beschrijving

In Figuur 5.4 is de energieketen weergegeven voor de inzet van klimaatneutrale elektriciteit als energiedrager voor de Gebouwde Omgeving.



Figuur 5.4 *Energieketen voor klimaatneutrale elektriciteit*

Productie

Productie van klimaatneutrale elektriciteit is langs vele wegen mogelijk: door afvang en opslag van CO₂ bij gasgestookte of kolengestookte elektriciteitscentrales of in kerncentrales. Groot-schalige CO₂-afvang en opslag is een nieuw te ontwikkelen technologie waar nog geen experimenten mee zijn uitgevoerd. De overige technieken worden reeds op kleinere of grotere schaal toegepast. Nucleaire energie was in 1999 goed voor 6,3% (3,5 TWh) van de binnenlandse elektriciteitsproductie⁴¹ via conventionele centrales. In 1999 werd via duurzame bronnen circa 2,2 TWh aan elektriciteit geproduceerd.

Distributie

Distributie van klimaatneutrale elektriciteit kan via het bestaande elektriciteitsnet. Naar verwachting bedraagt de totale vraag naar elektriciteit in de Gebouwde Omgeving in 2030 circa 36 PJ_e.⁴² Om in deze eindvraag met klimaatneutrale elektriciteit te voorzien zijn op het terrein van distributie, energieconversie en eindgebruik geen aanpassingen nodig. Indien klimaatneutrale elektriciteit ook ingezet wordt om in de eindvraag naar ruimteverwarming en warm tapwater te voorzien, dient het bestaande elektriciteitsnet aanzienlijk verzwaard te worden.⁴³

Energieconversie

Bij gebruik van klimaatneutrale elektriciteit voor de eindvraag naar elektriciteit is er geen energieconversie nodig. Bij gebruik van klimaatneutrale elektriciteit voor ruimteverwarming en warmtapwater dient in de woning een warmtepomp met warmtebron en lage temperatuurverwarming toegepast te worden. Warmtepompsystemen worden in Nederland dankzij stimule-

⁴¹ Dus exclusief import.

⁴² Uitgaande van het 'autonome' scenario, zie Paragraaf 3.5.

⁴³ Doorrekening van een praktijkcase met het NOVEM OEI-model levert voor een all electric infrastructuur investeringskosten in de energie-infrastructuur die anderhalf maal zo hoog zijn als die voor een gas/electriciteitsinfrastructuur. Dit betekent dat, volgens dit model, de meerkosten voor verzwaring van de elektriciteitsinfrastructuur aanzienlijk hoger zijn dan de vermeden kosten voor de gasinfrastructuur.

ringsmaatregelen van de overheid reeds op beperkte schaal toegepast, vooral in nieuwbouw. In kantoren worden deze systemen in de zomer ook ingezet voor koeling. Overigens zijn er op dit moment nog klachten over storingsgevoeligheid van warmtepompsystemen en is niet bekend wat de gevolgen voor de bodemtemperatuur zijn van grootschalige toepassing van warmtepompen in een wijk. Een minder efficiënt alternatief voor warmtepompen is weerstandsverwarming. Dit wordt bijvoorbeeld in Zweden op zeer grote schaal toegepast, vanwege afwezigheid van een gasinfrastructuur.

Eindvraag

Klimaatneutrale elektriciteit kan voorzien in de eindvraag naar elektriciteit en na conversie ook in de eindvraag naar ruimteverwarming en warmtapwater. Maatregelen voor vraagbeperking en lokale opwekking van duurzame energie kunnen genomen worden in aanvulling op de introductie van klimaatneutrale elektriciteit. Deze zijn technisch en economisch niet conflicterend. Overigens kan invoering van klimaatneutrale elektriciteit er wel toe leiden dat bewoners minder gemotiveerd zijn om wat te doen aan beperking van het energiegebruik.

5.5.2 Technische robuustheid

Versterkende factoren voor de introductie van klimaatneutrale elektriciteit zijn:

- Er zijn vele methoden om klimaatneutrale elektriciteit te produceren; met uitzondering van grootschalige CO₂-afvang en opslag worden deze technieken reeds op kleinere of grotere schaal toegepast.
- Klimaatneutrale elektriciteit middels nucleaire centrales wordt reeds jaren geproduceerd: 6,3% van de binnenlandse Nederlandse elektriciteitsproductie wordt op deze wijze opgewekt.

Belemmerende factoren zijn:

- Voor introductie op grote schaal dient de productiecapaciteit van klimaatneutrale elektriciteit (door middel van CO₂-afvang en opslag of kernenergie) of hernieuwbare elektriciteit drastisch verhoogd te worden.
- Grootschalige CO₂-afvang en opslag is een nieuw te ontwikkelen technologie waar nog geen experimenten mee zijn uitgevoerd.
- Bij inzet van klimaatneutrale elektriciteit voor ruimteverwarming en warm tapwater dient er in de woning een lage temperatuurverwarmingssysteem en een warmtebron aanwezig te zijn.
- Het elektriciteitsnet dient (lokaal) verzwaaard te worden.
- De inzet van warmtepompsystemen.
- Verplicht elektrisch koken.

De volgende nieuwe technologieën dienen ontwikkeld te worden:

- Afvangen, transporteren en opslaan van CO₂ (in aanvulling op hernieuwbare energie en kernenergie).
- Grootschalig gebruik van de bodem als warmtebron/warmteopslag voor warmtepompsystemen.

5.5.3 Kosten

Bij vervanging van bestaande elektriciteitsafname door klimaatneutrale elektriciteit zijn er uitsluitend meerkosten voor de productie van klimaatneutrale elektriciteit (afhankelijk van de gekozen optie). Hier komen eventueel nog meerkosten voor transport wanneer de elektriciteit over grotere afstand moet worden vervoerd, zoals bij opwekking in een windmolenpark op de Noordzee.

Klimaatneutrale elektriciteit kan tevens wordt aangewend in de vraag naar (laagwaardige) warmte te voorzien. Bij inzet van klimaatneutrale elektriciteit voor warmtevraag zijn de volgende meerkosten ten opzichte van de huidige gas- en elektriciteitsinfrastructuur te verwachten:

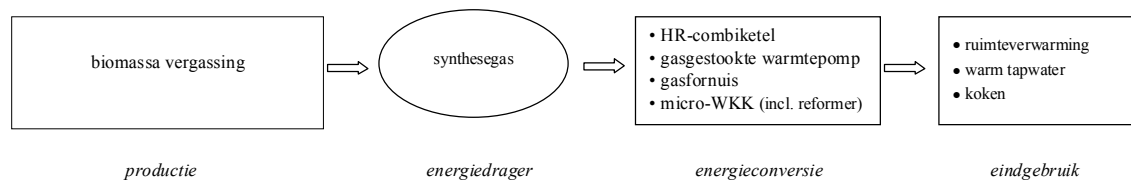
- verzwaring van de elektriciteitsinfrastructuur,
- aanpassing van de energieconversie-apparatuur in het gebouw,
- beschikbaar maken warmtebron voor warmtepompen.

Er zijn minderkosten dan wel desinvesteringen in de gasinfrastructuur, maar deze wegen niet op tegen de meerkosten voor de noodzakelijk verzwaring van het elektriciteitsnet.

5.6 Synthesegas

5.6.1 Technische beschrijving

In Figuur 5.5 is de energieketen weergegeven voor de inzet van synthesegas als energiedrager voor de Gebouwde Omgeving. Het synthesegas wordt geproduceerd via biomassa vergassing. Vanwege de inzet van hernieuwbare bronnen dient hier feitelijk niet over klimaatneutraal synthesegas maar over hernieuwbaar synthesegas gesproken te worden.



Figuur 5.5 *Energieketen voor klimaatneutraal synthesegas*

Synthesegas is een mengsel van koolmonoxide, waterstof en methaan dat ontstaat bij de vergassing van vaste of vloeibare koolwaterstoffen. Als het synthesegas geproduceerd wordt uit biomassa, kan het beschouwd worden als klimaatneutrale energiedrager. De CO₂ die in de atmosfeer vrijkomt bij verbranding van het synthesegas is immers relatief kort ervoor aan de atmosfeer onttrokken, bij de productie van de biomassa. Bij verbranding van synthesegas dat is geproduceerd uit biomassa wordt er dan per saldo geen CO₂ aan de atmosfeer toegevoegd.

Productie

Synthesegas kan geproduceerd worden door vergassing van biomassa. Hierbij wordt biomassa verhit in een ruimte zonder zuurstof. Omdat er geen zuurstof in de ruimte is kan de biomassa niet verbranden, maar wordt ze ontleed in een mengsel van koolmonoxide (CO), waterstof en koolwaterstoffen. De productie van synthesegas uit biomassa is vergelijkbaar met de productie van stadsgas tot de jaren '60 van de twintigste eeuw. Voor de productie van stadsgas werd echter geen biomassa vergast, maar steenkolen. Ook bij de vergassing van steenkool ontstaat een mengsel van koolmonoxide, waterstof en methaan.

Synthesegas dat geproduceerd wordt uit biomassa heeft niet dezelfde constante kwaliteit en zuiverheid als aardgas. Voor een goed rendement en lage emissies bij de verbranding is dit wel noodzakelijk. Bij de productie zijn daarom extra voorzieningen nodig voor beheersing van de kwaliteit en zuivering. Relatief grootschalige productie op industrieterreinen buiten de woon- en kantoorgebieden is daarom het meest aannemelijk.

Distributie

Synthesegas kan in principe gedistribueerd worden in het bestaande aardgasnet.⁴⁴ Doordat (afhankelijk van de samenstelling) de verbrandingswaarde de helft of minder is dan van aardgas,

⁴⁴ De leidingen zijn in principe geschikt voor transport van zuiver synthesegas.

dient hiertoe wel de capaciteit van het aardgasnet aanzienlijk vergroot te worden. Onderzocht zal moeten worden in hoeverre in woonwijken gebruik gemaakt kan worden van bestaande overcapaciteit. Bovendien dienen er extra veiligheidsmaatregelen genomen te worden in verband met de aanwezigheid van koolmonoxide (giftig) en waterstof (explosief).

Energieconversie

In principe kunnen de bestaande aardgasgestookte energieconversie-apparaten ook op synthese-gas gestookt worden. Zij dienen hiertoe wel aangepast te worden voor de lagere verbrandings-waarde. Deze aanpassingen zijn vergelijkbaar met de grootschalige overschakeling in de jaren '60 van stadsgas op aardgas. Daarnaast zullen de branders van nieuwere conversieapparaten, zoals de HR-ketel, opnieuw geoptimaliseerd moeten worden voor de andere gassamenstelling.

Eindvraag

Met synthese-gas kan op een zelfde manier in de eindvraag voor ruimteverwarming en warm tapwater worden voorzien als met aardgas. Combinatie met vraagbeperking en lokale opwekking van duurzame energie is technisch goed mogelijk. Dit kan ook economisch aantrekkelijk zijn omdat zo een deel van de capaciteitsproblemen voorkomen kan worden. Bij toepassing van aangepaste Stirling-micro-wkk kan ook in een deel van de elektriciteitsvraag voorzien worden. Een elektriciteitsinfrastructuur blijft echter noodzakelijk.

5.6.2 Technische robuustheid

Versterkende factoren voor de introductie van klimaatneutraal synthese-gas zijn:

- gebruik van aardgasdistributie-infrastructuur,
- kennis stadsgas, aangevuld met biomassaver-gassing,
- beperkte aanpassingen bestaande installaties,
- invoering op wijk/stadsniveau mogelijk.

Belemmerende factoren zijn:

- afhankelijk van productie uit biomassa,
- beschikbaarheid biomassa,
- vergroten productiecapaciteit synthese-gas,
- capaciteitsvergroting van gasdistributie-infrastructuur,
- bij invoering op wijk/stadsniveau tweede standaard voor gastoestellen nodig,
- giftigheid synthese-gas (CO).

De volgende nieuwe technologieën dienen ontwikkeld te worden:

- grootschalige productie en distributie van biomassa,
- grootschalige biomassaver-gassing, inclusief zuivering productgas,
- aangepaste conversieapparatuur,
- veiligheidsvoorzieningen voor distributie en conversie van synthese-gas.

5.6.3 Kosten

Bij overschakeling op synthese-gas dienen de volgende extra kosten te worden gemaakt ten opzichte van de huidige gas- en elektriciteitsinfrastructuur:

- productie biomassa (in plaats van aardgas),
- productie van synthese-gas uit biomassa,
- aanpassing gasdistributienet,
- aanpassing gasgestookte apparatuur.

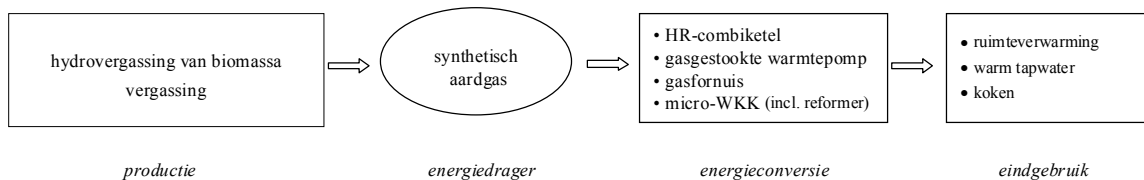
Er zijn in alle stappen van de keten extra kosten: bij productie, distributie en eindgebruik. De aanpassingen zijn minder vergaand en naar verwachting dus ook goedkoper dan bij overschake-

ling op waterstofgas. De totale kosten per hoeveelheid energie zijn sterk afhankelijk van de brandstofprijzen van de biomassa en daarmee van de beschikbaarheid van biomassa.

5.7 Synthetisch ‘aardgas’

5.7.1 Technische beschrijving

In Figuur 5.6 is de energieketen weergegeven voor de inzet van synthetisch aardgas (SNG) als klimaatneutrale energiedrager voor de Gebouwde Omgeving.



Figuur 5.6 *Energieketen voor synthetisch aardgas*

Synthetisch aardgas kan in de toekomst ook een rol spelen als klimaatneutrale energiedrager. Volgens studies kan het worden geproduceerd door vergassing van biomassa in aanwezigheid van waterstof. Het heeft ongeveer dezelfde eigenschappen als fossiel aardgas, maar is klimaatneutraal wanneer het wordt geproduceerd uit biomassa en van klimaatneutraal geproduceerd waterstof (Mozaffarion en Zwart 2000). Indien de H_2 is opgewekt middels hernieuwbare bronnen, kan gesproken worden van synthetisch aardgas als hernieuwbare energiedrager.

Productie

De productie van klimaatneutraal synthetisch aardgas (SNG) is een bijzondere vorm van biomassavergassing. Door bij de vergassing een grote hoeveelheid waterstofgas toe te voegen, ontstaat er geen synthesegas, maar een mengsel van methaan, waterstof en CO_2 . De energiebronnen voor dit proces zijn waterstof (55%) en biomassa (45%).

Als het proces grootschalig toegepast kan worden, wordt het mogelijk om energie die als waterstof en biomassa beschikbaar is te distribueren via het bestaande aardgasinfrastructuur en te gebruiken in de bestaande eindgebruikstoepassingen. Voor het proces zijn zowel grote hoeveelheden klimaatneutrale waterstof als biomassa nodig. De waterstof dient op haar beurt geproduceerd te worden uit aardgas met CO_2 -afvang of uit klimaatneutrale elektriciteit, zie ook 5.3. Er zijn dus meerdere conversiestappen gemoeid met de productie van SNG, waardoor er veel energieverliezen optreden.

De ontwikkeling van het productieproces van SNG is op dit moment in de laboratoriumfase. Er bestaat daarom nog geen zekerheid over de exacte kenmerken van het productieproces en van het productgas. Doelstelling is evenwel dat het productgas qua Wobbe index, molpercentage methaan en verbrandingswaarde vergelijkbaar is met de huidige kwaliteit van Nederlands aardgas. Vanwege de complexiteit van het productieproces is relatief grootschalige productie op industrieterreinen het meest aannemelijk.

Distributie

Verondersteld wordt dat distributie via het bestaande aardgasnet kan plaatsvinden.

Energieconversie

Verondersteld wordt dat energieconversie met dezelfde apparatuur als bij aardgas kan plaatsvinden.

Eindvraag

Doelstelling is dat met synthetisch aardgas op een zelfde manier in de eindvraag voor ruimteverwarming en warmtapwater kan worden voorzien als met aardgas. Combinatie met vraagbeperking en lokale opwekking van duurzame energie is technisch goed mogelijk, al is het economisch wat minder aantrekkelijk. Bij toepassing van aangepaste Stirling-micro-wkk kan ook in een deel van de elektriciteitsvraag voorzien worden. Een elektriciteitsinfrastructuur blijft echter noodzakelijk.

5.7.2 Technische robuustheid

Versterkende factoren voor de introductie van klimaatneutraal synthetisch aardgas zijn:

- gebruik van bestaande aardgasdistributie-infrastructuur,
- gebruik van bestaande energieconversie-apparatuur,
- geleidelijke invoering mogelijk door bijmengen in bestaand aardgasnet in iedere gewenste verhouding.

Belemmerende factoren zijn:

- Technologie voor productie van SNG moet nog geheel ontwikkeld worden; het is nu nog uitsluitend op laboratoriumschaal uitgeprobeerd.
- Afhankelijk van productie uit klimaatneutraal waterstof en biomassa.
- Beschikbaarheid klimaatneutraal waterstof.
- Beschikbaarheid biomassa.
- Opbouwen productiecapaciteit synthetisch aardgas.
- Technologie voor productie van klimaatneutraal waterstof.
- Opbouwen productiecapaciteit klimaatneutraal waterstof.
- Energieverliezen door meerdere omzettingen bij de productie van waterstof, biomassa en SNG.

De volgende nieuwe technologieën dienen ontwikkeld te worden:

- productie van synthetisch aardgas uit waterstof en biomassa,
- grootschalige productie van klimaatneutraal waterstof,
- grootschalige productie en distributie van biomassa.

5.7.3 Kosten

Bij overschakeling op synthetisch aardgas dienen de volgende extra kosten te worden gemaakt ten opzichte van de huidige gas- en elektriciteitsinfrastructuur:

- productie klimaatneutraal waterstof,
- productie biomassa (in plaats van aardgas),
- omzetting van waterstof en biomassa in synthetisch aardgas.

Bij deze mogelijke toekomstige klimaatneutrale energiedrager zijn er dus uitsluitend meerkosten aan de zijde van de productie. De totale kosten zijn sterk afhankelijk van de kosten van klimaatneutraal waterstof en van biomassa en daarmee van de beschikbaarheid van deze grondstoffen.

5.8 CO₂-afvang en energie-efficiëntie

De afvang en opslag van CO₂ speelt een cruciale rol bij de productie van klimaatneutrale energiedragers.⁴⁵ Dit is echter een techniek waarvan de werking in Nederland nog niet is aangetoond. Om te kunnen bepalen wat voor de onderscheiden energieketens het effect is op het beslag aan (primaire) grondstoffen alsmede op de CO₂-emissie, is voor een gegeven warm-

⁴⁵ Met uitzondering van nucleaire energie.

te/kracht verhouding bepaald hoe groot de energie-input dient te zijn om in de warmte- en krachtvraag te kunnen voorzien. Uitgegaan is van een warmtevraag van 1 GJ_{th} en een krachtvraag van 0,5 GJ_e. Dit komt overeen met een de verwachte verhouding tussen de (jaarlijkse) warmte- en elektriciteitsvraag in 2030 voor woningen.

In de referentie situatie wordt in de warmtevraag voorzien middels een (uitontwikkelde) HR-ketel en in de elektriciteitsvraag via een efficiënte elektriciteitscentrale.⁴⁶ Om in dit geval te voorzien in de warmtevraag van 1 GJ_{th} en de elektriciteitsvraag van 0,5 GJ_e is circa 2,2 GJ_{primaair} nodig als input⁴⁷, zie Tabel 5.1. In de referentiesituatie wordt de CO₂ niet afgevangen. De bruto CO₂-emissie ten gevolge van het verbruik van primaire energiedragers is in dit geval gelijk aan de totale CO₂-emissie en bedraagt circa 0,12 ton.

Tabel 5.1 *Energievraag en CO₂-emissie en -reductie in 2030 voor verschillende energieketens uitgaande van een warmtevraag van 1 GJ_{th} en 0,5 GJ_e*

		H ₂	warmte	elektriciteit	synthesegas	synthetisch aardgas	referentie situatie ⁴⁸
Bruto CO ₂ -productie	[kg]	130	76	92	55	120	120
Totaal fossiele brandstoffen ⁴⁹	[GJ _{primaair}]	2,6	1,6	1,9	1,2	2,3	2,2
Inzet biomassa	[GJ]	0	0	0	1,6	0,7	0
Netto CO ₂ -emissie	[kg]	6	8	9	6	6	120
Reductie CO ₂ t.o.v conventioneel	[%]	95	94	92	95	95	0

Voor alle routes geldt dat de (netto) CO₂-emissie in vergelijking tot de referentiesituatie zeer sterk afneemt (een reductie met 92% á 95%). Wel zijn er grote verschillen tussen de verschillende ketens met betrekking tot het beslag op fossiele brandstoffen alsmede de hoeveelheid CO₂ die tijdens het proces vrijkomt en die dient te worden afgevangen en opgeslagen.

De bruto CO₂-productie in de H₂-keten is met circa 0,13 ton circa 10% hoger dan in de referentiesituatie ‘conventioneel gas’. Dit wordt veroorzaakt doordat de productie van H₂-gas relatief veel energie vergt. De netto CO₂-emissie voor de H₂-keten is met 0,006 ton echter slechts 5% van de uitstoot in de referentie situatie. Bij de productie van H₂-gas komt de CO₂ in vrijwel pure vorm vrij. De totale efficiëntie waarmee de CO₂ binnen deze keten wordt afgevangen is lager doordat een deel van de elektriciteit via het centrale elektriciteitspark moet worden opgewekt.⁵⁰ In geval van warmtedistributie via warmte-aftap bij een elektriciteitscentrale is het beslag op primaire energiedragers met 1,9 GJ_{primaair} circa 15% lager dan in de referentie situatie. De CO₂ wordt bij de centrale afgevangen en in de grond opgeslagen. De netto CO₂-emissie komt hierdoor uit op 6% van de uitstoot in de referentie situatie. Opgemerkt dient te worden dat in geval van opwekking van warmte via andere bronnen dan via warmte-aftap bij grote elektriciteitscentrales, het beslag op primaire grondstoffen beduidend groter kan zijn. Ook is het de vraag of het überhaupt mogelijk⁵¹ is om CO₂ af te vangen indien er sprake is van energieopwekking via kleinschalige warmtekracht.

Indien wordt uitgegaan van een ‘all electric’ concept, waarbij in de warmtevraag wordt voorzien van een elektrisch aangedreven warmtepomp (EWP), dan bedraagt het beslag op primair energiedragers 1,9 GJ_{primaair}. De geproduceerde CO₂ wordt grotendeels afgevangen, zodat een netto

⁴⁶ Gerekend is met een opwekkingsrendement van 53%.

⁴⁷ In de berekening is bij alle energieketens rekening gehouden met transport- en omzetverliezen alsmede de hoeveelheid energie die nodig is voor CO₂-afvang en opslag.

⁴⁸ ‘conventioneel gas’.

⁴⁹ Inclusief energie voor CO₂-afvang, transport en opslag.

⁵⁰ Uitgegaan wordt van een afvangstpercentage van 99,5% bij H₂-productie en 90% bij de centrale elektriciteitsproductie.

⁵¹ Tegen aanvaardbare kosten.

CO₂-emissie resteert van 0,009 ton, een reductie ten opzichte van de conventionele situatie met 92%.

Bij de productie van synthegas wordt gebruik gemaakt van biomassa. Door de inzet van deze hernieuwbare bron is de netto CO₂-uitstoot om in de warmtevraag van 1 GJ_{th} te kunnen voorzien gelijk aan nul. Verondersteld wordt dat in de elektriciteitsvraag wordt voorzien door middel van een elektriciteitscentrale met CO₂-afvang. De totale netto CO₂-uitstoot om zowel in de warmte als krachtvraag te kunnen voorzien komt derhalve uit op 0,006 ton CO₂. Bij de productie van synthetisch aardgas wordt zowel H₂-gas als biomassa ingezet.⁵²

De warmte/kracht verhouding voor de sector utiliteit wijkt af van de verhouding in de sector huishoudens. De warmte/kracht verhouding voor de sector Utiliteitsbouw voor 2030 wordt geschat⁵³ op 1:1½. In Tabel 5.2 is voor de verschillende technologische routes aangegeven wat het beslag is op fossiele grondstoffen uitgaande van een warmtevraag van 1 GJ_{th} en 1,3 GJ_e.

Tabel 5.2 *Energievraag en CO₂-emissie en -reductie in 2030 voor verschillende energieketens uitgaande van een warmtevraag van 1 GJ_{th} en 1,3 GJ_e*

		H ₂	Warmte	Elektriciteit	synthegas	synthetisch aardgas	referentie situatie ⁵⁴
Bruto CO ₂ -productie	[kg]	225	175	185	150	210	210
Totaal fossiele brandstoffen ⁵⁵	[GJ _{primair}]	4,5	3,7	3,9	3,1	4,2	3,7
Inzet biomassa	[GJ]	0	0	0	1,6	0,7	0
Netto CO ₂ -emissie	[kg]	15	17	18	15	15	210
Reductie CO ₂ t.o.v conventioneel	[%]	93	92	91	93	93	0

Evenals voor de sector huishoudens blijkt de netto CO₂-emissie voor alle (klimaatneutrale) routes zeer sterk af te nemen ten opzichte van de referentiesituatie. Wel zijn er verschillen in het beslag op primaire grondstoffen en biomassa als ook ten aanzien van de bruto CO₂-emissie.

De inzet van hernieuwbare bronnen voor de productie van elektriciteit geeft in principe nog een geringe verdere daling van de totale netto CO₂-emissie. Gezien de reeds zeer lage CO₂-uitstoot in de beschreven ketens⁵⁶, lijkt het echter uit oogpunt van emissiereductie niet noodzakelijk om door middel van hernieuwbare bronnen te proberen om de CO₂-emissies binnen deze routes verder omlaag te brengen. Hernieuwbare bronnen kunnen echter wel een rol spelen bij het vergroten van de robuustheid van een bepaald traject. Indien bijvoorbeeld ontwikkelingen rond CO₂-afvang en opslag bij elektriciteitscentrales anders verlopen dan verwacht, dan zou een deel van de benodigde productie via hernieuwbare bronnen kunnen worden opgewekt. Bovendien wordt door inzet van hernieuwbare bronnen, in tegenstelling tot klimaatneutrale energiedragers, ook de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen verminderd.

Kosten, instrumenteerbaarheid en overige aspecten

Ten aanzien van de instrumenteerbaarheid van CO₂-afvang kan worden opgemerkt dat bij de implementatie van deze technologie verhoudingsgewijs weinig actoren betrokken zijn. Wel dient rekening gehouden te worden met een zekere maatschappelijke weerstand, dit omdat het hier een 'end op pipe' technologie betreft waarvan het beeld bestaat dat die de transitie naar een hernieuwbare energievoorziening kan belemmeren. De afgevangen CO₂ kan worden geïnjecteerd in een aquifer, in een leeg aardgasveld en mogelijk in een kolenlaag. De verwachting is dat er in ieder geval tot 2010 nog geen lege aardgasvelden beschikbaar zijn om de CO₂ in te injecte-

⁵² 45% biomassa en 55% H₂-gas.

⁵³ Op basis van de warmte/kracht verhouding in zeer energiezuinige utiliteitsbouw.

⁵⁴ 'conventioneel gas'.

⁵⁵ Inclusief energie voor CO₂-afvang, transport en opslag.

⁵⁶ Reductiepercentages met meer dan 90%.

ren (Beeldman et al., 1998). De maatschappelijke kosten voor CO₂-opslag in aquifers worden geraamd op € 10 - € 22 per ton CO₂. De kosten voor de eindverbruiker⁵⁷ komen hierbij uit op €13 - € 31 per ton CO₂ (Beeldman et al., 1998). Opgemerkt dient te worden dat met name ten aanzien van de bovengrens van de kosten er aanzienlijke onzekerheden bestaan.

Opgemerkt dient dat de in Tabel 5.1 en Tabel 5.2 gegeven kentallen gebaseerde zijn op een eerste orde berekening. In de analyse is bijvoorbeeld beperkt rekening gehouden met problemen rond inpasbaarheid en gelijktijdigheid van vraag- en aanbod. Tevens zijn de onzekerheden rond de rendementen in 2030 van nu nog experimentele technieken relatief groot. Voor de H₂-keten en in mindere mate voor warmtedistributie kan het rendement in de praktijk anders uitvallen, dit vanwege de noodzakelijke gelijktijdige opwekking van warmte en kracht. Ook is bijvoorbeeld geen rekening gehouden met de effecten van interactie met de energievraag in overige sectoren. Tot slot is, het betreft hier zoals reeds is aangegeven een eerste orde schatting, geen rekening gehouden met eventuele emissies bij de winning en transport van grondstoffen. In principe zijn er wel mogelijkheden om de CO₂-emissies bij deze activiteiten terug te dringen, bijvoorbeeld door het gebruik van biobrandstoffen. Het meenemen van deze effecten valt echter buiten het kader van deze analyse.

5.9 Het potentieel voor productie en inzet van klimaatneutrale energiedragers

5.9.1 De verwachte situatie in 2030

In Paragraaf 4.4 is een aantal marktsegmenten binnen de Gebouwde Omgeving beschreven. De mogelijkheden voor invoering van klimaatneutrale energiedragers zijn mede afhankelijk van het marktsegment. Om hier een indicatie van te geven is een inschatting gemaakt van het technische potentieel van elk van de beschreven klimaatneutrale energiedragers per marktsegment in 2030.

Allereerst is een inschatting gemaakt van het technisch potentieel voor de productie van de klimaatneutrale energiedrager. Vervolgens is er per marktsegment gekeken naar het technisch potentieel voor de keten van productie, distributie en levering. De volgende zaken zijn meegenomen in de afweging:

- beschikbaarheid van de technologie,
- technische robuustheid van de keten (meerdere opties om in dezelfde functie te voorzien),
- de benodigde veranderingen bij productie, distributie en eindgebruik,
- verhouding van kosten bij productie, distributie en eindgebruik,
- veiligheid en milieu.

Een overzicht van het potentieel per energiedrager en marktsegment staat gegeven in Tabel 5.3. De beschrijving in deze paragraaf beperkt zich tot factoren die direct samenhangen met de technische eigenschappen van de keten van productie, distributie en levering van een energiedrager. Deze eigenschappen zijn in hoge mate inherent aan de betreffende energiedrager en zijn daarom als randvoorwaarden voor overheidsbeleid te beschouwen. De toegekende score voor 'productie' en 'inzet' zijn onafhankelijk van elkaar beschouwd. Voor succesvolle introductie dienen natuurlijk zowel productie als inzet gerealiseerd te worden.

Er zijn ook vele andere factoren die de introductie van energiedragers beïnvloeden, zoals de belangen van betrokken actoren en hun mogelijk gedrag, of de gevolgen van specifiek overheidsbeleid. Deze sociale en politieke factoren zijn niet meegenomen in het technisch potentieel. Ze zijn tot op zekere hoogte beïnvloedbaar en kunnen wel onderwerp van overheidsbeleid zijn, zie ook Paragraaf 4.3.

⁵⁷ Zie (Beeldman et al., 1998) voor een nadere toelichting m.b.t. het onderscheid tussen 'maatschappelijke kosten' en de 'eindverbruikersbenadering'.

Tabel 5.3 *Inschatting van het technisch potentieel in 2030 van de klimaatneutrale energiedragers per marktsegment (H = relatief hoog, M = gemiddeld, L = relatief laag)*

	Klimaat-neutrale waterstof	Klimaat-neutrale warmte	Klimaatneutrale elektriciteit	Klimaat-neutraal synthese-gas	Klimaat-neutraal synthetisch aardgas	
<i>Productie</i>	M	H	H	M	M	
<i>Distributie en conversie</i>			<i>Substitutie elektriciteit</i>	<i>All electric concept</i>		
- woningbouw bestaand hoge dichtheid	L	M	H	M	M	H
- woningbouw bestaand lage dichtheid	L	L	H	M	M	H
- woningbouw nieuw hoge dichtheid	M	M	H	H	M	H
- woningbouw nieuw lage dichtheid	M	L	H	H	M	H
- utiliteit bestaand	L	L	H	H	M	H
- utiliteit nieuw	M	M	H	H	M	H

Klimaatneutrale waterstof

Het potentieel voor productie van klimaatneutrale waterstof is gesteld op gemiddeld omdat de technologieontwikkeling van (grootschalige) klimaatneutrale productie van H₂ zich (deels) nog in het laboratoriumstadium bevindt. Overige overwegingen waarmee rekening gehouden is bij de toekenning van de scores voor de implementatie van H₂ in de verschillende deelsegmenten zijn:

- het energetisch rendement van de keten is afhankelijk van toepassing van één technologie, namelijk de brandstofcel,
- er zijn grote veranderingen nodig op alle niveaus, productie, distributie en gebruik,
- de consequenties van veiligheidsvoorzieningen voor waterstofleidingen in afgesloten ruimten zijn nog niet duidelijk.

Het potentieel voor de inzet in de bestaande woningbouw is gesteld op laag vanwege de grote onzekerheden met betrekking tot mogelijkheden voor distributie van H₂ in de bestaande bouw. Wel heeft de bestaande woningbouw een relatief hoge warmtevraag is, zodat inzet van brandstofcellen voor warmte- en elektriciteitsproductie mogelijk is. Het technisch potentieel in nieuwe woningbouw is op gemiddeld gesteld. In nieuwe woningbouw is de warmtevraag laag. Deze wordt alleen maar lager wanneer mogelijkheden voor vraagbeperking en lokale duurzame energie worden benut. Hierdoor is inzet van brandstofcellen voor warmte- en elektriciteitsproductie minder rendabel. Bij nieuwbouw zijn de meerkosten voor aanleg van een H₂-infrastructuur echter relatief beperkt.

Ook in de utiliteit is de warmtevraag laag, terwijl de elektriciteitsvraag hoog is. Bovendien is er in de utiliteit relatief vaak sprake van koudevraag, waarin met klimaatneutrale waterstof niet efficiënt voorzien kan worden. Daarom is in de bestaande utiliteit het technisch potentieel van klimaatneutrale waterstof op relatief laag gezet. Vanwege de lagere (meer)kosten voor de infrastructuur is het potentieel voor nieuwbouw utiliteit op gemiddeld gezet.

Klimaatneutrale warmte

Het potentieel voor productie van klimaatneutrale warmte is op relatief hoog gesteld op grond van de volgende overwegingen:

- Er zijn veel mogelijkheden voor productie van klimaatneutrale warmte.
- Klimaatneutrale warmte wordt reeds op meerdere plaatsen geproduceerd en gedistribueerd (onder meer in Zweden en Denemarken).

- Klimaatneutrale warmte ontstaat als restproduct bij productie van andere klimaatneutrale energiedragers.

Het potentieel voor warmte wordt zowel bepaald door de dichtheid van de energievraag (hoogte van de warmtevraag per eenheid oppervlak) alsmede de kosten voor aanleg van het leidingstelsel. Met name in de bestaande situatie zijn, evenals voor H₂, de kosten voor aanleg van een warmte-infrastructuur hoog. Een hoge warmtevraag per eenheid oppervlak is gunstig voor de rentabiliteit. Het potentieel voor de inzet klimaatneutrale warmte in de bestaande woningbouw met hoge dichtheid is op gemiddeld gesteld. De hoge dichtheid van woningen is gunstig voor het beperken van de investeringen in de distributie, de hoogste kostenpost bij deze energiedrager. Het potentieel in de nieuwe utiliteit en nieuwe woningbouw met hoge dichtheid is gesteld op gemiddeld. Hier zijn wel kansen, maar de lagere warmtevraag is minder gunstig voor de rentabiliteit van de investeringen.

Het potentieel voor inzet in de bestaande en nieuwe woningbouw met lage dichtheid is gesteld op relatief laag, omdat bij warmte de investeringen in de distributie relatief hoog zijn. In gebieden met lage dichtheid kan warmte daarom moeilijker concurreren met de andere energiedragers.

Klimaatneutrale elektriciteit en het all electric concept

Het is van belang om een onderscheid te maken tussen het voorzien in de elektriciteitsvraag middels klimaatneutrale elektriciteit (substitutie tussen verschillende ‘kwaliteit’ van elektriciteit) en klimaatneutrale elektriciteit binnen een all electric concept (waarbij tevens andere energiedragers worden vervangen door elektriciteit). Voor klimaatneutrale elektriciteit is het potentieel voor productie en voor distributie en conversie in de meeste marktsegmenten gesteld op relatief hoog:

- Er zijn vele opties voor productie van klimaatneutrale elektriciteit.
- Er vindt reeds op aanzienlijke schaal productie plaats (voornamelijk nucleair).
- Er zijn, in geval van substitutie van ‘grijze’ elektriciteit door klimaatneutrale elektriciteit, geen aanpassingen aan de infrastructuur of in de woning nodig.
- Bij toepassing van klimaatneutrale elektriciteit binnen een all electric concept zijn wel meerinvesteringen te verwachten, dit omdat het elektriciteitsnet dient te worden verzwakt en gebruik moet worden van een ander type conversiesysteem (zoals een warmtepomp). De kosten voor het ‘all electric’ concept zijn aanzienlijk hoger in de bestaande bouw dan in de nieuwbouw.
- in alle marktsegmenten blijft er een aanzienlijke elektriciteitsvraag, met name de utiliteitsbouw kent een relatief grote krachtvraag.

Het aandeel van klimaatneutrale elektriciteit in de totale energievraag kan worden vergroot door klimaatneutrale elektriciteit ook in te zetten voor warmtevraag. Hiervoor is een relatief hoog potentieel in de utiliteit, waar de installatie gelijktijdig ingezet kan worden voor koeling. Ook is er een relatief hoog potentieel in de nieuwe woningbouw waar in de woning een warmtepomp met bron geplaatst kan worden en de infrastructuur direct verzwakt kan worden. Het potentieel in de bestaande woningbouw is voor all electric op ‘gemiddeld’ gesteld omdat het in deze situatie relatief moeilijk is om tegen aanvaardbare kosten te kunnen beschikken over een warmtebron van voldoende omvang. Wel kan ook in deze sector in de eindvraag naar kracht voorzien worden door klimaatneutrale elektriciteit.

Synthesegas⁵⁸

Voor synthesegas is het potentieel voor productie gesteld op gemiddeld, dit omdat de productie sterk afhankelijk is van één bron, zijnde biomassa. Overige overwegingen die een rol spelen bij het toekennen van de score zijn de noodzaak tot aanzienlijke veranderingen bij de centrale ener-

⁵⁸ Vanwege de productie uit biomassa dient hier feitelijk gesproken te worden van ‘hernieuwbaar synthesegas’.

gie productie en beperktere veranderingen bij distributie en gebruik. Tevens levert de samenstelling van het synthesegas, bestaande uit CO (giftig) en H₂ (explosief) een veiligheidsrisico.

Het potentieel voor distributie en levering aan alle marktsegmenten is gesteld op gemiddeld. De kosten voor aanpassing van het distributienet en van de apparatuur zijn relatief laag ten opzichte van andere opties. Distributie is daarom in alle sectoren, ook bij een lagere warmtevraag, relatief eenvoudig uit te voeren.

Klimaatneutraal synthetisch aardgas

Ook voor klimaatneutraal synthetisch aardgas (SNG) is het potentieel voor productie gesteld op gemiddeld. Ten opzichte van klimaatneutraal synthesegas heeft het als nadeel dat het, naast de afhankelijkheid van biomassa, ook afhankelijk is van grootschalige H₂-productie, waardoor de kosten voor productie naar verwachting hoger zijn dan voor syngas. Daar staat tegenover dat er geen aanpassingen aan de distributie-infrastructuur of aan de apparatuur nodig zijn. Ook kent het niet de veiligheidsrisico's verbonden aan CO en H₂. Een extra onzekere factor bij deze optie is wel de ontwikkeling van de technologie: het is nog niet bekend of en op welke wijze klimaatneutraal synthetisch aardgas grootschalig geproduceerd kan worden.

In alle marktsegmenten is het potentieel voor inzet van SNG op hoog gesteld. Er zijn geen aanpassingen nodig in distributienet en in de apparatuur, zodat het - als de productie is geregeld - zonder problemen in alle marktsegmenten kan worden ingevoerd. Opslagproblemen doen zich, in vergelijking tot de overige klimaatneutrale energiedragers, nauwelijks voor dit omdat gebruik gemaakt kan worden van dezelfde opslagfaciliteiten als voor het huidige aardgas.

5.9.2 Huidige situatie

Ter vergelijking is in Tabel 5.4 ook een overzicht van de huidige status van de energiedragers weergegeven (in Nederland of andere West-Europese landen). Aangegeven is of de energiedrager klimaatneutraal geproduceerd wordt en of de energiedrager reeds naar de verschillende marktsegmenten wordt gedistribueerd. Er is onderscheid gemaakt in grootschalige toepassing, praktijkexperimenten of laboratoriumonderzoek.

Tabel 5.4 *Huidige status van de verschillende energiedragers, qua klimaatneutrale productie en qua distributie per marktsegment in de Gebouwde Omgeving (T = grootschalige toepassing; E = praktijkexperimenten; L = laboratoriumexperimenten)*

	Waterstof	Warmte	Elektriciteit	Synthesegas	Synthetisch aardgas
Klimaatneutrale productie	L	T/E/L	T/E/L	L	L
Woningbouw bestaand hoge dichtheid	L	T	T	T*	T
Woningbouw bestaand lage dichtheid	L	E	T	-	T
Utiliteit bestaand	L	T	T	T*	T
Woningbouw nieuw hoge dichtheid	L	T	T	T*	T
Woningbouw nieuw lage dichtheid	L	-	T	-	T
Utiliteit nieuw	L	T	T	T*	T

* tot jaren '60: stadsgas.

Het valt op dat er grote verschillen zijn tussen de energiedragers qua status. Klimaatneutrale waterstof is nog geheel in de laboratoriumfase, terwijl klimaatneutrale elektriciteit en klimaatneutrale warmte reeds op grote schaal worden toegepast. Klimaatneutraal synthesegas wordt nog niet geproduceerd. Er is echter wel ruime ervaring met distributie van soortgelijke gassen, namelijk steenkoolgas dat tot de jaren '60 door de stadsgasbedrijven werd gedistribueerd. Ook voor synthetisch aardgas geldt dat de productie nog in laboratoriumfase is, terwijl de distributie van vergelijkbaar aardgas reeds op geruime schaal plaatsvindt.

5.10 Introductie van klimaatneutrale energiedragers per marktsegment.

Uit de beschrijvingen in Paragraaf 5.3-5.9 is gebleken dat de mate waarin er aanpassingen nodig zijn in de woning en in de wijk verschilt voor de diverse CO₂-vrije energiedragers. Ook is de ene CO₂-vrije energiedrager beter inpasbaar in een marktsegment dan de ander. In deze paragraaf wordt per marktsegment de technische mogelijkheden voor introductie van klimaatneutrale energiedragers en de technische aanpassingen die hierbij nodig zijn.

5.10.1 Bestaande woningen met hoge dichtheid

In de bestaande bouw met hoge dichtheid hebben klimaatneutrale warmte en elektriciteit een relatief hoog potentieel en de gasvormige klimaatneutrale energiedragers een gemiddeld potentieel. Voor de invoering van klimaatneutrale warmte dient er een nieuwe energie-infrastructuur aangelegd te worden en dient de energieconversie-apparatuur vervangen te worden door een afleverset. Invoering van klimaatneutrale elektriciteit en klimaatneutraal synthetisch aardgas kan zonder aanpassingen aan de infrastructuur en de energieconversie-apparatuur. Wanneer klimaatneutrale elektriciteit ook voor verwarmingstoepassingen wordt ingezet (all electric concept) zijn eveneens grotere aanpassingen nodig aan infrastructuur en energieconversie-apparatuur. Voor invoering van klimaatneutraal synthese gas zijn kleinere aanpassingen nodig aan infrastructuur en energieconversie-apparatuur, voor invoering van klimaatneutraal waterstof grotere aanpassingen aan infrastructuur en energieconversie-apparatuur. Bij de opties waarvan het potentieel het hoogst is ingeschat, klimaatneutrale warmte, synthetisch aardgas (SNG) en all electric, is daarnaast de aanwezigheid van een lage temperatuur verwarmingsnet gewenst dan wel noodzakelijk.

Bij de meeste opties zijn dus aanpassingen nodig van infrastructuur en energie-conversie-apparatuur. De volgende maatregelen kunnen genomen worden bij nieuwbouw, renovatie en herinrichting om deze aanpassingen later gemakkelijker mogelijk te maken:

- Voorbereiden van infrastructuur voor verzwaring (elektriciteit), voor ombouw naar andere energiedrager (gas) of voor toevoeging van een extra infrastructuur (warmte).
- Centraliseren van de warmteopwekking in hoogbouw: de energieconversie-apparatuur en de infrastructuur is gemakkelijker te vervangen wanneer warmte (en eventueel elektriciteit) in een centraal ketelhuis worden opgewekt dan wanneer dit decentraal gebeurt in iedere woning apart; overigens is er de afgelopen 10 jaar juist een trend naar decentrale warmteopwekking.
- Voorbereiden van woningen voor lage temperatuurverwarming: wanneer woningen voorzien zijn van of voorbereid op lage temperatuurverwarming is het eenvoudiger om deze woningen aan te sluiten op lage temperatuur warmtebronnen uit klimaatneutrale elektriciteit of klimaatneutrale warmte.
- Voorbereiden van woningen op veiligheidsvoorschriften voor synthese gas en waterstof: voor synthese gas en waterstof moeten waarschijnlijk andere veiligheidsmaatregelen en bouwkundige voorzieningen zoals ventilatie van ruimten genomen worden dan nu gelden voor aardgas; de introductie van deze energiedragers wordt vergemakkelijkt wanneer deze (nog in ontwikkeling zijnde) veiligheidsvoorzieningen reeds in de woning zijn aangebracht.

Wanneer deze maatregelen niet getroffen worden bij nieuwbouw of renovatie, wordt een latere introductie van klimaatneutrale warmte, elektriciteit, synthese gas en waterstofgas in bestaande woningen belemmerd. De enige opties die dan overblijven zijn klimaatneutraal synthetisch aardgas voor de eindvraag naar warmte en klimaatneutrale elektriciteit voor de eindvraag naar elektriciteit.

5.10.2 Bestaande woningen met lage dichtheid

In de bestaande woningbouw met lage dichtheid heeft klimaatneutrale elektriciteit⁵⁹ een relatief hoog potentieel, hebben de gasvormige klimaatneutrale energiedragers een gemiddeld potentieel en heeft klimaatneutrale warmte een relatief laag technisch potentieel. De benodigde aanpassingen in de bestaande woningbouw met lage dichtheid zijn gelijk aan die in bestaande woningbouw met hoge dichtheid. Het belangrijkste verschil met bestaande woningbouw met hoge dichtheid is dat aanpassing van de infrastructuur in gebieden met lage dichtheid economisch minder aantrekkelijk is, omdat de investeringen per geleverde hoeveelheid energie aanzienlijk hoger zijn. Verder zijn er minder beperkingen bij het invoeren van nieuwe energieconversie-apparatuur, omdat er in en om de woningen vaak meer ruimte is. In de bestaande woningbouw met lage dichtheid zijn dus energiedragers waarbij minder investeringen in de infrastructuur nodig zijn en desnoods meer in de energieconversie-apparatuur of de productie in het voordeel. Gasvormige klimaatneutrale energiedragers die gebruik maken van de huidige infrastructuur hebben hierdoor een sterk voordeel ten opzichte van warmte of warmteopwekking met elektriciteit.

Om de introductie van klimaatneutrale energiedragers gemakkelijker te maken, kunnen in de bestaande bouw met lage dichtheid dezelfde maatregelen genomen worden als in de bestaande bouw met hoge dichtheid. Overwogen kan worden om meer nadruk te leggen op maatregelen waarmee infrastructuur en woning op gasvormige klimaatneutrale energiedragers worden voorbereid, dan op maatregelen gericht op het voorbereiden voor warmte en warmteopwekking uit elektriciteit.

5.10.3 Bestaande Utiliteitsbouw

In bestaande utiliteit is het technisch potentieel van klimaatneutrale elektriciteit relatief hoog, van klimaatneutrale warmte, synthesesgas en synthetisch aardgas⁶⁰ gemiddeld en van klimaatneutrale waterstof relatief laag. Belangrijke verschillen van de utiliteit ten opzichte van de woningbouw zijn onder meer een hogere elektriciteitsvraag, een lagere warmtevraag en de aanwezigheid van een koelvraag. Verder staat bij utiliteitsgebouwen de energieconversie-apparatuur vaak centraal opgesteld.

Zowel in de koelvraag in de zomer als in (een groot deel van) de warmtevraag in de winter kan worden voorzien door middel van een warmtepompsysteem met seizoensopslag. Hiermee kan klimaatneutrale elektriciteit in de totale energievraag voorzien (all electric), met name indien het gebouw beschikt over lage temperatuurverwarming en de warmtevraag beperkt kan worden. Alternatieven zijn klimaatneutrale elektriciteit aangevuld met klimaatneutrale warmte, klimaatneutraal synthesesgas of klimaatneutraal synthetisch aardgas. Door de centrale opstelling van de energieconversie-apparatuur en de grote vraag per aansluiting is de ombouw relatief gemakkelijk uit te voeren. Voor klimaatneutrale waterstof zijn de omstandigheden niet gunstig. Door de lage warmtevraag ten opzichte van de elektriciteitsvraag en de aanwezigheid van koelvraag is het niet goed mogelijk om met waterstofgestookte brandstofcellen in de energievraag te voorzien. Andere waterstofgestookte energieconversie-apparatuur kent een slecht ketenrendement.

De volgende maatregelen kunnen genomen worden bij nieuwbouw, renovatie en herinrichting om overschakeling op klimaatneutrale elektriciteit, al dan niet in combinatie met een andere energiedrager, later gemakkelijker mogelijk te maken:

- Voorbereiden van infrastructuur voor verzwaring (electriciteit), voor ombouw naar andere energiedrager (gas) of voor toevoeging van een extra infrastructuur (warmte).
- Centraal houden van de warmteopwekking.

⁵⁹ Hiermee wordt substitutie van elektriciteit door klimaatneutrale elektriciteit bedoeld en niet het all electric concept.

⁶⁰ Weliswaar scoort deze energiedrager hoog wat betreft distributie en conversie, de productie scoort echter lager dan voor klimaatneutrale elektriciteit.

- Voorbereiden van de gebouwen voor lage temperatuurverwarming: wanneer gebouwen voorzien zijn van of voorbereid op lage temperatuurverwarming is het eenvoudiger om deze woningen aan te sluiten op lage temperatuur warmtebronnen uit klimaatneutrale elektriciteit of klimaatneutrale warmte.

Daarnaast zijn er in de utiliteit nog legio mogelijkheden om de vraag naar elektriciteit, warmte en koude te beperken. Beperking van de energievraag maakt de investeringen voor overschakeling op klimaatneutrale elektriciteit beduidend lager.

5.10.4 Nieuwbouw woningen met hoge dichtheid

In nieuwe woningbouw met hoge dichtheid is het technisch potentieel van klimaatneutrale elektriciteit relatief hoog, van klimaatneutrale warmte, klimaatneutraal synthesegas en klimaatneutraal synthetisch aardgas⁶⁰ gemiddeld en van klimaatneutrale waterstof relatief laag. Bij nieuwbouw kan op het moment van investeren gekozen worden welke klimaatneutrale energiedrager in de lokale situatie de beste mogelijkheden biedt. Hier kan het ontwerp van de infrastructuur en de woningen op aangepast worden. De belemmeringen door bestaande situatie die in de bestaande woningbouw optreden doen zich dus in de nieuwbouw in veel mindere mate voor. Een ander verschil is dat in de nieuwe woningbouw meer mogelijkheden zijn voor maatregelen op het gebied van beperking van de warmtevraag en lokale opwekking van hernieuwbare energie. Hierdoor worden de mogelijkheden van energiedragers die sterk afhankelijk zijn van een grote warmte-afzet (klimaatneutrale waterstof en klimaatneutrale warmte) minder.

De volgende factoren beïnvloeden de technische mogelijkheden voor invoering van verschillende klimaatneutrale energiedragers:

- Het aantal gelijktijdig te bouwen woningen: hoe groter het aantal woningen, hoe groter het draagvlak voor productie en distributie van klimaatneutrale energiedragers.
- De gelijktijdigheid van de bouw van woningen: om de aanloopinvesteringen voor opwekking en distributie van klimaatneutrale energiedragers te beperken dient de capaciteit voor productie en distributie zo snel mogelijk volledig benut te worden.
- Mogelijkheden tot afstemming van infrastructuur en woningaanpassingen: bij keuze voor een andere dan conventionele energiedrager dienen infrastructuur en alle woningen hierop aangepast te worden.

Deze factoren leiden ertoe dat invoering van klimaatneutrale energiedragers in nieuwe woningen met hoge dichtheid alleen mogelijk is wanneer er op zeer grote schaal en in een zeer hoog tempo en sterk gecoördineerd wordt gebouwd. In alle andere gevallen is de invoering van klimaatneutrale energiedragers in nieuwbouwwoningen afhankelijk van de invoering ervan in omliggende bestaande woningbouw of utiliteit. De introductie van klimaatneutrale energiedragers in de bestaande bouw en de nieuwbouw kunnen dus niet los van elkaar gezien worden!

Wanneer onvoldoende schaalgrootte mogelijk is, zijn klimaatneutrale warmte, en klimaatneutraal synthesegas en klimaatneutrale waterstof in het nadeel. Klimaatneutraal SNG en klimaatneutrale elektriciteit blijven dan als enige opties over.

5.10.5 Nieuwbouw woningen met lage dichtheid

In de nieuwe woningbouw met lage dichtheid is het technisch potentieel van klimaatneutrale elektriciteit gesteld op relatief hoog, van klimaatneutraal synthesesgas en klimaatneutraal SNG⁶⁰ op gemiddeld en van klimaatneutrale waterstof en warmte op laag. Hier zijn ten opzichte van de andere marktsegmenten relatief weinig mogelijkheden door de combinatie van een lage warmtevraag en hoge distributiekosten. Door de lage dichtheid is het ook niet mogelijk om met alleen nieuwbouw voldoende schaalgrootte te krijgen voor introductie van een nieuwe energiedrager. De toepassing van klimaatneutrale energiedragers in de nieuwbouw met lage dichtheid zal daarom naar verwachting de introductie van klimaatneutrale energiedragers in de bestaande bouw met lage dichtheid volgen. Het belangrijkste onderscheid tussen nieuwbouw en bestaande bouw met lage dichtheid is dat in de nieuwbouw meer maatregelen op woningniveau mogelijk zijn. Gedacht kan worden aan maatregelen voor vraagbeperking en lokale hernieuwbare energie, maar ook voor benutting van klimaatneutrale elektriciteit voor warmteopwekking.

5.10.6 Nieuwe utiliteitsbouw

De nieuwe utiliteit verschilt van de bestaande utiliteit door de grotere mogelijkheden voor beperking van de vraag naar elektriciteit, warmte en koude. Efficiënte apparatuur, goede zonneoriëntatie, zonwering, isolatie van de gebouwschil, efficiënte installaties en goede ventilatie dragen hieraan bij. In de energievraag die nog resteert kan op dezelfde wijze voorzien worden als bij bestaande utiliteit, namelijk door klimaatneutrale elektriciteit, eventueel in combinatie met klimaatneutrale warmte, synthesesgas of SNG. Ook hier geldt dat invoeren van een nieuwe energiedrager, zoals warmte of synthesesgas, uitsluitend mogelijk is wanneer er voldoende schaalgrootte is. Dit betekent dat ofwel gelijktijdige invoering in een grote concentratie van utiliteitsgebouwen nodig is, ofwel gelijktijdige invoering in een zone met utiliteit en woningbouw. Volledig in de energievraag voorzien met elektriciteit is ook een reële optie, die reeds in enkele kantoorgebouwen in de praktijk is gebracht. Dit is op gebouwniveau in te voeren, mits de capaciteit van het elektriciteitsnet voldoende is.

De belangrijkste technische voorzieningen om invoering van klimaatneutrale energiedragers in nieuwe utiliteit mogelijk te maken zijn dus:

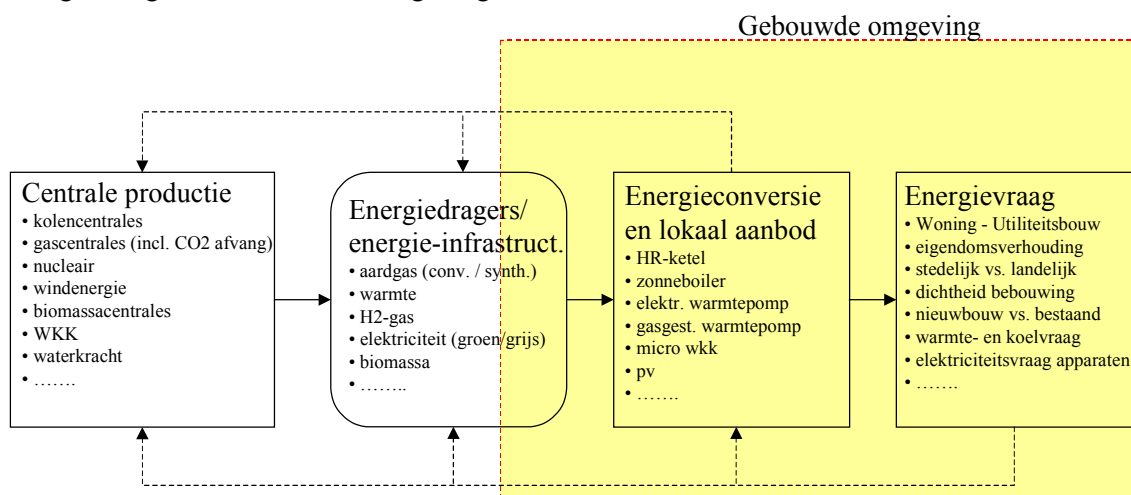
- Beperken van de energievraag op gebouwniveau: dit maakt de investeringen voor overschakelen op klimaatneutrale elektriciteit beduidend lager.
- Warmte- en koudeopwekking met een warmtepompsysteem met seizoensopslag van warmte en koude, in combinatie met verzwaring van het elektriciteitsnet.
- Alternatieve warmteopwekking met klimaatneutrale warmte, synthesesgas of SNG.

6. EINDBEELDEN EN TRANSITIEPADEN

6.1 De energievoorziening

In Paragraaf 2.2 is ingegaan op de functie en de aard van eindbeelden in een transitieproces. Globaal kan hierbij een tweedeling gemaakt worden naar eindbeelden met een technisch-economische inslag en meer sociaal-economisch georiënteerde beelden. In dit hoofdstuk wordt een nadere invulling gegeven aan de technische eindbeelden voor de Gebouwde Omgeving. Dit bouwt voort op de selectie van technische concepten uit het vorige hoofdstuk. Na het ontwerpen van de eindbeelden dient, omdat een technisch-economische eindbeelden als startpunt fungeren, de sociaal-economische dimensie verder te worden ingevuld.

De gehele energieketen die een rol speelt bij het voorzien in de energievraag voor de Gebouwde Omgeving kan weergegeven worden door een onderscheid te maken naar een viertal elementen, zie ook Figuur 6.1. Het betreft hier (1) centrale energieproductie, (2) energiedragers en de hieraan gekoppelde infrastructuur, (3) lokale conversie- en energie-aanbodopties, en (4) (finale) energievraag in de Gebouwde Omgeving.



Figuur 6.1 Schematische weergave van de verschillende elementen in de keten van energieproductie naar energievraag ('consumptie - productie' keten)

Binnen de centrale (energie)productiesector worden bepaalde energiedragers geproduceerd. Vaak zijn er ook meerdere opties om dezelfde energiedrager te produceren. Elektriciteit kan bijvoorbeeld centraal worden gegenereerd via kolen- en gascentrales die eventueel zijn voorzien van CO₂-afvang, biomassa centrales, waterkracht, kerncentrales, windmolens of PV-parken. Echter, de wijze waarmee de betreffende energiedrager wordt geproduceerd is bepalend voor de CO₂-inhoud (bijv. uitgedrukt in gram CO₂ per kWh). De energiedragers worden via de energie-infrastructuur getransporteerd naar de Gebouwde Omgeving. Via een conversiestap die in of in de directe nabijheid van de woning of een utiliteitsgebouw plaatsvindt, wordt vervolgens de betreffende energiedrager omgezet zodat in de vraag naar warmte en kracht kan worden voorzien.

De productie van energiedragers hoeft niet noodzakelijkerwijs centraal plaats te vinden. Ook via lokale opties⁶¹, zoals PV en zonneboilers, kan energie worden opgewekt waarmee in de energievraag in de Gebouwde Omgeving kan worden voorzien. Indien er sprake is van grootschalige lokale opwekking van energie, kan dit zowel effecten hebben op de infrastructuur⁶² alsmede ook

⁶¹ Hierbij kan een onderscheid worden gemaakt naar opties op wijkniveau en opties op gebouwniveau.

⁶² Zwaarte van de netkoppeling.

op het de inzet en opbouw van het centrale productiepark.⁶³ Ook veranderingen in de energievraag, bijvoorbeeld een verregaande energievraagbeperking door verhoging van de isolatiegraad, kunnen hun weerslag hebben⁶⁴ op zowel de conversietechnieken, de infrastructuur en de centrale productie. Zo beïnvloeden keuzen op één niveau in de keten de keuzemogelijkheden op andere niveaus in de keten. In een waterstof infrastructuur speelt bijvoorbeeld de brandstofcel een cruciale rol. Voor deze techniek lijken op voorhand weinig alternatieven voorhanden met een vergelijkbare energie-efficiëntie. Keuze voor een waterstofinfrastructuur impliceert daarmee keuze voor lokale opwekking van warmte en kracht met behulp van brandstofcellen. Indien als uitgangspunt van beleid gekozen wordt dat meerdere technologische opties open worden gehouden, zouden mogelijkheden om de robuustheid te vergroten een belangrijk punt van aandacht moeten zijn.

In het vorige hoofdstuk zijn verschillende technische concepten geëvalueerd. Wanneer deze concepten worden gekoppeld aan de verschillende marktsegmenten van de Gebouwde Omgeving dan blijkt een aantal combinaties weinig voor de hand te liggen, zoals bijvoorbeeld restwarmte in woningbouw met lage dichtheid (zie ook Tabel 5.3). Andere combinaties lijken meer plausibel. In hun aard zijn eindbeelden in het denken over transitie vrij breed, dit omdat in de meeste segmenten meerdere technologische routes mogelijk zijn die elkaar op voorhand niet uitsluiten. Alle routes zorgen voor een aanzienlijke reductie van CO₂. Het is anno 2002 niet te voorspellen welke route zal worden ingezet. Daarom is het zaak om tot 2010 het speelveld breed te houden en geen enkele route uit te sluiten. In de volgende paragrafen wordt per energiedrager een aantal eindbeelden uitgewerkt.

6.2 De waterstof route

Het invullen van een eindbeeld met waterstof als energiedrager hangt voor een belangrijk deel af van het antwoord op de vraag of voor distributie daarvan het bestaande aardgasnet kan worden gebruikt. Gezien de thans bestaande onzekerheid hierover is voor beide mogelijkheden een eind- en padbeelden ontwikkeld.

Eindbeeld 1: waterstof met distributie via een nieuw leidingnetwerk

In dit eindbeeld beperkt de distributie van de energiedrager waterstof in de GO zich tot nieuwbouw (dwz. dat deel van de GO dat gebouwd is nadat er besloten is te gaan investeren in waterstof als energiedrager). Er is vanaf gezien om in een keer de gehele (op datzelfde moment) bestaande bouw te voorzien van nieuwe leidingen voor waterstof wegens de enorme investeringen, organisatie en overlast die dat met zich mee zou brengen.

We hebben dus te maken met een eindbeeld waarin twee energiedragers en twee infrastructuren naast elkaar bestaan, een voor (locale) waterstof en een voor (al of niet klimaatneutraal) aardgas. Er zijn ‘aardgaswoningen’ en ‘waterstofwoningen’, met verschillende conversie- en gebruik-apparatuur. In de eerstgenoemde kookt en verwarmt men bijvoorbeeld (nog) op aardgas, in de laatstgenoemde kookt men elektrisch en wordt het warme water voor de verwarming en het bad geleverd door een micro-WK installatie die op een brandstofcel werkt. Scholing en opleiding in de installatie- en onderhoudsbranche is aanzienlijk uitgebreid om zowel het ‘aardgasdeel’ als het ‘waterstofdeel’ van de GO te kunnen bedienen.

Eindbeeld 2: waterstof met distributie via het bestaande leidingnet

In dit eindbeeld wordt het nadeel van de dubbele infrastructuur -een voor bestaande bouw, een voor nieuwbouw- inclusief de daarmee verbonden conversienetwerken, vermeden, dit omdat is verondersteld dat het mogelijk is om tegen beperkte kosten het huidige aardgasleidingstelsel geschikt te maken voor transport van zuiver H₂-gas. Tevens blijft het voordeel van de terugval-

⁶³ Zowel de omvang als ook het aandeel basis-, midden- en pieklast.

⁶⁴ Vaak gaat het hier om een daling van de rentabiliteit. Echter, er zijn ook opties waarvan het relatieve voordeel ten opzichte van concurrerende opties toeneemt bij een sterke afname van de energievraag.

optie behouden, dat wil zeggen dat we met aardgas verder kunnen blijven gaan als het met waterstof niets wordt. Voor het aanpassen van het leidingennet geldt dezelfde overweging als boven, namelijk dat hier in de nieuwbouw op korte termijn al mee begonnen zou kunnen worden.

Conversie in beide waterstof-eindbeelden

Uit Hoofdstuk 5 blijkt dat waar in de GO waterstof de energiedrager wordt, voor beide van de hier veronderstelde eindbeelden dezelfde, maar ingrijpende veranderingen nodig zijn aan de kant van conversie en gebruik. Er zal sprake zijn van een verandering in technieken als mogelijk ook in actoren. Het binnenbrengen van waterstofgas in de GO leidt tot nieuwe veiligheidseisen en -voorzieningen. In huishoudens doen op brandstofcellen gebaseerde technieken en apparaten hun intrede, die zowel warmte als elektriciteit leveren. Dit heeft een aantal consequenties voor installatie en onderhoud, en voor gebruik en gedrag van eindgebruikers. De eigenschap van brandstofcellen om warmte en elektriciteit tegelijkertijd in een vaste verhouding beschikbaar te stellen houdt in dat het elektriciteitsnet nodig blijft voor uitwisseling, dwz. voor het opnemen van overschotten en aanvullen van tekorten om leveringszekerheid te realiseren. Deze uitwisseling kan tot op zekere hoogte beperkt worden door opslag van warmte. Dit houdt in dat de eindgebruiker meer een handelaar in energie is geworden dan hij voorheen was. Mogelijk zullen op dit gebied intermediaire partijen ontstaan. Voor elektriciteitsdistributeurs is het echter niet aantrekkelijk om op willekeurige momenten stroom af te moeten nemen of te leveren. Zij streven ernaar de zaak om te draaien, nl. huishoudens als leveranciers van stroom in te schakelen bij het managen van de netbelasting door aansturing van de micro-WK's die ze leasen aan particulieren en bedrijven. Anderzijds is het denkbaar dat patronen van warmte- en elektriciteitsvraag in huishoudens op elkaar zijn afgestemd op een wijze die beter correspondeert met de leverantieverhouding van de warmtekrachtinstallatie, deels via verandering van gebruikersgedrag, deels via ICT-opties die vraagverschuiving kunnen ondersteunen (Kets et al, 2001). Een betere onderlinge afstemming van warmte/elektriciteitsvraagpatronen in de huishouding levert een beter rendement op van de installatie, en reduceert de omvang van uitwisseling met het net.

Voor beide eindbeelden geldt dat de toegepaste conversietechniek voor waterstof (micro-WK) in feite lokale productie inhoudt van warmte en elektriciteit⁶⁵, en daardoor de ruimte verkleint voor (andere) vormen van lokale opwekking (via PV, zonneboiler, zonnecombi). Extra elektriciteitsproductie door PV leidt voor de eigenaren van een micro-WK installatie alleen maar tot grotere toelevering aan het net (tegen onaantrekkelijke terugleververgoedingen), en aan extra warmte van een zonneboiler is ook geen behoefte. Verdergaande isolatie van gebouwen versterkt dit effect. Hierdoor kan de warmtevraag nul worden of zelfs negatief (behoefte aan koeling). Dit risico speelt vooral voor de sector utiliteit, wegens de toenemende hoeveelheid apparatuur die constant aanstaat en het meestal ontbreken van de vraag naar warm tapwater. Naarmate de energievraag afneemt wordt het exploiteren van een micro-WK installatie ongunstiger. Op 'waterstofwoningen' e.a. zal men dus doorgaans geen PV of zonnecollectoren aantreffen. Het afzetgebied voor deze duurzame bronnen wordt daardoor kleiner.

Transitiepaden

In het transitiepad naar eindbeeld 1 waarin wordt afgezien van het in een keer vervangen van het totale leidingnet zal het bereiken van schaalgrootte (vergelijkbaar met die van aardgas thans) voor waterstoftoepassing relatief veel tijd vergen omdat ze afhangt van het tempo van nieuwbouw en van vervanging van woningen en/of gasleidingen. Om dit proces te versnellen zal, in de nieuwbouw, zo snel mogelijk moeten worden begonnen met het aanleggen van een net dat zowel voor distributie van aardgas als van waterstof geschikt is. Lokaal kan dan al worden overgeschakeld van aardgas naar waterstofgas zodra de benodigde technologie (technologie voor lokale productie en opslag, conversietechnologie, standaarden, installatietechnieken, draagvlak, investeringskapitaal etc.) beschikbaar komt. Het realiseren van waterstof langs deze route vereist dus een vooruitziende blik en het reduceren van risico's voor investeerders in deze route. Mogelijk knelpunt is de aansluiting op een H₂-hoofdnet. Indien dit (nog) niet aanwezig is,

⁶⁵ In combinatie met grootschalige centrale productie van H₂.

zal (al dan niet tijdelijk) de H₂ lokaal geproduceerd moeten worden, hetgeen de afvang en opslag van CO₂ sterk bemoeilijkt of zelfs onmogelijk maakt. Eventueel zou de H₂ lokaal via elektrolyse met hernieuwbare elektriciteit geproduceerd kunnen worden. Dit zou echter niet meer dan een tijdelijke oplossing moeten zijn, vanwege de relatief grote omzettingsverliezen.⁶⁶

Het voorlopig beschikbaar blijven van de aardgasinfrastructuur in bestaande bouw in beeld 1 heeft echter ook een voordeel. Mocht waterstof als energiedrager om wat voor reden dan ook op termijn niet levensvatbaar blijken, dan kan voor de energievoorziening van nieuwbouw alsnog worden teruggevallen op bewezen technologie door aardgas dan via de voor waterstof bedoelde leidingen te distribueren. Vanwege de aanwezigheid van dit bewezen alternatief komt de leveringszekerheid van energie niet in gevaar. In het tweede eindbeeld wordt het transitiepad vooral bepaald door de ontwikkeling en inbedding van productie- en conversietechnieken, in het perspectief van een waterstofvoorziening waarvoor het bestaande aardgasnet kan worden benut. Dit perspectief moet dan wel nadrukkelijk worden gecreëerd wil de ontwikkeling van dergelijke technieken investeringen aantrekken. Via lokale netwerken kunnen distributiebedrijven echter wel de klanten aan zich binden (monopoliepositie). Deze situatie is voor de consument ongunstig, terwijl tevens de CO₂-vrije productie een probleem vormt.

Een ander denkbaar pad is er een waarin het woningbouwbeleid verandert: het bouwen van grote clusters nieuwbouw (Vinex-wijken) wordt verruild voor meer diversiteit en verspreid door bestaande bouw voorkomende nieuwbouw. In zo'n ontwikkeling ligt het meer voor de hand dergelijke verspreide plukjes nieuwbouw aan te sluiten op het aardgasnet van de bestaande bouw dan hiervoor een (al dan niet lokale) waterstofvoorziening in het leven te roepen. Het eerder beschreven pad van geleidelijke penetratie van waterstof via nieuwbouw is dan van de baan. In het geval van verspreide nieuwbouw is waterstof alleen nog een optie indien distributie ervan mogelijk is via het reeds aanwezige transportnet (eindbeeld 2).

Beide eindbeelden sluiten veronderstellingen in wat betreft veranderingen in de exploitatie en beheer van het gasnet. De huidige beheerder wordt in beide eindbeelden een belangrijke speler voor de invoering van waterstofgas als energiedrager. In het eerstgenoemde eindbeeld kan in principe een concurrerende (waterstof)infrastructuur aanwezig zijn. Ten opzichte daarvan zal de huidige beheerder zich moeten positioneren. Ten tweede blijft ook in deze optie aardgas nodig om waterstof te maken (tenzij het wordt ingevoerd). In eindbeeld 2 is de beheerder nodig niet alleen voor de productie, maar ook voor de verspreiding van waterstofgas door haar net. Zij moet dan bereid zijn daarvoor de nodige aanpassingen te realiseren.

Conclusie

Al zijn de veranderingen om het eerste eindbeeld te realiseren groter dan in het geval van het tweede, voor beide eindbeelden geldt dat zij grote veranderingen veronderstellen ten opzichte van de huidige energievoorziening van de GO. Immers, beide beelden veronderstellen actornetwerken die sterk verschillen van het thans bestaande in termen van technieken, organisatie van beheer en exploitatie, regels, standaarden, draagvlak en gebruikspraktijk. Van productie tot en met eindgebruik zullen bestaande actoren binnen het thans bestaande netwerk moeten veranderen, nieuwe actoren zullen naar voren moeten komen en andere mogelijk aan belang inboeten (o.a die rond zonne-energie).

Vooronderstellingen in het beeld waterstof

- opschalen productietechnologie m.b.v. aardgas lukt technisch en economisch,
- er wordt geïnvesteerd in het aanleggen van een geheel nieuwe infrastructuur (eindbeeld 1),
- veiligheidsrisico's van productie en opslag (centraal dan wel lokaal) worden door de bevolking aanvaard (ontwikkeling van normen en procedures),
- toepassing en opschaling brandstofceltechnologie voor GO lukt technisch en economisch,

⁶⁶ Elektriciteit wordt omgezet in H₂ dat weer wordt omgezet in H₂ en warmte. Rechtstreekse omzetting van elektriciteit in warmte (via een warmtepomp) heeft een veel hoger systeemrendement.

- elektriciteitsdistributeurs zien voordelen in micro-WK,
- installatiebranche omarmt deze technologie,
- eindgebruikers aanvaarden risico in de woning, zijn bereid te gaan handelen in elektriciteit, hun verbruiksgedrag af te stemmen op het aanbod van de huisinstallatie.

Kennishiaten

Het zal duidelijk zijn dat als minimumvoorwaarde voor bereidheid tot pro-actieve investeringen in infrastructurele voorzieningen voor waterstof als energiedrager, allereerst meer duidelijkheid nodig is over de technische eisen die daarvoor aan het distributienet gesteld moeten worden. Over de vraag of een nieuw distributienetwerk nodig is bestaat thans geen zekerheid. Sommige bronnen zeggen dat het bestaande gasnet -met enige aanpassingen- volstaat voor het transport van waterstofgas, andere bronnen betwijfelen of ontkennen deze mogelijkheid. Het verkrijgen van meer helderheid hierover is dan ook een eerste prioriteit voor nader verkennen van een transitie waarin waterstof een rol speelt.

6.3 Klimaatneutrale elektriciteit

Net als bij waterstof wordt voor klimaatneutrale elektriciteit twee eindbeelden uitgewerkt, al dan niet gebaseerd op het bestaande distributienet.

Eindbeeld 1: klimaatneutrale elektriciteit via een ongewijzigd elektriciteitsnetwerk

In dit eindbeeld wordt de GO in zijn geheel (alle segmenten) van klimaatneutrale elektriciteit voorzien via het net zoals we dat thans kennen. De benodigde veranderingen om de elektriciteit die door dit net stroomt klimaatneutraal te maken zijn geheel gerealiseerd aan de productie kant. In de GO zijn, doordat het hier inzet van elektriciteit voor de krachtvraag betreft, geen veranderingen nodig, niet aan conversieapparatuur en dus ook niet in de installatie- en gebruikspraktijken. Gebouwen zijn tevens aangesloten op een gasnet waarmee de energie voor koken, verwarmen en warm tapwater wordt aangevoerd. De aard van het aangevoerde gas (en daarmee de mate van klimaatneutraliteit) hangt af van de besparingsdoelstelling die nationaal gerealiseerd moet worden. Verdergaande reductie van de CO₂-emissie dient in dit geval te worden bereikt via efficiëntieverbetering van conversieapparatuur en vraagbeperking.

Eindbeeld 2: klimaatneutrale elektriciteit via een verzwaard net (all electric)

De GO betreft in alle segmenten alle benodigde energie klimaatneutraal uit het elektriciteitsnet dat hiervoor is verzwaard. Dat laatste is nodig om via elektriciteit ook in eindvraag naar ruimteverwarming en warm tapwater te kunnen voorzien. Voor zover de GO nog voorzien is van gasleidingen worden deze niet meer gebruikt. Naar nieuwbouw worden geen gasleidingen meer gelegd. Wat dit eindbeeld betekent voor de inzet van aardgas (groter of kleiner dan in de huidige situatie) hangt vooral af van het (systeem)rendement van de toegepaste warmtepomp en de efficiëntie van het (de)centrale elektriciteitspark.

Padbeelden

Voor de realisatie van eindbeeld 1 zijn in de GO geen speciale voorzieningen nodig, tenzij via de gaszijde van dit beeld een deel van de CO₂-besparing moet worden behaald. De veranderingen die daarvoor nodig zijn worden besproken bij volgende eindbeelden (synthesegas en SNG). Voor de realisatie van eindbeeld 2 is het padbeeld analoog aan de waterstofoptie. Zolang nieuwbouw in grote clusters blijft plaatsvinden, is daarin snelle penetratie mogelijk van klimaatneutrale elektriciteit binnen een all electric concept wanneer op korte termijn begonnen wordt met de aanleg van een verzwaard elektriciteitsnet en van voorzieningen voor warmtebronnen die t.z.t. de all electric optie aankunnen. In de bestaande bouw is de omschakeling problematischer, zowel vanwege de hogere kosten voor verzwaring van de infrastructuur alsmede het aanboren van de benodigde warmtebron. Verwacht wordt dat de twee eindbeelden langere tijd naast elkaar zullen bestaan.

Conclusie

Voor realisatie van het eerste eindbeeld zijn in de GO geen veranderingen in het (actor) netwerk nodig, tenzij tevens in de vraag naar laagwaardige warmte dient te worden voorzien. Voor realisatie van het 'all electric' eindbeeld zijn technische veranderingen nodig, zowel aan het distributienet als in en rond de GO (grootschalige introductie van lage temperatuur verwarming en warmtepompen). De verwachting is dat deze zonder veel moeilijkheden via bestaande netwerken kunnen worden gerealiseerd. Ook voor de eindgebruiker zijn de veranderingen niet ingrijpend (althans aanzienlijk minder groot dan bij invoering van waterstof).

Vooronderstellingen

- Grootschalige opslag van CO₂ is technisch mogelijk gebleken, politiek aanvaardbaar bevonden en praktisch gerealiseerd door partijen die daarvoor de investeringen hebben opgebracht. windenergie is op grote schaal gerealiseerd.
- Als de bovengenoemde niet zijn gerealiseerd is kernenergie gereactiveerd om aan de benodigde klimaatneutrale elektriciteit te komen.
- De kinderziekten van warmtepompen zijn overwonnen, het rendement is aanzienlijk vergroot en de kostprijs is fors gedaald.
- Het op grote schaal toepassen van warmteopslag in de bodem via aquifers blijkt geen onverkomenlijke nadelige effecten te hebben.

Kennishiaten

Wat er aan kennis ontbreekt kan worden afgeleid uit de boven opgesomde vooronderstellingen in de veronderstelde eindbeelden. Van de hierin veronderstelde technologieën is alleen kernenergie een volledig bewezen (maar omstreden) optie. Voor het concretiseren van de discussie over de maatschappelijke aanvaardbaarheid van CO₂-opslag zou het wenselijk zijn op korte termijn een demonstratieproject voor deze technologie op te zetten. Verder is onderzoek nodig naar effecten op de bodem van het huis aan huis toepassen van warmteopslag via aquifers. Het creëren van een gunstige leercurve voor warmtepompen is vooral een zaak van het bedrijfsleven, maar kan wel gestimuleerd worden door de overheid door leren te ondersteunen via uitbreiding van de toepassing die thans nog op beperkingen stuit via de hoge prijs.

6.4 Synthesegas

Het eindbeeld met synthesegas als klimaatneutrale energiedrager komt in de buurt van de situatie voor de introductie van aardgas. Naast aansluiting op elektriciteit zijn alle segmenten van de GO aangesloten op een gasnet met centraal geproduceerd gas dat een vergelijkbare samenstelling en verbrandingswaarde heeft als het vroegere stadsgas, alleen wordt het nu klimaatneutraal geproduceerd uit biomassa (zie Hoofdstuk 5). Het gas wordt gedistribueerd via het aardgasnet. Alle conversieapparatuur die gas verbruikt (voor koken, ruimteverwarming en warm water) in huishoudens en utiliteit is aangepast. Als alternatief voor de HR-ketel heeft in dit eindbeeld microWK marktaandeel verworven. Deze voorziet ook in een deel van de elektriciteitsvraag. Waar geen microWK wordt toegepast kan PV een bijdrage leveren in de elektriciteitsvoorziening. Verdergaande efficiëntieverbetering blijft een rol spelen.

Padbeeld

Op weg naar dit eindbeeld dienen naar en in de nieuwbouw (utiliteit en woningen) gasleidingen gelegd te worden met voldoende capaciteit voor het ter zijner tijd distribueren van synthesegas (vgl. padbeelden waterstof en klimaatneutrale elektriciteit). De ombouw van conversieapparatuur dient in één keer plaats te vinden vlak voor de introductie van het synthesegas. Op dat tijdstip moet ook het leidingnet in de bestaande bouw beschikbaar zijn voor synthesegas. Dit veranderingsproces vereist een strak geregisseerde operatie qua voorbereiding en uitvoering. De eindsituatie hangt zwaar op de beschikbaarheid van grote hoeveelheden biomassa, waardoor aardgas in deze optie overbodig wordt. Een alternatieve route zou kunnen zijn dat (delen van) de bestaande bouw op aardgas blijven draaien. Deze optie heeft verschillende voordelen: er is min-

der biomassa nodig, de aardgasreserve en de bijbehorende infrastructuur blijft benut worden en er is beleidsmatige flexibiliteit in relatie met CO₂-reductiedoelstellingen (naarmate er meer reductie nodig is kan de infrastructuur voor synthesesgas worden uitgebreid). In dit geval komen we uit op een gemengd eindbeeld zoals bij waterstof en klimaatneutrale elektriciteit.

Conclusie

Voor de realisatie van dit eindbeeld zijn aanzienlijke veranderingen nodig: ingrijpende wijzigingen in de productie, en voor de GO in de conversie en mogelijk ook in distributie. De afstemming van de veranderingen in tijd en plaats is belangrijk, en vereist een centrale regie. In de meest radicale vorm van dit eindbeeld (alleen synthesesgas, geen aardgas) moet de winning van aardgas worden beëindigd en is er voor een belangrijke speler geen rol meer (Gasunie) tenzij deze de synthesesgasproductie ter hand neemt.

Vooronderstellingen

- Het op zeer grote schaal over lange tijd acquireren van biomassa door energieproducenten is daadwerkelijk mogelijk om zo de leveringszekerheid van de klimaatneutrale energie te garanderen. Dit houdt niet alleen in het realiseren van lange termijn contracten met (buitenlandse) leveranciers, ook het vervoer van de biomassa naar de centrales moet betaalbaar zijn en niet te energie-intensief. Tevens moet er overeenstemming zijn bereikt over een verdeelingsregime van de beschikbare biomassa over de verschillende energievragende sectoren.
- Er is technologie beschikbaar voor het afvangen van schadelijke stoffen (NO_x, teren) die vrijkomen bij de omzetting van biomassa.
- Het is gelukt investeringen te realiseren voor aanpassing van het gasdistributienet. Afhankelijk van de omvang van de inzet van synthesesgas (al of niet gecombineerd met aardgas) dienen bestaande partijen bereid te zijn deze investeringen te dragen, dan wel nieuwe partijen te zijn opgetreden.
- De overheid ondersteunt een centrale regie voor de daadwerkelijke omschakeling.
- Huishoudens zijn bereid te investeren in de ombouw van aanwezige conversieapparatuur, al of niet met overheidssteun.
- De opslag, distributie en toepassing van het gas leidt niet tot onaanvaardbare veiligheidsproblemen.
- Gasgestookte warmtepompen en/of microWK veroveren voldoende marktaandeel.

Kennishiaten

Productie en distributie van synthesesgas is een van oudsher bekende technologie, maar deze zal sterk moeten worden gemoderniseerd in verband met de inzet van nieuwe grondstoffen (biomassa in plaats van kolen). Het gaat hierbij vooral om het verder ontwikkelen van technologie voor het wegfilteren en duurzaam verwijderen van schadelijke stoffen. Het naar de markt brengen van de microWK zal ook nog de nodige R&D vergen, al is deze technologie niet doorslaggevend voor de realisering van het eindbeeld. Voor gasgestookte warmtepompen gelden vergelijkbare overwegingen als eerder gegeven zijn voor elektrische warmtepompen (zie Paragraaf 6.3).

6.5 Synthetisch ‘aardgas’ (SNG)

Het eindbeeld voor synthetisch aardgas (SNG) vertoont belangrijke verschillen met dat voor de andere klimaatneutrale gasvormige energiedragers waterstofgas en synthesesgas, voor wat betreft productie, distributie en conversie (vgl. Hoofdstuk 5). SNG wordt rondgepompt door het ‘oude’ aardgasnet en de uitbreidingen daarvan in de nieuwbouw. Het SNG wordt hier en daar nog gebruikt met behulp van traditionele aardgas-conversieapparatuur (voor ruimteverwarming en tapwater), maar heeft ook een matrix geboden voor geleidelijke verspreiding in de GO van modernere apparatuur en systemen zoals de gasgestookte warmtepomp, lage temperatuurverwarming of microWK apparatuur. Het voor de productie van SNG benodigde waterstof wordt gemaakt met behulp van aardgas, de rest van de gassen komt uit biomassa (zie Hoofdstuk 5). De GO betreft elektriciteit nog steeds uit een centrale elektriciteitsinfrastructuur, en voor een deel

ook uit lokale PV (daar waar geen microWK staat). Efficiëntievergroting draagt bij aan reductie van zowel gas- als elektriciteitsvraag.

Padbeeld

Omdat voor het bereiken van dit eindbeeld geen speciale aanpassingen nodig zijn in de GO hangt het transitiepad af van ontwikkelingen aan de productiekant. Hier liggen combinatiemogelijkheden met het waterstofpad (zie verder).

Conclusie

De grote aantrekkelijkheid van de SNG-optie is de goede inpasbaarheid in de bestaande infrastructuur, de verwerkbaarheid in de bestaande conversieapparatuur en de combinatiemogelijkheden met de waterstofoptie. Bovendien blijft aardgas ‘in de race’, zowel als bron als qua infrastructuur.

Vooronderstellingen

- Opschalen van productie van waterstof wordt gerealiseerd (zie Paragraaf 6.2).
- De vooronderstellingen ten aanzien van grootschalige inzet van biomassa worden gerealiseerd (zie Paragraaf 6.4).
- Het opschalen van de productietechnologie van SNG en het opbouwen van voldoende productiecapaciteit is haalbaar gebleken en opgepakt door investeerders.

Kennishiaten

De onzekerheden liggen bij dit eindbeeld vooral aan de ontwikkelings- en productiekant, omdat het produceren van SNG alleen op laboratoriumschaal bewezen is. Om meer zekerheid te krijgen over de haalbaarheid van dit eindbeeld zal dus veel geïnvesteerd moeten worden in het ontwikkelingstraject.

6.6 Klimaatneutrale warmte

Distributie van klimaatneutrale warmte heeft van de beschouwde opties de minste technologische onzekerheden. Het kan volledig met bestaande technieken gerealiseerd worden. Ook past het goed bij een pad voor introductie van klimaatneutrale elektriciteit. Via warmtedistributie kan de warmte die hierbij vrijkomt nuttig ingezet worden. De mogelijkheden voor klimaatneutrale warmte hangen wel meer dan van andere energiedragers samen met lokale factoren zoals de bebouwingsdichtheid en de nabijheid van warmteaanbod en warmtevraag. Anderzijds laten bijvoorbeeld de warmtedistributieprojecten in Tilburg en Breda, die van warmte voorzien worden vanuit de Amercentrale in Geertruidenberg, zien dat het mogelijk is warmte over een afstand van tientallen kilometers te transporteren.

Op dit moment is de financiële rentabiliteit de belangrijkste hindernis voor uitbreiding van warmtedistributienetten en blijft warmtedistributie beperkt tot een niche-markt. Naarmate er hogere eisen aan beperking van de CO₂-uitstoot gesteld worden, zal de exploitatie van warmtedistributie-infrastructuren mogelijk rendabeler worden.

6.7 Gecombineerde eindbeelden/paden

Een aantal van de voorgaande eindbeelden van klimaatneutrale energiedragers zijn te combineren tot nieuwe eindbeelden.

1. Klimaatneutrale elektriciteit en klimaatneutraal gas

In eindbeeld 1 van klimaatneutrale elektriciteit wordt voor de GO tevens een gasvormige energiedrager verondersteld. Als deze (geheel of gedeeltelijk) ook klimaatneutraal moet zijn kan gedacht worden aan synthesegas of SNG. Omgekeerd wordt in de eindbeelden van synthesegas en

SNG een elektriciteitsinfrastructuur verondersteld. Gaat het hierbij om klimaatneutrale elektriciteit, dan komt men terecht bij de productiewijzen hiervoor in eindbeeld 1 van klimaatneutrale elektriciteit. Deze beelden zijn dus te combineren, en hieruit zijn padbeelden af te leiden.

2. Waterstof en SNG

Waterstof vormt tevens een onderdeel van de gasmix waaruit SNG bestaat. Dit biedt de mogelijkheid beide eindbeelden te combineren. Met aardgas geproduceerde waterstof kan worden toegeleverd aan de productie van SNG dat in de bestaande bouw zou kunnen worden toegepast (geen vervanging van leidingen nodig). De nieuwbouw kan dan worden voorzien van waterstof. Als dit laatste niet haalbaar mocht blijken is de extra waterstofproductie mogelijk af te zetten in andere sectoren zoals vervoer (brandstofcelauto's).

6.8 Robuustheid

Om na te gaan wat de robuustheid is van de gewenste ontwikkeling, kan geïnventariseerd worden wat de consequenties zijn van een slechts gedeeltelijke of zelfs volledige mislukte transitie. De afvang en opslag van CO₂ speelt in het transitieproces naar een duurzame energievoorziening voor de Gebouwde Omgeving via (onder meer) de inzet van klimaatneutrale energiedragers een cruciale rol. Om de robuustheid te bepalen wordt derhalve twee scenario's gehanteerd:

1. De inzet van klimaatneutrale energiedragers komt niet tot nauwelijks van de grond. Wel blijkt het mogelijk tegen aanvaardbare kosten CO₂ af te vangen en via injectie in de bodem duurzaam op te slaan. Tevens is er voldoende draagvlak binnen de samenleving voor toepassing van deze technologie.
2. Het blijkt in de praktijk, vanwege technische, economische of maatschappelijke factoren, niet mogelijk om afgevangen CO₂ voor een voldoende lange periode op te slaan. Hierdoor is feitelijk geen mogelijkheid om de transitie naar een duurzame energievoorziening in de Gebouwde Omgeving middels klimaatneutrale energiedragers vorm te geven.

Afgevraagd kan worden wat de consequenties zijn van de ontwikkelingen zoals geschetst in de twee hierboven gegeven scenario's en welke mogelijkheden resteren om toch de transitie naar een CO₂-arme energievoorziening in de Gebouwde Omgeving te maken.

6.8.1 Stagnerende transitie met mogelijkheid tot CO₂-opslag

Op voorhand valt niet uit te sluiten dat door (een combinatie van) technische, economische en maatschappelijke factoren de transitie naar een energievoorziening in de Gebouwde Omgeving middels grootschalige inzet van klimaatneutrale energiedragers niet van de grond komt. Afgevraagd kan worden wat in dit geval de alternatieven zijn indien blijkt dat de optredende knelpunten niet weggenomen kunnen worden. In dit scenario is echter de afvang en langdurige opslag van CO₂ mogelijk.⁶⁷

In Paragraaf 3.5.5 is een prognose gegeven van de (mogelijke) ontwikkeling van het energieverbruik in de Gebouwde Omgeving over de periode 2010 - 2030. In 2030 wordt in totaal circa 56 Mton CO₂ geëmitteerd ten gevolge van activiteiten binnen de Gebouwde Omgeving. Van deze 56 Mton is circa 30 Mton toe te schrijven aan directe verbranding van fossiele brandstoffen⁶⁸ en circa 27 Mton aan indirecte emissies ten gevolge van het verbruik van elektriciteit. Door de CO₂ die vrijkomt bij de productie van elektriciteit af te vangen en (langdurig) op te slaan, kan de totale CO₂-emissie in 2030 derhalve met rond de 27 Mton worden teruggedrongen. De resterende CO₂-emissie ten gevolge van de directe verbranding van fossiel brandstoffen bedraagt in dit geval circa 30 Mton CO₂.

⁶⁷ Het is technisch en economisch haalbaar en er is voldoende maatschappelijk draagvlak.

⁶⁸ Voornamelijk aardgas

In Paragraaf 3.6 is een schatting van een mogelijke reductiedoelstelling voor de Gebouwde Omgeving afgeleid. Deze bedraagt circa 35 Mton voor de Gebouwde Omgeving. Dit zou dus betekenen dat door een volledige overschakeling naar klimaatneutrale elektriciteit via CO₂-afvang aan de reductiedoelstelling voor de Gebouwde Omgeving zou kunnen worden voldaan. Bij de schatting van deze sectoroelstelling dient echter een aantal kanttekeningen te worden geplaatst, zie Paragraaf 3.6. Bij de bepaling van de reductiedoelstelling voor de Gebouwde Omgeving is geen rekening gehouden met mogelijk optredende sub-optimale verdelingen tussen sectoren. Indien dit wel gedaan zou worden, dan zou de sectoroelstelling voor de Gebouwde Omgeving mogelijk veel scherper⁶⁹ uit kunnen vallen dan de in Paragraaf 3.6 afgeleide reductiedoelstellingen. Ook is voor de jaren 2020 en 2030 geen consistentie check is gemaakt met de veronderstelde ontwikkeling binnen de overige sectoren en dientengevolge de ontwikkeling op nationaal niveau en kent de prognoses van de het energieverbruik en CO₂-emissie voor 2030 een relatief forse onzekerheid. Tot slot dient opgemerkt te worden dat er bij de bepaling van de ontwikkeling van het energieverbruik tot 2030, zie Paragraaf 3.5.5, er van uitgegaan is dat het energiebesparingsbeleid, gericht op het verlagen van de energievraag voor de Gebouwde Omgeving, onverminderd wordt voortgezet, zodat zeker niet gesteld mag worden dat er geen of slechts een geringe beleidsinspanning nodig is om in 2030 op het veronderstelde emissieniveau uit te komen.

6.8.2 Naar een duurzame energievoorziening zonder mogelijkheid tot CO₂-opslag

Alhoewel er in het buitenland recentelijk beperkte ervaring is opgedaan met het injecteren van CO₂ in gasvelden, zijn in Nederland tot dusverre geen praktijkproeven gedaan. Ook is er nog geen zicht op de effecten noch van de kosten van lange termijn opslag van CO₂ in de bodem. Het betreft hier derhalve een essentiële doch (nog) niet bewezen technologie, zodat rekening gehouden zal moeten worden met de mogelijkheid dat het in Nederland niet mogelijk blijkt te zijn om CO₂ voor een voldoende lange periode op te slaan. Hierbij wordt voorbijgegaan aan de feitelijke reden waarom het niet mogelijk blijkt te zijn CO₂-opslag als instrument in te zetten. Uitgangspunt in dit scenario is dat het niet mogelijk is gebleken om het betreffende knelpunt, of dit nu economisch, technisch of maatschappelijk is, weg te nemen. Binnen het kader van dit scenario wordt tevens verondersteld dat grootschalige inzet van kernenergie niet mogelijk is.

In Paragraaf 6.8.1 is becijferd dat de in Paragraaf 3.6 afgeleide reductiedoelstelling voor de Gebouwde Omgeving haalbaar is via de inzet van CO₂-arme dan wel CO₂-vrije elektriciteit. In dit, 'worst case', scenario is echter CO₂-afvang en dus de inzet van CO₂-arme elektriciteit niet mogelijk. Er is echter nog een aantal opties om het aandeel CO₂-vrije elektriciteit verder te verhogen, te weten:

1. Een verdere toename van het aandeel van hernieuwbare elektriciteit of hernieuwbaar gas (synthese gas).
2. Import van elektriciteit of, indien aanwezig, via handel in emissie(reductie)rechten (groen-certificaten).
3. Toename van het aandeel nucleair.

Bij een verdere toename van het aandeel hernieuwbare elektriciteit zullen waarschijnlijk inpassingsproblemen in toenemende mate een rol gaan spelen, zeker indien het aandeel van hernieuwbare elektriciteit voor de Gebouwde Omgeving naar 100% opgevoerd dient te worden. Tevens dient bedacht te worden dat het hier gaat om aanzienlijke vermogens die via hernieuwbaar geleverd zouden moeten worden. In de referentieontwikkeling zoals geschetst in Paragraaf 3.5 is uitgegaan van een totale elektriciteitsvraag voor de Gebouwde Omgeving van circa 280 PJ_e. In de referentiesituatie wordt al 200 PJ_e opgewekt via fossiele brandstoffen en 80 PJ_e via hernieuwbare bronnen. Voor het opwekken van deze 200 PJ_e via hernieuwbare bronnen zou zwaar ingezet moeten worden biomassa, windenergie en mogelijk PV. Hiervan heeft biomassa het belangrijke voordeel dat de inpassingsproblemen in de elektriciteitsvoorziening beperkt zijn.

⁶⁹ Dus bijvoorbeeld -60% reductie in 2030 in plaats van -40%.

Het is echter de vraag of er voldoende biomassa beschikbaar is om te kunnen voldoen aan de gehele elektriciteitsvraag. Het lijkt in dit geval zaak om naast het intensiveren van het beleidsspoor 'hernieuwbaar' tevens ook de inspanningen via het beleidsspoor 'efficiënt' te vergroten.

Import van elektriciteit uit het buitenland is een andere optie voor de inzet van CO₂-vrije elektriciteit. Het is echter de vraag in hoeverre dit mogelijk is. Hierbij speelt zowel de beschikbaarheid van elektriciteit in het buitenland als ook de mogelijkheid om over de dan aanwezige infrastructuur zulke grote vermogens te importeren. Ter vergelijking, in 2000 werd ruim 80 PJ_e geïmporteerd uit het buitenland. Een belangrijk bezwaar bij deze optie is de afhankelijkheid van ontwikkelingen in het buitenland. Verwacht mag worden dat Nederland niet het enige Europese land is die een bepaalde reductiedoelstelling dient te halen. Hierdoor kan schaarste ontstaan van CO₂-arme dan wel CO₂-vrije elektriciteit.

Ook via een verdere toename van het nucleaire vermogen zou kunnen worden voorzien in de elektriciteitsvraag. De huidige houding ten aanzien van de inzet van nucleaire energie is niet zodanig dat verwacht mag worden dat het aandeel nucleair vermogen tot 2030 sterk toe zal nemen zonder dat een verandering in de publieke acceptatie van nucleaire energie wordt bewerkstelligd. Dit is echter geen eenvoudige zaak. Om 200 PJ_e op te kunnen wekken via nucleaire centrales zou circa 6900 MW aan nucleair vermogen bijgebouwd moeten worden. Dit komt overeen met de bouw van 5 tot 6 grote nucleaire centrales.⁷⁰ Ten aanzien van de inzet van nucleair vermogen moet echter opgemerkt worden dat dit met name geschikt is voor het opwekken van basislast en minder geschikt is om te voorzien in pieklast, zodat problemen rond inpasbaarheid, afhankelijk van de opbouw van de rest van het elektriciteitspark, een rol zouden kunnen gaan spelen.

Opgemerkt dient te worden dat niet noodzakelijkerwijs op slechts een van de drie geschetste alternatieve routes ingezet zou moeten worden. Door een combinatie van de drie alternatieven kan waarschijnlijk het effect van een aantal knelpunten rond beschikbaarheid van grondstoffen alsmede inpasbaarheid in het elektriciteitspark worden verminderd. Wel dient bij alle alternatieve routes rekening gehouden te worden met een aanzienlijke aanlooperperiode die noodzakelijk is om het betreffende alternatief te operationaliseren. Dit betekent dat rond 2020 minimaal duidelijk zou moeten zijn of ingezet kan worden op een route inclusief CO₂-afvang en opslag of dat gekozen moet worden voor een alternatief waarin het niet mogelijk is om deze techniek toe te passen.

⁷⁰ Ruim 15 keer Borssele.

7. NAAR EEN ACTIEPLAN

Om de transitie naar een duurzame Gebouwde Omgeving te kunnen versnellen en/of in een bepaalde richting te kunnen (bij)sturen, kan zowel voor de korte als langere termijn een aantal acties worden geformuleerd. In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op de mogelijke richtingen binnen het transitieproces, de robuustheid van de gewenste ontwikkeling en de eventueel resterende alternatieven alsmede de concrete acties die door VROM tot 2010 kunnen dan wel moeten worden genomen om de richting en snelheid van het transitieproces te beïnvloeden.

7.1 De transitie naar een duurzame energievoorziening

De transitie naar een duurzame energievoorziening middels de inzet van klimaatneutrale energiedragers, hernieuwbare bronnen alsmede een efficiënt gebruik hiervan kent een veelheid aan mogelijke transitieroutes. In dit rapport zijn primair routes die zich concentreren op de inzet van klimaatneutrale energiedragers beschreven. Hierbij treden er, met name indien gekeken wordt op het niveau van de onderscheiden deelsegmenten in de Gebouwde Omgeving, verschillen op met betrekking tot de omvang van de noodzakelijke verandering alsmede de plausibiliteit dan wel robuustheid van de ontwikkeling, zie Hoofdstuk 6.

7.1.1 Acceptatie en veranderingsprocessen

De inzet van klimaatneutrale energiedragers kan niet los worden gezien van de mogelijkheid van de afvang en langdurige opslag van CO₂. Dit betekent dat er met name aan de (de)centrale productiekant een verandering op moet treden. Afhankelijk van het type klimaatneutrale energiedrager alsmede de intensiteit (aandeel) waarmee deze wordt ingezet, dient doorgaans ook in de overige elementen van de energieketen een transitie op te treden, die in bepaalde gevallen vrij ingrijpend kan zijn zowel voor de eindgebruiker als ook voor de betrokken actoren.

Indien geopteerd wordt voor een route waarbij de CO₂ bij de centrale elektriciteitsproductie wordt afgevangen, dan blijven de veranderingen voor de actoren in de Gebouwde Omgeving zeer beperkt. In dit geval kan de huidige infrastructuur onaangepast gebruikt worden. Ook aan de vraagkant hoeven geen veranderingen op te treden. De veranderingen aan de productiezijde zijn echter, maar dat geldt tevens voor de overige klimaatneutrale energiedragers, relatief fors. Alhoewel er voor de actoren in de Gebouwde Omgeving in essentie niets verandert, is het wel noodzakelijk dat er bij de eindverbruiker voldoende draagvlak is voor deze route. In een vrije energiemarkt kan door de eindverbruiker gekozen worden tussen verschillende aanbieders, die naar verwachting elektriciteit (energie) van verschillende herkomst⁷¹ aan zullen bieden. Het lijkt derhalve niet onwaarschijnlijk dat, rekening houdende met de huidige liberalisering van de energiemarkt, de eindverbruiker in staat zal zijn om door middel van zijn eigen voorkeur het aanbod van (de)centrale energieproductie (deels) te sturen. Door het beperken van de keuzemogelijkheden of de keuzevrijheid zou de eindverbruiker gedwongen in een bepaalde richting kunnen worden gestuurd. Deze ontwikkeling staat echter haaks op de liberaliseringsgedachte, en het is de vraag in hoeverre het wenselijk is om de eindverbruiker gedwongen een product af te laten nemen dat hij/zij eigenlijk niet wenst.

Voor een aantal andere klimaatneutrale routes, zoals H₂-gas of de overschakeling van (conventionele) gasvormige energiedragers naar klimaatneutrale elektriciteit ('all electric'), is het wel noodzakelijk om veranderingen door te voeren in de overige elementen van de productieketen. Voor zowel H₂ als de all electric route geldt dat er aanpassingen nodig zijn aan zowel de ener-

⁷¹ Zon, wind, waterkracht, nucleair, conventioneel kolen en gas, klimaatneutraal etc..

gie-infrastructuur⁷² als ook aan de energieconversie-opties.⁷³ Voor met name de H₂-route geldt tevens dat de combinatie met lokale hernieuwbare opties, zoals een zonneboiler of grootschalig PV, niet zondermeer probleemloos is, dit vanwege discrepanties tussen het warmte- en elektriciteitsvraagpatroon. Ook dient rekening gehouden te worden met de noodzaak tot overschakeling van het koken op aardgas naar elektrisch koken. Voor met name de H₂-route, en in mindere mate voor de all electric route, geldt dat de energieketen een aantal technische componenten bevat waarvan het op dit moment nog niet vaststaat of deze in de praktijk functioneren dan wel tegen aanvaardbare kosten kunnen worden toegepast. Een eerste noodzakelijke stap richting een eindbeeld waarin de H₂ route en/of het all electric concept een belangrijk onderdeel vormen, is dan ook het wegnemen dan wel verkleinen van een aantal onzekerheden op het technisch/economische vlak via gerichte praktijkexperimenten. Voor H₂ geldt dat hiervan de rol groter kan zijn dan van alleen via de route als klimaatneutrale energiedrager. Een sterke toename van hernieuwbare energie kan op termijn leiden tot inpassingsproblemen. Een eventueel overschot aan elektriciteit zou via conversie naar H₂ opgeslagen kunnen worden.

In een eindbeeld waarbij wordt ingezet op grootschalige toepassing van klimaatneutraal aardgas (SNG) is de verandering, anders dan aan de energieproductiekant, in de overige elementen van de energieketen marginaal. Het synthetisch aardgas komt wat betreft eigenschappen (vrijwel) overeen met de eigenschappen van ‘Gronings aardgas’. Hierdoor hoeft noch de infrastructuur noch de conventionele lokale conversietechnologie⁷⁴ aangepast te worden. Eventueel teveel geproduceerd gas kan tijdelijk worden opgeslagen in de huidige aardgas opslagvelden. Hierdoor is het relatief eenvoudig de transitie gefaseerd of eventueel slechts gedeeltelijk uit te voeren. Voor de SNG-route geldt dat deze verhoudingsgewijs goed samengaat met de beleidssporen hernieuwbaar en efficiënt (vraagbeperking). Doordat de warmte en krachtvraag gescheiden worden opgewekt zijn aspecten rond inpasbaarheid van beduidend minder belang in vergelijking tot de H₂ en all electric route.

Een mogelijk knelpunt ten aanzien van de acceptatie van synthetisch aardgas (SNG) zou kunnen zijn dat het moeilijk uit te leggen is aan de consument waarom ‘in een fabriek’ aardgas uit via het buitenland in te voeren biomassa geproduceerd wordt. Zeker indien het tevens benodigde H₂-gas via aardgas geproduceerd wordt.⁷⁵ Ook de Nederlandse overheid loopt, indien geen of in veel mindere mate gebruik gemaakt kan worden van de aanwezige aardgasvoorraad, een belangrijke hoeveelheid inkomsten mis (vermindering aardgasbaten). Eind jaren 60 vormden deze aardgasbaten nog een belangrijke drijfveer voor de overheid om de transitie van stadsgas naar aardgas te initiëren. Deze transitie kon zichzelf (ruimschoots) bekostigen, doordat in het vervolg gebruik gemaakt kon worden van het ‘gratis’ aardgas, in plaats van het moeten produceren van stadsgas uit (te importeren) grondstoffen. Bij de transitie van aardgas naar SNG wordt deels de omgekeerde route afgelegd.⁷⁶

Het grootste knelpunt van synthetisch aardgas (SNG) is dat dit nog uitsluitend op papier en in het laboratorium bestaat. Indien invoering van SNG als aantrekkelijke route wordt gezien, zal eerst onderzocht moeten worden of het mogelijk is dit te produceren en wat de daadwerkelijke eigenschappen van het product zijn. Ook indien productie van SNG op grote schaal haalbaar is, zal de technologie-ontwikkeling hiervoor nog vele jaren onderzoek en ontwikkeling vergen.

⁷² Aanleggen van een H₂ geschikt leidingstelsel dan wel een verzaamd elektriciteitsnet.

⁷³ Brandstofcel en elektrische warmtepomp

⁷⁴ De HR ketel. Een optie die in de toekomst mogelijk toegepast zou kunnen worden is de gasgestookte warmtepomp.

⁷⁵ Qua eigenschappen betreft het hier immers een met aardgas vergelijkbaar gas, terwijl aardgas ‘gratis’ uit de grond gepompt kan worden. Bij de vergassing van de biomassa komt, evenals bij de verbranding van conventioneel aardgas, nog steeds CO₂-vrij. Aangezien het in dit geval gaat om zogeheten kortcyclische koolstof afkomstig van een hernieuwbare bron worden deze emissies, conform daartoe opgestelde methodiek voor het vaststellen van de broeikasgasemissies, niet toegerekend aan de Nederlands CO₂-uitstoot. Ofwel: er wordt in een fabriek aardgas gemaakt terwijl je het ook uit de grond kunt pompen met als argument dat de CO₂ die in via deze route wordt uitgestoten (hernieuwbaar) anders is dan de CO₂ die vrijkomt bij de verbranding van conventioneel aardgas (fossiel), dit terwijl er in feite de een ‘hernieuwbaar’ CO₂-molecuul gelijk is aan een ‘fossiel’ CO₂-molecuul⁷⁵.

⁷⁶ Al is het in dit geval niet nodig om over te gaan tot aanpassing van lokale energieconversie-opties.

Syngas vormt mogelijk een alternatief voor synthetisch aardgas. Omdat het hier gaat om een gas waarvan de eigenschappen afwijken van het huidige gasmengsel, is het nodig om lokale energieconversie toestellen aan te passen. In tegenstelling tot bij synthetisch aardgas is het verhogen van de concentratie syngas via menging met conventioneel aardgas een weinig voor de hand liggende optie, dit omdat de kwaliteit van het aangeboden gasmengsel hierdoor verandert. Alhoewel er rekening gehouden moet worden met behoorlijke kosten vanwege de ombouw van de bestaande energieconversie-opties bij de omschakeling van conventioneel aardgas naar syngas, dient bedacht te worden dat in het verleden gebleken is dat een dergelijke transitie in principe mogelijk is. Eind jaren 60 is in Nederland de stap gemaakt van stadsgas naar aardgas. Hierbij dient aangetekend te worden dat de Nederlands staat een groot economisch belang had bij deze omschakeling en ook als belangrijkste drijvende kracht kon fungeren. De vraag is of de overheid in de toekomst nog steeds de mogelijkheid zal hebben om een dergelijke groot-schalige transitie af te kunnen dwingen.

7.1.2 Effecten van diversiteit binnen de Gebouwde Omgeving

Voor het managen van de transitie in de Gebouwde Omgeving is het van belang om rekening te houden met de diversiteit binnen de Gebouwde Omgeving. Het betreft hier zowel de diversiteit met betrekking tot het energieverbruik⁷⁷, de technisch/economische mogelijkheden voor het toepassen van bepaalde besparingsopties als ook op het gebied van de relevante actoren. In deze studie is daarom een onderscheid gemaakt tussen woningen en kantoorgebouwen, nieuwbouw en bestaande bouw. Voor woningen is tevens een onderscheid gemaakt naar woningen met een hoge ('stedelijk') en lage ('landelijk') dichtheid.

Voor met name de bestaande woningbouw leidt de toepassing van het merendeel van de klimaatneutrale routes tot aanzienlijke veranderingen in zowel het energieproductieproces als ook in de Gebouwde Omgeving. Aan zowel de toepassing van de H₂ als ook de all electric route kleeft een aantal bezwaren van zowel technische als ook economische aard, zie ook Hoofdstuk 6. Niet duidelijk is in hoeverre deze bezwaren⁷⁸ in de praktijk zijn te ondervangen. Dit zou in beeld gebracht kunnen worden via nader onderzoek naar te verwachten kostenreducties. Een aspect dat hierbij tevens een belangrijke rol zou kunnen spelen is de mogelijke noodzaak om op termijn het huidige stelsel aan aardgasleidingen, dat grotendeels sinds begin jaren 70 in gebruik is, te moeten vervangen. Indien deze situatie zich voor zou doen, dan nemen de meerinvesteringen⁷⁹ voor de aanleg van een alternatieve energie-infrastructuur fors af.

Indien de aard en omvang alsmede de kosten van de veranderingsprocessen in de Gebouwde Omgeving als uitgangspunt worden genomen, dan lijkt voor de bestaande woningen en kantoorgebouwen die aangesloten zijn op het aardgasnetwerk een transitie naar een eindbeeld waarin gebruik wordt gemaakt van synthetisch aardgas het meest voor de hand liggend, als het mogelijk blijkt dit op grote schaal te produceren. In de krachtvraag kan worden voorzien middels hernieuwbare of klimaatneutrale elektriciteit. Voor de nieuwbouwsituatie geldt dat geen van de onderscheiden routes zodanig zwaarwegende voordelen biedt boven de andere routes, dat op voorhand voor één van de routes gekozen zou moeten worden. Voor klimaatneutrale warmte geldt echter dat deze, vanwege distributieverliezen, niet geschikt is voor toepassing in gebieden met een lage woningdichtheid of gebieden/bedrijventerreinen die op grotere afstand van een productie-eenheid zijn gesitueerd.

Voor zowel de all electric, de H₂-route als ook de route via inzet van klimaatneutrale warmte geldt dat een mogelijke trend naar integratie van nieuwbouw in de bestaande situatie en derhalve het afnemen van het aantal grootschalige nieuwbouwlocaties (VINEX), een negatieve in-

⁷⁷ Verhouding warmte en krachtvraag alsmede het verloop van de energievraag in de tijd (vraagpatroon).

⁷⁸ Geschiktheid van het huidige leidingenstelsel voor transport van zuiver H₂, de kosten verbonden aan het de aanleg van een warmtebron voor de warmtepomp.

⁷⁹ De totale investeringen blijven vanzelfsprekend gelijk.

vloed kan hebben op de introductie van deze energiedragers. Indien nieuwbouwwoningen worden geïntegreerd in de bestaande bouw, bijvoorbeeld door de sloop van oude woningen, dan zullen doorgaans de kosten van het aansluiten op de nabijgelegen dan wel reeds aanwezige infrastructuur beduidend lager zijn dan de kosten voor het aanleggen van een geheel nieuwe infrastructuur. Voor de introductie van klimaatneutrale energiedragers in de nieuwbouw geldt derhalve dat de introductie vereenvoudigd wordt indien de nieuwbouw geconcentreerd wordt in een beperkt aantal grotere gebieden. Dit is een aspect waarop door de overheid in principe invloed op uitgeoefend zou kunnen worden.

7.1.3 Synergie tussen de verschillende routes

De transitie naar een duurzame energievoorziening kan via een aantal beleidssporen⁸⁰ worden vormgegeven die ook samen kunnen of zelfs moeten worden ingezet. Daarnaast is het tevens mogelijk om binnen een bepaald beleidsspoor meerdere technologische routes naast elkaar in te zetten. In het eindbeeld waarbij wordt ingezet op grootschalig toepassing van synthetisch aardgas (SNG) als vervanging van conventioneel aardgas, is de route voor toepassing van klimaatneutrale elektriciteit als substituut van conventioneel opgewekte elektriciteit een voor de hand liggende oplossing om de CO₂-emissie tot vrijwel nul te reduceren. De route voor SNG, H₂, het all electric concept alsmede klimaatneutrale warmte concurreren echter met elkaar in bepaalde segmenten van de Gebouwde Omgeving, zie ook Hoofdstuk 6.

Voor de bestaande bouw lijkt de route via synthetisch aardgas eventueel aangevuld met de inzet van klimaatneutrale of hernieuwbare elektriciteit de meest voor de hand liggende optie indien aspecten als de orde en grootte van veranderingen en de hiermee gepaard gaande investeringen in de Gebouwde Omgeving in beschouwing worden genomen. Zoals eerder is aangegeven, heeft deze route als nadeel dat er sprake is van een forse afhankelijkheid van biomassa, terwijl slechts beperkt gebruik wordt gemaakt van de economisch waardevolle aardgasvoorraden die in de Nederlands bodem aanwezig zijn. In nieuwbouwwoningen zou gekozen kunnen worden voor een strategie die het mogelijk maakt om op (korte) termijn over te schakelen naar een klimaatneutrale energiedrager, zoals H₂ of all electric, waarbij de aardgasvoorraden wel worden benut. Door het bijmengen van conventioneel aardgas bij het synthetisch aardgas kan betrekkelijk eenvoudig gestuurd worden op de totale CO₂-emissie. Voorwaarde hierbij is wel dat er sprake is van voldoende SNG productiecapaciteit.

Door de sloop van woningen neemt echter het aantal woningen dat nu reeds gebouwd is af. Ook is het mogelijk om het gemiddelde energieverbruik per (bestaande) woning verder te verlagen via efficiëntieverbetering (isolatie van de gebouwschil) en/of door lokale duurzame energieproductie. Als gevolg van deze twee factoren neemt de totale vraag naar klimaatneutraal synthetisch aardgas af. Door het verhogen van het slooptempo van de bestaande bouw neemt het tempo toe waarin overgeschakeld kan worden naar een op voornamelijk biomassa gebaseerde klimaatneutrale energievoorziening via SNG in de bestaande bouw naar een energievoorziening waarbij via nieuwbouwprojecten via de H₂ of all electric route gebruik wordt gemaakt van de huidige fossiele brandstofvoorraden.

Voor zowel de H₂ route als met name de all electric route geldt dat de hierbij benodigde energieconversietechnieken feitelijk niet goed (of veel minder goed) functioneren indien geen lage temperatuur verwarmingssysteem is toegepast. Het aanbrengen van een dergelijk systeem, met name indien het gaat om wand- of vloerverwarmingssystemen, is relatief kostbaar indien dit in een bestaande woning moet worden aangelegd. Ook in combinatie met de huidige conventionele technieken⁸¹ zorgt een lage temperatuurverwarmingssysteem voor een energiebesparing terwijl het wooncomfort toeneemt (Uyterlinde et al., 2000). Echter, de toepassingen van deze systemen is nog niet zonder problemen (Uyterlinde et al., 2000; Jeeninga et al., 2001). Deze problemen

⁸⁰ Efficiënt, klimaatneutraal, hernieuwbaar, zie ook Paragraaf 3.1.

⁸¹ HR-107 ketel.

zouden op korte termijn via praktijkonderzoek opgelost dienen te worden, zodat zo snel mogelijk begonnen kan worden met het structureel aanbrengen van lage temperatuurverwarmingssystemen in nieuw te bouwen woningen.

De consequenties van het terugdringen van de CO₂-uitstoot door lokale inzet van hernieuwbare bronnen en vraagbeperking, zonder inzet van klimaatneutrale energiedragers, zijn in deze studie niet in kaart gebracht. Deze kunnen hier dus ook niet afgewogen worden tegen de verschillende sporen met klimaatneutrale energiedragers. Naast de consequenties voor de Gebouwde Omgeving spelen in deze afweging ook de volgende vragen een rol:

- Welk belang hecht men aan het beperken van de afhankelijkheid van fossiele energiebronnen en overige milieueffecten?
- In hoeverre wil men meerdere sporen openhouden om het risico van lock in te beperken?

7.2 Investerings en maatschappelijke kosten

In de vorige paragraaf is ingegaan op de technische barrières die overwonnen dienen te worden bij een transitie naar een duurzame energievoorziening. In deze paragraaf wordt nader ingegaan op mogelijke effecten van de (meer)investeringen. Gesteld mag worden dat voor het behalen van een verregaande emissiereductiedoelstelling voor de Gebouwde Omgeving, zoals bijvoorbeeld -40% reductie in 2030, additionele investeringen noodzakelijk zijn. Een deel van deze investeringen zal mogelijk rendabel zijn.

De vraag is nu hoe de betreffende actoren gestimuleerd kunnen worden tot het plegen van de noodzakelijke investeringen. Belangrijk hierbij is na te gaan in hoeverre de kosten en baten bij dezelfde actor komen te liggen. De overheid is in essentie de actor die baat heeft bij het behalen van de reductiedoelstelling. De investeringen in energiebesparing komen echter met name ten laste van andere actoren. Probleem hierbij is nog dat de baten voor de overheid moeilijk in geld uit te drukken zijn. Omdat de baten primair bij de overheid liggen, zal deze zijn instrumentarium zodanig vorm moeten geven dat ook de ‘critical actors’ baat hebben bij de door de overheid beoogde transitie naar een duurzame energievoorziening. Dit kan bijvoorbeeld door de inzet van instrumenten als een CO₂-heffing, emissiehandel, subsidies of regulering.⁸²

Voor bijvoorbeeld nieuwbouwprojecten geldt, en dan met name in de woningbouw, dat de actoren die de bepalen welke energiebesparingsmaatregelen toegepast worden niet de baten ontvangen van eventuele additionele investeringen. Zij zullen deze dan ook alleen ‘autonoom’ treffen indien de meerkosten volledig doorberekend kunnen worden aan de consument, zonder dat dit de vraag naar het product aantast.⁸³ Mogelijke aangrijpingspunten voor beleid om dit probleem op te lossen zijn de inzet van dwingende voorschriften (bijvoorbeeld regulering via de EPN), productsubsidie of het creëren van een vraag bij de afnemer⁸⁴ zodat het product aantrekkelijker wordt.

Een aantal oplossingsroutes via klimaatneutrale energiedragers veronderstelt de noodzaak tot het aanleggen van een alternatieve dan wel verzwaarde conventionele energie-infrastructuur. De meerkosten van deze aanleg of verzwaaring komen doorgaans voor rekening van de beheerder. Deze moet in staat zijn om die te kunnen verhalen op de eindverbruiker. het draagvlak om over te schakelen naar een klimaatneutrale energiedrager zal sterk afnemen indien de consument de meerkosten van zowel de aanleg van bijvoorbeeld een H₂-infrastructuur moet betalen terwijl hij daarbij tevens nog geconfronteerd wordt met een toename van de (periodieke) energiekosten omdat de prijs voor een eenheid H₂ hoger is dan voor een eenheid aardgas.

⁸² In dit geval heeft de betreffende actor feitelijk geen baat bij de vereiste handeling maar wordt hij hiertoe verplicht.

⁸³ Bijvoorbeeld door een fors hoger totale koopsom.

⁸⁴ Bijvoorbeeld de koper van een woning.

In vergelijking tot de overige oplossingsrichtingen lijkt de route via grootschalige CO₂-afvang bij de centrale elektriciteitsproductie met 10 - 35 €/ton CO₂ te leiden tot de laagste kosten per vermeden eenheid CO₂. Bedacht dient te worden dat het hier een 'end op pipe' techniek betreft die geen enkel ander voordeel heeft dan het reduceren van de CO₂-emissie. Hernieuwbare en efficiënte opties hebben daarbij als voordeel dat het beslag op primaire grondstoffen vermindert, en derhalve bijvoorbeeld ook de milieudruk veroorzaakt door winning, transport en verwerking hiervan, terwijl CO₂-afvang juist leidt tot een toename van de inzet van primaire energiedragers.⁸⁵

Voor de productie van klimaatneutrale energiedragers zullen in ieder geval aan de productiekant van de energieketen maatregelen dienen te worden genomen.⁸⁶ Deze kosten zullen doorberekend moeten worden aan de eindverbruiker. Voor klimaatneutrale elektriciteit zullen deze kosten zeer beperkt zijn.⁸⁷ Het volledig doorberekenen van de kosten van CO₂-afvang van 10 - 35 €/ton CO₂ leidt tot een stijging van de gemiddelde kWh prijs met 0,5 - 1,8 eurocent. Voor de andere klimaatneutrale energiedragers is het moeilijker een exacte inschatting te maken van mogelijke effecten op de prijs voor eindverbruikers, vanwege de grote onzekerheid in zowel de kosten voor productie van de klimaatneutrale energiedrager (H₂-gas, synthesesegas, synthetisch aardgas) alsmede de kosten aan verbonden aan de aanleg van een voor deze klimaatneutrale energiedrager geschikte infrastructuur. Door het (gedeeltelijk) vrijstellen van klimaatneutrale energiedragers van een energieheffing (zoals de huidige REB) of door de introductie van een CO₂-heffing kunnen de kosten voor de eindverbruiker beperkt of zelfs volledig gecompenseerd worden. Dit betekent echter wel dat de overheidsinkomsten uit de energieheffing afnemen.

Met name in de bestaande bouw mag verwacht worden dat de kosten voor introductie van klimaatneutrale energiedragers die een aanpassing aan de bestaande elektriciteits- of gasinfrastructuur en de introductie van nieuwe lokale energieconversie-opties vereisen, (zeer) hoog zullen zijn. Voor synthetisch aardgas en klimaatneutrale elektriciteit⁸⁷ zijn deze investeringen niet nodig. Voor nieuwbouwsituaties geldt dat in essentie alle routes open zijn. Weliswaar zullen bepaalde routes naar verwachting leiden tot hogere kosten dan andere (klimaatneutrale) routes, maar van alle routes wordt verwacht dat deze minimaal 'betaalbaar'⁸⁸ zullen zijn.

7.3 Een actieplan voor 2010

Uitgaande van de in de vorige paragraaf beschreven aandachts- en knelpunten binnen het transitieproces, kunnen in het kader van het Actieplan 2010 een aantal actiepunten worden opgesteld die als input kunnen dienen voor een door VROM DGW te ontwikkelen actieplan.⁸⁹

Praktijkexperimenten

- Stimuleren praktijkproeven met elektrische warmtepompen en micro-WKK via brandstofsysteem.
- Door middel van experimenten vaststellen welke of, onder welke condities en tegen welke kosten distributie van (zuiver) H₂ gas door het bestaande aardgasleidingennet plaats kan vinden.

⁸⁵ De afvang van CO₂ kost energie.

⁸⁶ CO₂-afvang, transport en lange termijn opslag

⁸⁷ Indien de kosten van een mogelijke verzwaring van het elektriciteitsnet buiten beschouwing worden gelaten. Het betreft hier derhalve substitutie van elektriciteit die in het referentiescenario ook zou zijn geleverd.

⁸⁸ Hetgeen nog niet betekent dat de investering voor alle actoren rendabel is.

⁸⁹ Opgemerkt dient te worden dat de geformuleerde actiepunten niet noodzakelijkerwijs overeenkomen met de visie van VROM DGW.

- Nagegaan dient te worden hoe lang het huidige aardgasleidingstelsel nog mee kan gaan en wanneer dit mogelijk dient te worden vervangen. Onderzocht zou moeten worden of het mogelijk is om bij vervanging van het huidige leidingstelsel voor aardgas over te gaan naar een leidingstelsel dat in principe geschikt is voor (zuiver) H₂-transport. Naast technische barrières dienen ook de economische aspecten in kaart te worden gebracht. Vervolgens dient een constructie te worden bedacht die het voor de actor die opdracht geeft tot het vernieuwen van het leidingstelsel aantrekkelijk maakt om H₂-geschikte leidingen neer te leggen.
- Onderzoek doen naar de effecten van onttrekking van bodemwarmte.

Beleidsontwikkeling en interventies

- Stimuleren van de toepassing van lage temperatuurverwarmingssystemen in de nieuwbouw.
- Stimuleren van warmteafname daar waar warmte-aftap van grote E-centrales of afvalverbrandingsinstallaties mogelijk is.
- Aanleggen verzaamd elektriciteitsnet op nieuwbouwlocaties en zo mogelijk bij (grootschalige) herstructurering.
- Mogelijkheden voor het concentreren van nieuwbouw op een beperkt aantal grotere locaties en hier voor H₂ geschikte leidingen aanleggen.
- Doorzetten huidige beleid gericht op het verminderen van de energievraag, intensivering EPA-beleid, handhaven⁹⁰ EPR-regeling, verscherping EPC en aanpassing EPL.

Nader onderzoek

- Het ontwikkelen van een energieverbruiks- en/of CO₂-doelstelling voor de Gebouwde Omgeving voor 2030.
- Aftasten en zo nodig creëren draagvlak voor CO₂-afvang; identificeren van effecten van etikettering van elektriciteit als sturingsmogelijkheid op het productaanbod van distributiebeprijven.
- Identificeren van de sturingsmogelijkheden voor de beïnvloeding van de ‘critical actors’ voor de productie van klimaatneutrale energiedragers.
- Vaststellen van effecten van de geïdentificeerde transitieroutes voor de Gebouwde Omgeving op de transitieroutes voor overige sectoren (o.a. het beslag leggen op bepaalde grondstoffen).
- Vaststellen van het potentieel aan CO₂ dat binnen Nederland jaarlijks langdurig in gasvelden of overige opslagvoorzieningen kan worden opgeslagen.

Cruciaal voor de inzet van klimaatneutrale energiedragers vormt de mogelijkheid voor toepassing van CO₂-afvang in combinatie met langdurige opslag. Dit aspect valt echter buiten het beleidsterrein van VROM-DGW en is om die reden niet opgenomen in het actieplan.

⁹⁰ Wel dient periodiek bezien te worden welke opties gestimuleerd dienen te worden.

8. DISCUSSIE EN CONCLUSIE

8.1 Inleiding

Om te komen tot een duurzame energievoorziening moet binnen Nederland een aanzienlijke reductie van de broeikasgasemissies worden bereikt. In het NMP4 wordt uitgegaan van een reductie van de CO₂-emissies met 40% - 60% in 2030 ten opzichte van het niveau van 1990. In het NMP wordt tevens een drietal beleidssporen onderscheiden, zijnde ‘efficiënt’, ‘hernieuwbaar’ en ‘technologisch geavanceerd’, met behulp waarvan de beoogde reductiedoelstelling behaald kan worden. Voor VROM DGW is het van belang om helderheid te krijgen met betrekking tot de consequenties van de introductie van klimaatneutrale energiedragers. Onderzocht is welke bijdrage klimaatneutrale energiedragers kunnen leveren in de transitie naar een duurzame energievoorziening. Oplossingsroutes die zich primair concentreren op de inzet van hernieuwbare bronnen en vraagbeperking zijn in deze studie niet meegenomen.

Het bepalen van de mogelijke rol van klimaatneutrale energiedragers, de interactie met de overige beleidssporen en het identificeren van sturingsmogelijkheden en aangrijpingspunten om de introductie van klimaatneutrale energiedragers is in essentie een transitievraagstuk. Op basis van eindbeelden kunnen één of meerdere mogelijke technische oplossingsroutes worden geïdentificeerd. Vervolgens dient geïdentificeerd te worden op welke wijze de ‘critical actors’ zodanig kunnen worden aangestuurd dat de transitie via de beoogde route plaats vindt (transitiemanagement).

8.2 Transitieroutes naar een duurzame energievoorziening

Eindbeelden en reductiedoelstelling

Voor het formuleren van de benodigde eindbeelden, is het noodzakelijk om een schatting te maken van de autonome ontwikkeling van de CO₂-emissies. Op basis hiervan kan met behulp van de CO₂-reductiedoelstelling, de beleidsopgave worden bepaald voor de Gebouwde Omgeving. Om binnen een transitieproces te kunnen bepalen met welke intensiteit een technische route dient te worden geïmplementeerd is het nodig om vooraf een bepaald (reductie)doel te stellen. Het blijkt echter allesbehalve eenvoudig om voor de Gebouwde Omgeving een reductiedoelstelling te ontwikkelen die tevens macro-economisch optimaal is, zonder rekening te houden met ontwikkelingen in overige sectoren.

Voor het bereiken van macro-economisch optimale sectorspecifieke reductiedoelstellingen dient rekening gehouden te worden met sectorspecifieke volumeontwikkelingen, technische reductiepotentiëlen en reductiekosten. Met name de onzekerheid rond het al dan niet kunnen toepassen van grootschalige CO₂-afvang en opslag speelt hierbij een cruciale rol. De vorm van sectorspecifieke kostencurves op basis waarvan sectorspecifieke reductiedoelstellingen kunnen worden afgeleid wordt sterk bepaald door de mogelijkheid om al dan niet tegen aanvaardbare kosten CO₂-afvang en opslag in te kunnen zetten. In feite betekent dit dat een sectorspecifieke reductiedoelstellingen zouden moeten worden ontwikkeld met en zonder de mogelijkheid van CO₂-afvang dan wel grootschalige introductie van kernenergie. Zonder de mogelijkheid van CO₂-afvang is echter de inzet van klimaatneutrale energiedragers niet tot nauwelijks mogelijk.

In deze studie wordt als uitgangspunt genomen dat CO₂-afvang in combinatie met lange termijn opslag betaalbaar en technisch mogelijk is. Immers, zonder CO₂-afvang is de productie van klimaatneutrale energiedragers, behoudens met behulp van kernenergie, niet mogelijk.⁹¹

Transitieroutes

De transitie naar een duurzame energievoorziening voor de Gebouwde Omgeving in 2030 kent een aantal klimaatneutrale oplossingsroutes, te weten klimaatneutrale warmte, klimaatneutrale elektriciteit, H₂-gas, synthesegas, en synthetisch aardgas (SNG). Voor elk van deze routes is allereerst het potentieel voor de Gebouwde Omgeving bepaald. De Gebouwde Omgeving wordt gekenmerkt door een relatief grote diversiteit, zowel met betrekking tot de aard van de energievraag als ook de betrokken actoren, die van invloed zijn op het potentieel voor klimaatneutrale energiedragers. Derhalve is in deze analyse de Gebouwde Omgeving opgedeeld in een zestal segmenten; bestaande woningbouw met hoge en lage dichtheid, nieuwbouw woningbouw met lage en hoge dichtheid, bestaande utiliteitsbouw en nieuwe utiliteitsbouw.

Bij het bepalen van het potentieel voor toepassing van klimaatneutrale energiedragers, is een onderscheid gemaakt naar productie van de betreffende klimaatneutrale energiedrager en de inzet hiervan in de Gebouwde Omgeving. Voor alle onderscheiden klimaatneutrale energiedragers⁹² geldt dat productie hiervan niet mogelijk is zonder afvang en opslag van CO₂. Zoals eerder is aangegeven, wordt aangenomen dat deze techniek betaalbaar en technisch mogelijk is. Voor elk van de klimaatneutrale routes geldt dat, ten opzichte van de referentiesituatie, een zeer aanzienlijke CO₂-reductie wordt bereikt.⁹³

Voor alle klimaatneutrale energiedragers geldt dat aan de productiekant aanzienlijke veranderingen zullen moeten optreden. CO₂-afvang, transport en opslag is waarschijnlijk alleen (economisch) haalbaar bij grotere centrale productie-eenheden. Voor het merendeel van de klimaatneutrale routes (H₂, 'all electric route', klimaatneutrale warmte) zijn tevens aanpassingen aan de infrastructuur nodig. Voor synthesegas blijven de aanpassingen beperkt tot aanpassingen aan de lokale energieconversie-apparatuur.

De noodzakelijke aanpassingen aan de energie-infrastructuur leiden in de bestaande Gebouwde Omgeving naar verwachting tot zeer hoge kosten. Dit geldt echter niet voor synthetisch aardgas, omdat dit vrijwel zonder aanpassingen in de huidige fijnmazige infrastructuur kan worden ingebracht en in mindere mate voor synthese gas.⁹⁴ Synthetisch aardgas heeft als tweede voordeel dat ook een gedeeltelijke transitie mogelijk is via bijmenging met conventioneel aardgas, en dat gebruik gemaakt kan worden van de reeds bestaande opslagfaciliteiten voor aardgas. Indien niet over gegaan wordt naar een volledige brandstofsubstitutie ('all electric', maar slechts de elektriciteit die ook in het referentiescenario wordt afgenomen wordt vervangen door klimaatneutrale elektriciteit, dan geldt ook in dit geval dat er geen aanpassingen nodig zijn aan de infrastructuur. Wel dient in aanmerking genomen te worden dat nog niet bekend is of en op welke wijze en tegen welke kosten synthetisch aardgas op grote schaal geproduceerd kan worden.

Voor nieuwbouw, zowel voor woningbouw en utiliteitsbouw, geldt dat, met uitzondering van klimaatneutrale warmte, in principe alle onderscheiden routes mogelijk zijn. De inzet van klimaatneutrale warmte blijft beperkt tot die gevallen waar het mogelijk is warmte af te tappen van grote centrale productie-eenheden (met CO₂-afvang). Op voorhand is niet aan te geven welke route dominant zal worden. Wel lijkt, gezien de warmte/kracht verhouding, de all electric route in de nieuwe utiliteitsbouw waarschijnlijker dan de H₂-route. Een mogelijk knelpunt voor de H₂-route is dat het aanleggen van een hoofdinfrastructuur voor H₂ relatief kostbaar is. Deze route

⁹¹ Elektriciteit uit hernieuwbare bronnen wordt niet tot de klimaatneutrale energiedragers maar tot de hernieuwbare energiedragers gerekend.

⁹² Behoudens nucleaire energie.

⁹³ Meer dan 90% t.o.v. de referentiesituatie.

⁹⁴ Alleen de het lokale energieconversiesysteem dient te worden aangepast. Het bestaande leidingstelsel voor aardgas kan gebruikt worden voor transport van syngas.

lijkt het meest kansrijk voor gebieden waarin de bouw van woningen geconcentreerd plaats vindt en waar nog een infrastructuur moet worden aangelegd. Met name in situaties waarbij nieuwbouw binnen een reeds aanwezige infrastructuur plaats vindt, mag verwacht worden dat de aansluiting van een lokaal waterstofnetwerk op een hoofdnetwerk tot aanzienlijke kosten leidt.⁹⁵

8.3 Transitie management

Een reductie van de CO₂-emissies met -40% in 2030 ten opzichte van het niveau in 1990 is 'autonoom' niet haalbaar. De transitie naar een duurzame energievoorziening levert altijd hogere kosten op in vergelijking tot de referentie situatie. Dit zou betekenen dat als het transitieproces alleen via marktwerking tot stand zou moeten komen, er prijsprikkels dienen te ontstaan die de transitie in de gewenste richting sturen (het gaat niet vanzelf). Het doorberekenen van de kosten van CO₂-afvang en opslag leidt, uitgaande 10 - 35 € per ton afgevangen CO₂, tot een slechts beperkte kostenstijging (voor elektriciteit met 0,5 - 1,8 eurocent per kWh). Effecten van het doorberekenen van de meerkosten voor het aanleggen van een voor de inzet van klimaatneutrale energiedragers geschikte energie-infrastructuur op de vaste en variabele kosten voor de eindverbruiker zijn moeilijk vast te stellen.

De introductie van klimaatneutrale energiedragers impliceert mogelijkheid en acceptatie van CO₂-opslag. In een vrije energiemarkt kan de consument het transitieproces maken of breken indien bijvoorbeeld overgegaan zou worden tot etikettering van elektriciteit, doordat deze bewust kan kiezen voor (een boycot van) 'groen', 'grijs', 'nucleair', 'biomassa' of 'klimaatneutraal'. Hierdoor kan vanuit de Gebouwde Omgeving de vraagkant voor een bepaalde klimaatneutrale energiedrager deels of mogelijk zelfs volledig wegvallen.

Indien een bepaalde technologische route, zoals bijvoorbeeld synthetisch aardgas of klimaatneutrale elektriciteit in de bestaande Gebouwde Omgeving of de 'all electric' route voor nieuwbouw, implementeerbaar⁹⁶ blijkt te zijn binnen een bepaald segment van de Gebouwde Omgeving, dan zijn er relatief weinig belemmeringen om binnen vrijwel het gehele marktsegment waar deze ontwikkeling plaats zou kunnen vinden, deze route ook daadwerkelijk toe te passen. Voor een aantal andere energiebesparingsmaatregelen geldt bijvoorbeeld dat de kosten voor toepassing sterk uiteen kunnen lopen binnen een bepaald marktsegment. Voor klimaatneutrale elektriciteit en synthetisch aardgas zijn alleen aanpassingen nodig aan de energieproductiekant en kan gebruik worden gemaakt van de conventionele infrastructuur. Binnen een bepaald marktsegment zijn er in dit geval nauwelijks verschil in kosten tussen de verschillende eindverbruikers. Ofwel: de beoogde transitie is voor het gehele marktsegment rendabel of het is voor het hele marktsegment onrendabel.

Door middel van een aantal methodieken ontleend aan de transitietheorie kunnen de zogeheten 'critical actors' en 'key changes' worden geïdentificeerd. Nagegaan kan worden welke van deze actoren nu reeds met de huidige beleidsinstrumenten kunnen worden aangestuurd en welke actoren buiten de huidige invloedssfeer vallen. Vervolgens kan bepaald worden of en hoe de critical actors die nu nog niet aanstuurbaar zijn in de toekomst beïnvloed kunnen worden. In de praktijk zal het echter niet altijd mogelijk zijn om de eigen invloedssfeer zodanig uit te breiden dan wel beleidsinstrumenten zodanig vorm te geven dat alle critical actors precies datgene doen wat nodig is om de beoogde transitie te bewerkstelligen. Door middel van transitie management kan mogelijk wel de richting van een transitie worden beïnvloed of de snelheid van een proces worden verhoogd. De invloed die de transitie manager heeft is echter gelimiteerd en het is vrijwel uitgesloten dat een transitie manager in staat zal zijn daadwerkelijk de route naar het beoogde eindbeeld op te leggen (de maakbare samenleving).

⁹⁵ Aangenomen wordt dat de H₂ grootschalig centraal wordt opgewekt.

⁹⁶ Technisch en economisch haalbaar.

Robuustheid

Er zijn verschillende routes mogelijk om de transitie naar een duurzame energievoorziening voor de Gebouwde Omgeving te bewerkstelligen. In het NMP4 worden de sporen ‘efficiënt’, ‘hernieuwbaar’ en ‘technologisch geavanceerd/klimaatneutraal’ onderscheiden. Het spoor ‘efficiënt’ is complementair aan de overige twee sporen, terwijl ‘geavanceerde energietechnologie’ en ‘hernieuwbaar’ deels hetzelfde aangrijpingspunt hebben. Dit impliceert dat een grootschalig inzet op ‘geavanceerde energietechnologie’ consequenties kan hebben voor ‘hernieuwbaar’ en andersom. Anderzijds betekent dit ook dat deze sporen deels de functie van elkaar over kunnen nemen. Anders gesteld, indien bijvoorbeeld onverhoopt blijkt dat CO₂-afvang niet naar verwachting functioneert, zodat de productie van klimaatneutrale elektriciteit niet mogelijk blijkt, dan kan in plaats hiervan CO₂-vrije elektriciteit worden gebruikt die wordt opgewekt via hernieuwbare bronnen. In essentie is hierbij sprake van substitutie binnen één element van de energieproductieketen, zie ook Paragraaf 2.5. Het spoor ‘klimaatneutraal’ en het spoor ‘lokaal hernieuwbaar/vraagbeperking’ staan verder uit elkaar, omdat zij ingrijpen op andere plaatsen in de energieketen.

8.4 Aandachtspunten, kansen en onzekerheden

De geïdentificeerde oplossingsroutes via klimaatneutrale energiedragers kennen een aantal grote onzekerheden die zowel in positieve als negatieve zin sterk van invloed kunnen zijn op de mogelijkheden voor inzet van klimaatneutrale energiedragers. Zoals eerder is aangegeven, is de mogelijkheid om CO₂ af te kunnen vangen en langdurig op te kunnen slaan een essentieel onderdeel bij de inzet van klimaatneutrale energiedragers. Opgemerkt dient te worden dat het hier een nog onbewezen techniek betreft waarmee in Nederland nog geen ervaring is opgedaan (CRUST, 2002). Niet uitgesloten is dat het in Nederland technisch moeilijker is dan gedacht⁹⁷ om de CO₂ langdurig op te slaan. Tevens dient rekening gehouden te worden met de mogelijkheid dat de kosten voor afvang en transport van CO₂ hoger zijn dan verwacht. Het is moeilijk in te schatten hoe groot de maatschappelijke weerstand is met betrekking tot de inzet van deze ‘end of pipe’ oplossing. Een gebrek aan draagvlak zou in een situatie waarin door de eindverbruiker gekozen kan worden voor afname van verschillende typen energiedragers (etikettering) kunnen leiden tot een moeizame introductie van klimaatneutrale energiedragers.

Een transitie naar een duurzame energievoorziening via een route met CO₂-afvang heeft wel als voordeel dat het hier een grootschalig proces betreft met een zeer beperkt aantal actoren. Knelpunt hierbij is wel dat deze actoren buiten de invloedssfeer van VROM DGW vallen. Hierdoor ontstaat de situatie dat het behalen van een sectordoelstelling voor de Gebouwde Omgeving sterk afhankelijk is van een beperkt aantal (f)actoren buiten de eigen invloedssfeer. Ook het afleiden van een reductiedoelstelling voor de Gebouwde Omgeving is niet eenvoudig, zie Paragraaf 3.6. De kosten en reductiepotentiëlen kunnen sterk verschillen tussen sectoren en ook aannames en onzekerheden omtrent de beschikbaarheid van toekomstige besparingsopties spelen hierbij een grote rol. Met name aannames omtrent kosten en beschikbaarheid van CO₂-afvang en opslag spelen hierbij een rol. Indien bij de vaststelling van een sectordoelstelling aangenomen wordt dat CO₂-afvang tegen aanvaardbare kosten toegepast kan worden, terwijl in de praktijk blijkt dat het niet mogelijk is om deze techniek te implementeren, dat wordt de betreffende sector geconfronteerd met een doelstelling die nauwelijks haalbaar is. In het omgekeerde geval, is de sectordoelstelling (te) eenvoudig te behalen hetgeen kan leiden tot een macro-economisch suboptimale situatie doordat andere sectoren tegen in verhouding hoge kosten moeten voldoen aan hun reductiedoelstelling.

Niet ondenkbaar is dat het geschetste transitietraject voor de Gebouwde Omgeving leidt tot knelpunten of een beperking van mogelijkheden in overige sectoren. Deze optimalisatie binnen één specifieke sector zou dan toch kunnen leiden tot een niet optimale macro-economische

⁹⁷ Of zelfs onmogelijk.

eindsituatie. Om te komen tot een macro-economisch meest gunstige transitieroute zou feitelijk allereerst op macro niveau een transitietraject moeten worden ontwikkeld dat globaal de relevante sectorale elementen bevat. Bij deze transitie op nationaal niveau dient tevens expliciet rekening gehouden te worden met de invloeden binnen Europa. In het kader van dit project is geen rekening gehouden met deze aspecten. Aanbevolen wordt om de eventueel aanwezige verschillende sectorale transitieroutes naast elkaar te leggen na te gaan of de sectorspecifieke optimalisaties leiden tot knelpunten op macro niveau.

Voor Nederland is het economisch gezien gunstig aanwezige (gas)voorraden te benutten. Via een route met CO₂-afvang behoort dit tot de mogelijkheden. Indien voor alternatieve routes wordt gekozen, bijvoorbeeld via import of via grootschalige inzet van hernieuwbare bronnen, dan lopen de inkomsten voor Nederland sterk terug. Indien, zoals wordt ingeschat, de aan de eindverbruiker door te berekenen meerkosten voor productie van klimaatneutrale energiedragers zeer beperkt blijken te zijn⁹⁸, dan blijft er voldoende ruimte om een heffing (zoals bijvoorbeeld de REB) te blijven voeren (dus inkomsten voor de overheid), terwijl de eindverbruikersprijs gelijk is aan de prijs voor conventionele en hernieuwbare energiedragers. Een gedeeltelijk vrijstelling van bijvoorbeeld de REB heffing zou in dit geval kunnen leiden tot een prijsvoordeel van bepaalde klimaatneutrale energiedragers ten opzichte van conventionele en hernieuwbare energiedragers, hetgeen de implementatie aanmerkelijk kan vereenvoudigen en bespoedigen.

Begin jaren 60 is begonnen met de aanleg van de huidige aardgasinfrastructuur. Het is de vraag of, op welke termijn en in welke omvang de reeds bestaande infrastructuur dient te worden vervangen. Een vervanging van de bestaande infrastructuur biedt voor de bestaande Gebouwde Omgeving mogelijk een goede kans om tegen sterk verminderde meerkosten een nieuwe infrastructuur aan te leggen die geschikt is voor transport van klimaatneutrale energiedragers (bijvoorbeeld H₂ geschikte leidingen, verzwaarde elektriciteitsnet). Uit oogpunt van robuustheid zou het overwogen kunnen worden om bij de aanleg van nieuwe leidingen standaard te kiezen voor H₂ geschikte leidingen. Essentieel hierbij is dat een oplossing gevonden wordt voor de afwenteling van mogelijke meerkosten. Alhoewel dit op voorhand niet waarschijnlijk lijkt, dient nagegaan te worden of middels eenvoudige technische ingrepen en tegen geringe kosten het huidige leidingstelsel voor transport van aardgas geschikt gemaakt kan worden voor transport van zuiver H₂ gas. In het actieplan, zie Paragraaf 7.3, is een aantal concrete korte termijn aandachtspunten geformuleerd, zoals het stimuleren van de toepassing van lage temperatuur verwarmingssystemen en vraagbeperkende maatregelen.

8.5 Conclusie

Afgevraagd kan worden wat nu in hoofdlijnen de optimale inzet van maatregelen voor vraagbeperking, hernieuwbare bronnen en klimaatneutrale energiedragers om te voldoen aan de doelstellingen uit het NMP4? De optimale inzet hangt af van een tweetal factoren, zijnde de reductiemogelijkheden (geïdentificeerde transitieroutes) en de sectorspecifieke reductiedoelstelling (beleidsopgave). Probleem hierbij is dat, mits gestreefd wordt naar een optimale⁹⁹ inzet, deze factoren onderling samenhangen, dit doordat aannames betreffende de implementeerbaarheid van bepaalde nog onbewezen technieken, zoals CO₂-afvang en opslag, sterk van invloed kunnen zijn op de sectordoelstelling, zie ook Paragraaf 3.6. Uitgangspunt in deze studie is het bepalen van de mogelijke bijdrage die door klimaatneutrale energiedragers geleverd kan worden bij het bereiken van een lange termijn reductiedoelstelling (conform NMP4) voor de Gebouwde Omgeving. Transitieroutes die zich concentreren op de inzet van hernieuwbare bronnen en vraagbeperking zijn niet expliciet meegenomen.

⁹⁸ Uitgaande van kosten van 10 – 35 € per ton CO₂, zou de toeslag op elektriciteit 0,5 – 1,8 €cent per kWh bedragen, zie ook Paragraaf 7.2. Ter vergelijking: de REB heffing voor kleinverbruikers bedraagt 7,15 €cent per kWh (niveau 2002).

⁹⁹ Zowel voor de sector als ook nationaal.

Gezien de grote onzekerheden met betrekking tot de mogelijkheid voor inzet van CO₂-afvang en lange termijn opslag¹⁰⁰ alsmede het ontbreken van een sectorspecifieke reductiedoelstelling, is het niet mogelijk om een gefundeerde uitspraak te doen met betrekking tot de optimale inzet voor hernieuwbaar, vraagbeperking en klimaatneutraal als route om te kunnen voldoen aan de NMP4 doelstelling. Vanwege deze onzekerheden is, als vorm van ‘no regret’ beleid, het doorzetten en intensiveren van het huidige beleid ten aanzien van vraagbeperking en hernieuwbaar noodzakelijk.

Geconcludeerd wordt dat klimaatneutrale energiedragers mogelijk een zeer grote rol kunnen spelen bij de transitie naar een duurzame energievoorziening voor de Gebouwde Omgeving. De potentiële bijdrage van klimaatneutrale energiedragers is zelfs zodanig groot dat het formuleren van een reële en macro-economisch optimale sectordoelstelling zonder expliciet aannames te maken omtrent de mogelijke bijdrage van klimaatneutrale energiedragers niet goed mogelijk is. Wel kennen de transitieroutes via klimaatneutrale energiedragers nog een aantal grote onzekerheden die de komende jaren dienen te worden opgelost, zie ook Paragraaf 8.4.

Voor de bestaande Gebouwde Omgeving lijkt met name voor klimaatneutrale elektriciteit en synthetisch aardgas (SNG) een groot potentieel voor grootschalige inzet aanwezig te zijn, doordat deze energiedragers gebruik kunnen maken van de reeds aanwezig infrastructuur. Tevens is het mogelijk deze energiedragers gefaseerd in te voeren (‘bijmenging’). Voor bijvoorbeeld de ‘all electric’ route alsmede de H₂ route in de bestaande Gebouwde Omgeving zijn naar verwachting ingrijpende en kostbare aanpassingen aan de reeds aanwezig infrastructuur nodig.

Voor nieuwbouw in de Gebouwde Omgeving staan in principe alle klimaatneutrale routes open. Vanwege de warmte/kracht verhouding lijkt echter in de nieuwe utiliteitsbouw de all electric route het meest kansrijk te zijn. Mogelijk knelpunt voor de H₂ route is de aansluiting op een hoofdleidingnetwerk voor H₂ gas, met name indien nieuwbouwlocaties ingepast worden in de bestaande infrastructuur.

Middels een actieplan voor 2010 wordt beoogd een aantal van de mogelijke barrières voor de introductie van klimaatneutrale energiedragers weg te nemen en een aantal onzekerheden te reduceren, zie Paragraaf 7.3. Tot slot dient opgemerkt te worden dat het hier een sectorstudie betreft waarbij de samenhang en interacties tussen verschillende sectoren niet wordt meegenomen. Aanbevolen wordt nader onderzoek te doen naar effecten en interacties van de geïdentificeerde transitieroutes met de reductiemogelijkheden bij overige sectoren.

¹⁰⁰ Zowel wat betreft techniek, kosten als ook acceptatie

REFERENTIES

- Arthur D. Little (1999): *NOVEM GAVE: Analysis and Integral Evaluation of Potential CO₂ neutral Fuel Chains*, Final Report.
- Beeldman, M. et al. (1998): *Optiedocument voor emissiereductie van broeikasgassen: inventarisatie in het kader van de Uitvoeringsnota Klimaatbeleid.*, rapport nr. ECN-C--98-082, ECN, Petten, 1998.
- Bergsma, G., T. v.d. Werff en F. Rooijers (1996): *Waterstof voor kleinverbruikers en CO₂-opslag, Haalbaarheidsstudie demonstratieproject in de Rijnmond*, CE, Delft.
- Berk, M. et al. (2001): *Strategieën voor lange termijn klimaatbeleid, de resultaten van het COOL-project*, Programmabureau NOP, Bilthoven 2001.
- CRUST (2002): *CO₂ reuse through underground storage. The start-up: an inventory of market opportunities, technology and policy requirements*. Internet: www.crust.nl
- Dril, A.W.N. van and H. Burger (2000): *CO₂-score bedrijven en gemeenten: ontwikkeling methodiek voor het United Air Fund*, ECN, rapport nr. ECN-C-00-107, Petten, 2000.
- Elderman M. (1990): *Gefaseerde inzet van waterstof in de energie-infrastructuur van aardgas*, CE, Delft, 1990.
- EnergieNed (2002): Graaddagenmethode. Internet: www.energiened.nl.
- EZ (2000): *Energie en samenleving in 2050 - Nederland in wereldbeelden*, Ministerie van Economische Zaken, Den Haag, december 2000.
- Hilten, O. van, J.J. Battjes, J.W. Dijkstra, K. Hemmes, M.B.T. Kaal, P. Lako, R. Nahuis, A. de Raad (2000): *Energietechnologie in het spanningsveld van klimaatbeleid en liberalisering*, ECN-C--0-020, ECN, Petten, mei 2000.
- Hilten, O. van; J.J. Battjes, J.W. Dijkstra, K. Hemmes, M.B.T. Kaal, P. Lako, R. Nahuis, A. de Raad (2000): *Energietechnologie in het spanningsveld tussen klimaatbeleid en liberalisering*, Petten, 2000, ECN-C-00-020.
- Hisschemöller, M. et al. (2001): *De Nationale Dialoog (COOL) - Resultaten en aanbevelingen*. IVM, NW&S, RIVM, ECN. Rapport O-01/12, IVM. Juni 2001.
- Jeeninga, H., B.W. Daniëls, A.W.N. van Dril, E. Honig, R. Harmsen (2002): *Effect energiebesparingsbeleid CO₂-emissies 1990-2000*, ECN-C--02-004, Petten.
- Jeeninga, H., P. Kroon, M. Weeda, T. van Wunnik, T. Kipperman (2002): *Transitie naar een duurzame energievoorziening in 2050. Evolutie of revolutie?* ECN rapport nr. ECN-C--02-078, Petten, 2002.
- Kroon, P.; M. Beeldman, I.C. Kok, P.G.M. Boonekamp, H. Jeeninga, J.R. Ybema, R.F.T. Aalbers, P.R. Koutstaal, T.J. de Lange, O. van Hilten, M. Menkveld (1998): *Nationale Energie Verkenningen 1995-2020: trends en thema's*, ECN-C--97-081.
- Menkveld, M., B.W. Daniels, A.W.N. van Dril, H. Jeeninga, J.R. Ybema, J.A. Annema, R. van den Wijngaart (2002): *Effect op CO₂- emissies van beleid momenteel in voorbereiding*, Petten, 2002, ECN-C--02-003.
- Schot, J. et al. (red.) (2000): *Techniek in Nederland in de twintigste eeuw, deel II, Delfstoffen, Energie, Chemie*, Stichting Historie der Techniek, Walburg Pers, Zutphen, 2000.
- Socrobust (2002): *Final Report*. Project nr.: SOE 1981126, 2002.

- Stein, J., G. Cler, and N. Lennsen (1998): *A Research Agenda for the Integration of Fuel Cells and Building Systems: A Scoping Study*, E-Source, Boulder. Prepared for the California Institute for Energy Efficiency (CIEE) and the National Fuel Cell Research Center (NFCRC).
- UCE, STS, ECN, Ecofys and RIVM (2001): *DACES 2050*, Database Clean Energy Supply 2050, Final Report, Utrecht.
- Vreuls, H.H.J. (2001): *Zwevend gemiddelde vs. constant gemiddelde temperatuurcorrectie*, Novem, 2001.
- Woude, R.R. van der et.al (2000): *Vernieuwende concepten voor lokale duurzame energiesystemen*, rapportnr. ECN-C--00-018, ECN, Petten.
- Ybema, J.R. et al. (2002): *Referentieraming energie en CO₂ 2001-2010*, rapportnr. ECN-C--02-010, Petten, 2002.
- Ybema, J.R., P. Lako, D.J. Gielen, R.J. Oosterheert, T. Kram (1995): *Prospects for Energy technology in the Netherlands - Volume 1 Evaluation of the cost-effectiveness of energy technologies under a range of long term future conditions*, ECN-C--95-002, ECN, Petten.

BIJLAGE A TRANSITIEMANAGEMENT

A.1 Transitie management

Het doel van de transitie manager is het realiseren van het gezamenlijk ingevulde einddoel. Dit doel wordt gevormd door aantrekkelijke en verbeeldende visies die door veel partijen worden gedeeld. ‘Een man op de maan’, of ondergronds transport zijn voorbeelden van dergelijke inspirerende visies waar veel partijen zich toe aangetrokken voelen. Dit mandje van eindbeelden dient altijd te worden aangepast aan nieuwe inzichten die bijvoorbeeld door verschillende partijen zijn verkregen door experimenten op niche niveau. In transitie management worden doelen en tussendoelen dus continu door betrokkenen aangepast.

Transitie middels vervanging

Een algemene strategie voor transitie management is om de druk op het bestaande regime¹⁰¹ te vergroten door het inzetten van generieke instrumenten (bijvoorbeeld emissiehandel en -normen). Tegelijkertijd moeten alternatieven worden gestimuleerd door een meer specifiek beleid gericht op technologische vernieuwing. Daarbij kan het zijn dat het bestaande regime uitgedaagd en uiteindelijk vervangen wordt door technologieën van een nieuw regime (zogenoemde contestatie en substitutie). In dit beeld van transities gaat het vaak om technologieën die technisch onafhankelijk van elkaar functioneren, met elk hun eigen infrastructuur. Marktprijzen en technologische prestaties spelen bij dit ‘gevecht’ een belangrijke rol.

Transitie via transformatie

Het kan ook zijn dat er een geleidelijk proces plaatsvindt waarbij een bestaand regime niet zozeer vervangen wordt door het nieuwe regime, maar eerder veranderd (zogenoemde cumulatieve en transformatieve). In een bestaand regime wordt bijvoorbeeld een nieuw element toegevoegd om een specifiek probleem op te lossen. Hierdoor ontstaan leerprocessen en aanpassingen doordat innovaties bij ontstane bottlenecks kunnen aanhaken. Leerprocessen kunnen ook leiden tot nieuwe toepassingen voor deze innovaties. Mechanismen als add-on en hybridisatie (zie ook A.2) spelen een belangrijke rol. Prijs en prestaties zijn ook hier belangrijk, vergeleken met de substitutie-route speelt het aanpassings- en leeraspecten een belangrijke rol.

A.2 Strategic Niche Management

Strategic Niche Management (SNM) is een specifiek beleidsinstrument met als doel om gericht een ontwikkeling op regime niveau te sturen. Hierbij dienen de volgende stappen te worden doorlopen:

1. keuze van een technologie (behorende bij een bepaalde technologische route),
2. selectie van en uitvoering van een experiment,
3. schaalvergroting van het experiment,
4. het op een gecontroleerde wijze afbreken van de bescherming.

Door middel van SNM wordt beoogd om te leren over problemen, behoeftes en mogelijkheden van een bepaalde techniek. Tevens kan deze fase worden gebruikt voor het bouwen van actor netwerken, alsmede het in kaart brengen en op een lijn krijgen van de verschillende belangen. Hierbij kan het noodzakelijk zijn om bepaalde verwachtingen van verschillende actoren te veranderen of om institutionele aanpassingen te cultiveren.

¹⁰¹ Voor het inzichtelijk maken van de schaaldimensie waarop transities plaatsvinden wordt gebruik gemaakt van een indeling op micro-, meso- en macroniveau. Deze niveaus, afkomstig uit de economische theorievorming, zijn te relateren aan concepten uit de transitietheorie, zijnde niche (micro), sociotechnisch regime (meso) en sociotechnisch landschap (macro).

Innovaties kunnen uit niches breken als ze onder bepaalde omstandigheden kunnen aanhaken bij de dynamiek op regime- en landschapsniveau. Er is een aantal patronen en mechanismen waarmee deze koppeling van processen kan worden gestimuleerd. Transitiebeleid moet de komende jaren verder geconcretiseerd worden in termen van instrumenten, momenten van interventies, rolverdeling van actoren en gestelde doelen. Hierbij kan een onderscheid worden gemaakt naar algemene/generiek aandachtspunten voor beleid en specifiek beleid.

A.2.1 Algemene aangrijpingspunten

Inzetten op niche-cumulatie

Wanneer een innovatie in een specifiek toepassingsdomein wordt ontwikkeld, kunnen leerprocessen en schaalvergroting plaatsvinden en dragende sociale netwerken worden gebouwd. Hierdoor kan de innovatie uitbreiden naar een ander toepassingsdomein. Door de stapeling (cumulatie) van niches wordt de techniek steeds beter, gaat de prijs omlaag en ontstaan er gevestigde, dragende belangen in de nieuwe technologie. Hoe snel niche cumulatie plaatsvindt, hangt af van de potentie voor verbetering en de kracht van het ondersteunend netwerk.

Inzetten op hybride tussenvormen als tussenstappen

De relatie tussen de 'oude' en de 'nieuwe' technologie hoeft niet louter competitief te zijn. Er zijn vele situaties waarin de nieuwe techniek wordt toegevoegd aan de bestaande, om deze te verbeteren of om specifieke problemen op te lossen (zgn. 'add-on' processen). Na verloop van tijd gaat de 'add-on' vaak over in een hybride tussenvorm, waarin de kenmerken van de uiteindelijke vorm al 'verstopt' zitten ('hybridisatie'). Uiteindelijk wordt de hybride tussenvorm verder omgevormd en ontstaat een heel nieuw technisch regime.¹⁰² Investeren in add-on en hybride technologieën kan voor actoren aantrekkelijk zijn omdat hun gedane investeringen (sunk investments) in de bestaande technologie zo niet verloren gaan. Naast deze financiële overwegingen zijn er ook veel onzekerheden omtrent de uiteindelijke uitkomst van het proces. Hierdoor wedden actoren minder snel op één paard en kiezen liever een hybride tussenvorm. Actoren bouwen immers voort op wat ze al hebben of weten.

Sluit aan bij nieuwe markten of markteisen

Na periodes van experimenteren en leren in specifieke niches kunnen innovaties verder meeliften met de opkomst van nieuwe markten en de groei van toepassingsdomeinen die daarmee gepaard gaat.¹⁰³ Bij nieuwe groeimarkten gaat het om uitbreidingsinvesteringen in plaats van vervangingsinvesteringen, waardoor 'sunk investments' in personeel, competenties en machines niet verloren gaan. Nieuwe markten bieden een goede kans wanneer daar specifieke prestatie (performance requirements) worden vereist die door de bestaande technologie moeilijk geleverd kan worden.

A.2.2 Specifieke aangrijpingspunten

Het doel van SNM is het stimuleren van articulatieprocessen over een nieuwe techniek en de afstemming van technologie op de gebruikscontext en omgekeerd de afstemming van de maatschappelijke omgeving op technologie.

¹⁰² Een voorbeeld van add-on en hybridisatie zijn de voertuigen met verbrandingsmotor en accu plus elektromotor. Deze hybride elektrische voertuigen winnen tegenwoordig aan marktaandeel ten koste van de puur elektrische voertuigen. Voor mogelijk toekomstige brandstofcel-auto's bestaat nog geen waterstof infrastructuur. Een hybride tussenfase zou kunnen ontstaan door auto's uit te rusten met een reformer die benzine of methanol kan omzetten in waterstof. Zo kan de bestaande tankinfrastructuur worden gebruikt. Begrijpelijkerwijs investeert onder andere Shell hier graag in.

¹⁰³ Een voorbeeld hiervan zijn elektromotoren die aan het begin van de twintigste eeuw profiteerden van de sterk expansie in de auto-industrie, de elektrotechnische industrie en de metaalindustrie.

Bij SNM worden niches gecreëerd waarbinnen technologieën door echte gebruikers (die hiervoor betalen) worden toegepast. Er is weliswaar bescherming via bijvoorbeeld subsidies, maar er is ook selectiedruk. Wanneer hier een goede balans tussen is gevonden wordt van economisch nog niet levensvatbare technieken geleerd over gebruikerseisen en marktpotenties. Niches kunnen dus worden opgevat als kweekvijvers. Daarbij is het belangrijk dat lokale initiatieven worden gecoördineerd. Nu is het vaak zo dat kennis verloren gaat, andere actoren niet bereikt worden en er vaak geen follow up is.

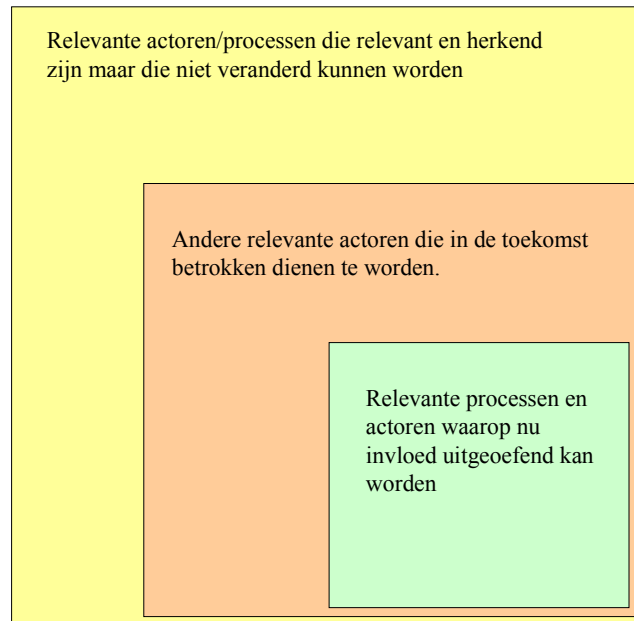
Om vanuit SNM te komen tot een verandering van het regime is het van belang in te zetten op 'pathway technologies': sleutelveranderingen voor specifieke veranderingen die nu al in niches toepasbaar zijn en die een kettingreactie of cascade van innovaties teweeg kunnen brengen. Daarbij zijn beloftes van de nieuwe technologie een belangrijk element. Beloftes zijn bijzonder krachtig wanneer zij gedeeld, geloofwaardig (ondersteund door feiten en tests), specifiek en gekoppeld zijn aan bepaalde maatschappelijke problemen. Het vormen van een niche en de ontwikkeling van een 'markt van verwachtingen' gaan daarom hand in hand.

Veranderende omstandigheden kunnen de technologie minder aantrekkelijk maken. Daarom is het van belang om technologieën te promoten die veel mogelijkheden bieden voor verbetering, met een groot potentieel voor kostenreductie en toepasbaar op een scala van applicaties. Zelfs wanneer de technologie geen korte termijn voordelen oplevert, kan het wel degelijk een bruikbare technologie zijn op de langere termijn. Experimenten moeten van voldoende grote omvang zijn om voor economisch leren te zorgen en de benodigde institutionele veranderingen teweeg te brengen.

A.3 Boundary mapping

Een wijze waarop op een meer systematische wijze de mogelijkheden om middels beleid bepaalde processen aan te sturen is, is de benadering via zogeheten 'boundary maps' (Socrobust, 2002). Middels een boundary map wordt een onderscheid gemaakt naar een drietal terreinen (zie ook Figuur A.1):

1. Activiteiten en processen die een rol spelen in het transitietraject die nu door een bepaalde instantie of actor, bijvoorbeeld VROM, direct of indirect kunnen worden beïnvloed. Voorbeelden hiervan zijn regelgeving met betrekking tot de kwaliteit van de woningvoorraad.
2. Activiteiten en processen die in de toekomst van belang zijn voor het transitietraject maar waarop momenteel nog niet of slechts in zeer beperkte invloed op uit kan worden geoefend.
3. Activiteiten en processen waarvan herkend wordt dat deze wel van invloed zijn op het transitietraject maar waarop zowel nu als in de toekomst geen directe of indirecte invloed kan worden uitgeoefend, zoals bijvoorbeeld economische groei.



Figuur A.1 *Schematische weergave van het in kaart brengen van relevante actoren en processen via 'Boundary Mapping'*

Door middel van het proces van 'boundary mapping', kan systematisch de positie van relevante actoren en processen in het transitietraject in kaart worden gebracht. De invloedssfeer van een bepaalde instantie of actor is niet statisch maar kan aan verandering onderhevig zijn. Indien blijkt dat een aantal relevante of zelfs cruciale activiteiten en processen zich buiten de huidige directe invloedssfeer of aandachtsveld bevinden, dan zou gepoogd kunnen worden de eigen (in)directe invloedssfeer zodanig op te rekken dat er in de nieuwe situatie sprake is van een vergroting van de (in)directe beïnvloedingsmogelijkheden. Eén van de hulpmiddelen, die ook binnen in combinatie met het proces van boundary mapping kan worden benut, vormt de zogeheten 'critical actors table' (Socrobust, 2002). Middels een tabel wordt voor elke actor in kaart gebracht wat zijn motivatie, doel, zijn strategie, betrokkenheid en zijn relatie tot overige actoren (coördinerend/intermediair) is.