

ENERGIETRANSITIE EN OPTIES VOOR ENERGIE- EFFICIENCY- VERBETERING

-Vertrouwelijk-

Dr. J.G. de Beer
Prof. dr. K. Blok

december 2003
EMAN03049
Copyright Ecofys 2003

in opdracht van:
VROM-raad en Algemene Energieraad

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
1.1	Aanleiding	1
1.2	Doel	1
1.3	Randvoorwaarden en uitgangspunten	2
1.4	Werkwijze	4
2	Industrie	5
2.1	Inleiding	5
2.2	IJzer en staalindustrie	7
2.3	Non-ferro industrie	8
2.4	Papier- en kartonindustrie	10
2.5	Organische basischemie	11
2.6	Anorganische chemie	12
2.7	Kunstmestindustrie	13
2.8	Raffinage	14
2.9	Zuivel	15
2.10	Industriële WKK	16
2.11	Cross-cutting technieken	18
2.12	Conclusies	19
3	Gebouwde omgeving	22
3.1	Inleiding	22
3.2	Dienstverlenende bedrijven	22
3.3	Woningen	25
4	Transport	29
4.1	Inleiding	29
4.2	Personenvervoer per auto	29
4.3	Overige transportmiddelen	32
4.4	Conclusies	33

5	Analyse van scenariostudies	34
5.1	Inleiding	34
5.2	Evaluatie van scenario's	34
5.3	Conclusies	38
6	Beleid	41
6.1	Inleiding	41
6.2	Efficiencyverbetering bij geëigend beleid	41
6.3	Effect van nationaal beleid	43
6.4	Terugblik op beleid van de afgelopen tien jaar	43
6.5	Nieuwe instrumenten	44
6.5.1	Inventiefase	45
6.5.2	Technologieontwikkelingsfase	45
6.5.3	Marktintroductiefase	46
6.5.4	Slot	47
7	Conclusies	48
	Referenties	50

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De Algemene Energieraad en de VROM-raad bereiden samen een advies voor over de transitie naar een duurzame energiehuishouding. Ter voorbereiding van dit advies willen beide raden een geactualiseerd inzicht krijgen in de opties die er zijn om het energiegebruik op de lange termijn (2050) te reduceren. ECN is gevraagd dit onderzoek voor de aanbodkant uit te voeren en Ecofys voor de vraagkant.

De basis van dit onderzoek is een studie die in 1996 in opdracht van de Verkenningscommissie Energieonderzoek (VCE) door ECN, de Universiteit Utrecht en IVAM is uitgevoerd [Blok *et al.*, 1996]. Het zal vooral het inzicht dat wordt gepresenteerd in dit VCE-rapport zijn, dat wordt geactualiseerd.

In het VCE-rapport wordt geconcludeerd dat: “er in alle sectoren mogelijkheden zijn om het specifiek energiegebruik door ontwikkeling en toepassing van nieuwe technologie aanzienlijk terug te brengen, naast de mogelijkheden die bestaande technologie reeds biedt. Voor veel sectoren lijkt het goed mogelijk om een zodanige ontwikkeling te realiseren dat het energiegebruik per eenheid activiteit met 60-90% terug is te brengen.” In deze rapportage zal ondermeer worden geanalyseerd of deze conclusie nu nog stand houdt.

1.2 Doel

Het doel van de studie is een overzicht te maken van besparingsopties aan de vraagkant tot 2050 en een aanzet te geven tot beleidsformulering gericht op het implementeren van deze opties. Dit overzicht hoeft niet uitputtend te zijn, maar heeft een globaal karakter.

De volgende drie deelvragen zijn opgesteld:

1. Welke opties zijn beschikbaar of in ontwikkeling om de energievraag van de belangrijkste sectoren (industrie, gebouwde omgeving, transport) te verminderen? Er hoeft geen gedetailleerde beschrijving van de opties te worden gegeven. Van belang is wel de mogelijke energiebesparing en de relatie met CO₂-emissiereductie.
2. In hoeverre zijn deze opties meegenomen in de belangrijke energiescenario's? De volgende scenario's zullen worden beschouwd: de SRES scenario's van het IPCC, de in ontwikkeling zijnde “four futures for Europe” scenario's van CPB, de lange termijn energieverkenning van het ministerie van Economische Zaken en de WETO scenario's van de EU.
3. Evaluatie van beleid:

- a. welke besparingen (=efficiency verbeteringen) kunnen bij een geëigend beleid tot 2050 jaarlijks en in totaal worden bereikt? (Meer specifieke vraag: geldt het beeld uit de VCE-rapport nog: ca 2% per jaar; een factor 4 totaal tussen ca. 1990 en midden 21ste eeuw, waarbij industrie factor 2, transport factor 4, gebouwde omgeving factor 10?);
- b. in hoeverre kan Nederland dit zelfstandig verwezenlijken?
- c. waarom wordt bij het huidige beleid die 2% per jaar bij lange na niet gehaald, ook al is/was het een beleidsdoelstelling?;
- d. welke (nieuwe) instrumenten zijn nodig om die ca. 2% per jaar wel te realiseren?

1.3 Randvoorwaarden en uitgangspunten

Doorbraaktechnologie. In dit kader definiëren we een doorbraaktechnologie als een nieuwe technologie die een sprongsgewijze verbetering van de energie-efficiency kan bewerkstelligen. Dit in tegenstelling tot de evolutionaire veranderingen van processen die een geleidelijke verbetering van de energie-efficiency laten zien.

Voorbeelden van een doorbraaktechnologie volgens deze definitie is WKK in de papierindustrie en continu gieten in de staalindustrie. Door de introductie van WKK in de papierindustrie ging het primaire energiegebruik van een papierfabriek met 15-30% omlaag. Continu gieten vraagt 20-40 % minder energie dan het traditionele proces van blokieten.

Lange termijn. Uit eerdere studies (zie onder meer [De Beer, 1998]) is gebleken dat het vaak niet mogelijk is concrete technologieën te benoemen die pas in 2050 toegepast kunnen worden. De maximale zichttermijn voor concrete technologieën is ongeveer 25 jaar; hiermee wordt bedoeld de maximale termijn voordat een nu geïdentificeerde technologie als een commercieel product op de markt wordt geïntroduceerd. Vaak zal dit korter zijn. Kijkend naar de langere termijn (2050) kunnen we wel spreken van oplossingsrichtingen. Dit zijn clusters van technieken die de potentie hebben een bepaalde energie-efficiency te verminderen. Voorbeelden zijn membraantechnologie voor scheidingsprocessen, hogetemperatuurwarmtewisseling in de staalfabricage, brandstofcellen in auto's en woningen. Dit potentieel gaat echter gepaard met een grote onzekerheid. Grote beloftes worden vaak niet ingelost, kijk naar kernfusie dat het potentieel heeft de efficiency van elektriciteitsproductie te verbeteren.

Binnen elke oplossingsrichting kunnen specifieke technologieën worden geïdentificeerd. Als voorbeeld kan worden gekeken naar de papierindustrie, waar wordt onderzocht of het ontwateren van het papier niet efficiënter kan. Een oplossingsrichting hierbij is het combineren van ontwateren door toepassen van druk (persen) en van een hoge temperatuur (drogen). Specifieke technologieën zijn dan bijvoorbeeld impulsdrogen en "condensing belt" drogen. Een ander voorbeeld komt uit de gebouwde omgeving. Warmteverlies door de gebouwschil zorgt ervoor dat nieuwe warmte moet worden toegevoegd aan de woning. De oplossingsrichting is de gebouwschil beter te isoleren, waarvoor verschillende technieken beschikbaar zijn. Zonder aan te geven welke van deze technologieën een commer-

cieel product gaat worden, kan wel iets worden gezegd over het potentieel van het technologiegebied.

In deze studie zullen per sector de belangrijkste inefficiënties en oplossingsrichtingen worden geselecteerd. Waar mogelijk zal dit worden gespecificeerd met in ontwikkeling zijnde technologieën.

Als we een zichttermijn koppelen aan ‘lange termijn’, dan moet daar in deze studie onder worden verstaan de periode na 2020.

Korte termijn. Onder korte termijn wordt in deze studie verstaan de periode tot 2020. Dat betekent dat het hier gaat om technologieën die nu al commercieel zijn of in een ver stadium van ontwikkeling. We baseren ons daarbij volledig op het overzicht dat is gegeven in Icarus-4 [2001].

Energiefunctie. Een energiefunctie kan worden gedefinieerd als de menselijke behoefte die wordt vervuld (onder meer) door de inzet van energie. Voor het vervullen van een energiefunctie worden technologieën ingezet. De energiefunctie zelf is technologieonafhankelijk. In deze studie zal de energiefunctie worden gebruikt voor de afbakening. We leggen zo de grenzen vast waarbinnen we nieuwe technologieën zullen selecteren. Uitgangspunt daarbij is de huidige Nederlandse economische structuur.

Energie-intensiteit en energie-efficiency. Als we in deze studie spreken over energie-efficiency, bedoelen we daarmee de doelmatigheid van de inzet van energie voor het vervullen van een energiefunctie. Hoe minder energie wordt ingezet voor het vervullen van deze functie, hoe efficiënter het proces. De term energie-intensiteit duidt op de mate waarin een economie energie-intensief is. Dit wordt bepaald door de structuur van de economie en de energie-efficiency van de onderliggende energiefuncties. Een afname van de energie-intensiteit kan worden veroorzaakt door een verschuiving naar minder energie-intensieve activiteiten (bv. van industrie naar diensten) of op een verbetering van de energie-efficiency. In scenariostudies wordt vaak, maar helaas niet altijd, de opdeling in deze twee effecten gegeven.

Deze studie gaat over opties voor de verbetering van de energie-efficiency. Over energie-intensiteit zullen we nog spreken in het hoofdstuk over scenariostudies.

“Cross-cutting” technologieën. Technologieën die in meerdere sectoren worden toegepast, zoals elektromotoren, scheidingstechnieken en stoomketels.

Regionale afbakening. Aangezien de studie als input moet dienen voor een advies over transitie naar een duurzame energiehuishouding in Nederland, beperkt de studie zich tot de in Nederland aanwezige activiteiten.

1.4 Werkwijze

Uitgangspunt is de rapportage zijn die de Universiteit Utrecht samen met IVAM in 1996 voor de Verkenning Energieonderzoek heeft uitgevoerd. In deze rapportage wordt gekeken naar energiebesparingsmogelijkheden op de lange termijn. Uit deze rapportage is een lijst met opties gedestilleerd. Hierbij is gekeken worden naar de volgende sectoren:

Industrie, te weten zuivelindustrie, papier- en kartonindustrie, ferro-industrie, non-ferro-industrie, agro-industrie (verwerking van landbouwproducten; glastuinbouw valt hier niet onder), de chemische industrie, en zogenaamde cross-cutting technologieën. Ook de energiesector valt hieronder (olie- en gasector en elektriciteitsproductie). Vooraf is afstemming gezocht met ECN.

Gebouwde omgeving, Het gaat hier zowel om de schil als om apparaten. Over de aanbodopties is afstemming gezocht met ECN. Afgesproken is dat ECN de aanbodopties beschrijft, en Ecofys op verzoek informatie aanlevert aan ECN over bepaalde opties.

Transport Goederen- en personentransport.

Deze lijst is geactualiseerd op basis van expertise van Ecofys en beschikbare studies, zoals Databestand Schone Energievoorziening 2050 (UCE). Bovendien is de lijst aangevuld met reeds beschikbare (korte termijn) opties op basis van het databestand Icarus-4.

Bij de lange termijn opties is aangegeven in hoeverre het hier een doorbraaktechnologie betreft.

Bij het vaststellen van het potentieel voor efficiencyverbetering op de lange termijn, hanteren we de volgende stappen:

1. beschrijven huidige technologie
2. vaststellen energiefunctie of grootste efficiencyverliezen.
3. beschrijven mogelijke toekomstige technologiegebieden of oplossingsrichtingen
4. specificeren technologieën
5. karakteriseren naar potentieel (energie en CO₂)

2 Industrie

2.1 Inleiding

Het finale energieverbruik van de Nederlandse industrie in 1995 bedroeg 970 PJ en de CO₂-emissie die gepaard gaat met deze energie-inzet is 69 Mton [Icarus 4, 2001]. Een overzicht per sector is gegeven in tabel 2.1. De grootste energievraag is te vinden in de chemische industrie, met name de organische basisindustrie, raffinage, de basismetaalindustrie, en de papier- en kartonproductie. In de eerste drie sectoren worden veel fornuizen en ovens ingezet waar brandstoffen worden ingezet voor de directe verhitting in processen. In de papier- en kartonindustrie wordt met name stoom ingezet, grotendeels opgewekt in WKK-eenheden.

De energievraag van de totale voedings- en genotmiddelen industrie is met 92 PJ ook aanzienlijk. Deze vraag is echter verdeeld over vele diverse sectoren, met de zuivelindustrie als grootste verbruiker. Gemeenschappelijk kenmerk van deze sectoren is dat lage- tot middentemperatuurwarmte wordt ingezet, meestal in de vorm van stoom. In deze sector is ook veel WKK te vinden.

Gezien het grote aantal industriële processen is het onmogelijk ze allemaal te analyseren in deze beperkte studie. In overleg met de opdrachtgever is daarom een selectie gemaakt. Deze selectie is aangegeven in de tabel met een grijze markering.

Raffinaderijen en cokesproductie worden in de Nederlandse statistiek meestal niet tot de industrie gerekend, maar tot de energievoorziening. Het finale energiegebruik van deze twee sectoren was 198 PJ in 1995, met een bijbehorende CO₂-emissie van 13 Mton [Icarus 4, 2001]. Cokesproductie kan gezien worden als een onderdeel van de ijzerfabricage. Raffinage is in onze ogen ook een industrieel proces en zal dus ook worden geanalyseerd.

De analyse is uitgevoerd met behulp van factsheets. Deze factsheets worden weergegeven in de volgende hoofdstukken.

Tabel 2.1: Finaal energiegebruik en CO₂-emissie van de Nederlandse industrie in 1995 [Icarus 4, 2001].

	Bench-	Finale vraag (PJ)	CO ₂ -emissie Mton
Voedsel en genotmiddelen		91.8	7.3
slachthuizen en vleesverwerking		3.9	0.3
aardappelproducten		6.1	0.5
margarine, olie en vetten		11.7	0.9
zuivel	Nee	16.0	1.3
zetmeel		2.1	0.2
veevoer		5.1	0.4
bakkerijen		13.5	1.1
suiker		10.4	0.8
brouwerijen		4.5	0.4
overig		18.3	1.5
Textiel		9.1	0.7
Papier en karton		36.6	3.2
Pulp, papier en kartonproductie	Ja	27.2	2.3
Papier en kartonproducten		3.6	0.3
Printing & Publishing		5.9	0.6
Chemische industrie	Ja	597.1	35.7
Anorganische industrie		50.2	4.5
Organische basischemie		383.7	20.8
Kunstmest		111.3	6.6
Overige basischemie		41.3	3.0
Chemische productindustrie		10.6	0.8
Bouwmaterialen		36.7	2.2
Glasindustrie		10.6	0.8
Fijnkeramiek		2.3	0.2
Grofkeramiek		8.5	0.5
Cement		5.0	0.4
Overig		9.2	0.8
Basismetaal		123.8	12.8
Ferro		98.5	9.7
IJzer en staal	Ja	96.9	9.5
Ijzergieterijen	Ja	1.6	0.2
Non-ferro		25.2	3.1
Primair aluminium	Ja	15.9	2.1
Primair zink	Ja	3.5	0.5
Secondair aluminium	Ja	1.1	0.1
Overig		4.6	0.4
Metaalproductenindustrie		49.7	4.3
Plastic en rubber en overige industrie		13.6	1.4
Houtverwerking		1.1	0.1
Plastic en rubberproducten		8.5	0.9
Overig		3.7	0.4
Niet gespecificeerd		4.5	0.3
Totaal industrie		968.7	68.5

2.2 IJzer en staalindustrie

<i>Korte beschrijving huidige situatie</i>	In Nederland bestaat één primaire staalfabriek (Corus, capaciteit 6 Mton/jaar). Deze fabriek maakt staal uit ijzererts via de route hoogovens en oxy-staalproces. Verder is er één secundaire staalfabriek (Funda Nedstaal, 200-250 kton/jaar) die het elektrasmeltproces gebruiken om staal te maken uit schroot.
<i>Primaire energievraag (2002) in Nederland</i>	96 PJ/jaar (waarvan 41 PJ voor energetische doeleinden en 55 PJ voor non-energetische doeleinden) bron: CBS, 2003.
<i>Korte termijn energiebesparing (tot 2020)</i>	Good housekeeping (primary steel) Increased direct carbon injection BF Energy saving at hot stoves Increased scrap input Thin slab casting Slag heat recovery BF Slag heat recovery (BOF) Strip casting Smelting reduction Miscellaneous (secondary steel prod.)
	Bron: ICARUS 4.0, 2001, Utrecht University
<i>Grootste energie-inefficiëncy</i>	Totale technisch besparingspotentieel: 11% tov 1995 (overeenkomend met 1,7 Mton CO ₂) Grote temperatuursprongen in primaire staalproductie Elektrasmeltproces is al vrij efficiënt; momenteel zitten grootste verliezen in de productie van elektriciteit
<i>Oplossingsrichtingen</i>	A: Integreren processtappen in primaire staalproductie zodat er minder temperatuursprongen nodig zijn. B: Verlagen van temperatuur van reductie van ijzererts C: Hoge-temperatuur warmteterugwinning D: Verbeterde recycling en opwerking van schroot
<i>Kansrijke technieken</i>	A1: Smeltreductie (o.m. Hismelt, CCF): ijzererts wordt gereduceerd zonder gebruik te maken van cokes en gesinterde erts. Dit resulteert in veel kleinere installaties en een lager energieverbruik. A2: Nieuwe giettechnieken, zoals stripgieten en 'near net shape casting' B: Directe reductie in combinatie met elektrasmelting.
<i>Technisch besparingspotentieel in proces op lange termijn</i>	Primair staalmaken: 20-40% (>50% als de energie die nodig is voor de reductie van ijzererts buiten beschouwing wordt gelaten). Secundair staalmaken: 10-30%

<i>Vermeden broeikasgasemissie wanneer dit potentieel gerealiseerd wordt</i>	Op basis van emissie in 1995: 2-4 Mton CO ₂ -eq.
<i>Effecten op het energiegebruik in de keten</i>	Smeltreductie: Andere kolensoorten kunnen gebruikt worden, zodat minder transport nodig is. Directie reductie: dichter bij ijzerertsminen? Minder transport. Recycling: minder primaire staalproductie.
<i>Verwachte marktintroductie in</i>	2020
<i>Rentabiliteit vlak bij marktintroductie</i>	Smeltreductie: gunstig door de veel kleinere installaties. Zal vooral worden overwogen wanneer cokesovens aan het eind van hun levensduur zijn. Rendabele capaciteit is kleiner dan van Hoogovens, zodat ook aan modulaire bouw gedacht kan worden.
<i>Aanpassingen tov VCE-rapportage</i>	Situatie in Nederland gewijzigd door fusie tot Corus. Gevolg: R&D op lager pitje. Potentieelschatting is ongewijzigd. Toegevoegd is informatie over elektrosmelting.

2.3 Non-ferro industrie

Korte beschrijving huidige situatie

Er zijn twee primair aluminiumfabrieken in Nederland (Aldel en Pechiney) die relatief oud zijn (1966 en 1972). Beide fabrieken hebben echter omvangrijke renovatieprojecten op stapel staan [Voorter, 2002]. Aldel is onderdeel van de Corusgroep. Een voorgenomen verkoop is uitgesteld. Pechiney Nederland maakt onderdeel uit van het Pechiney concern. Totale productie is momenteel 200-250 kton per jaar, afhankelijk van de bezettingsgraad.

Bij de primaire aluminiumproductie komen ook zeer veel perfluorkoolstoffen (pfk's) vrij. De hoeveelheid CO₂-equivalenten is ongeveer gelijk aan de hoeveelheid CO₂ die vrijkomt bij de consumptie van de anodes (1.7-2 ton CO₂-eq. per ton aluminium).

Primair zink wordt op één locatie gemaakt (Budel). De jaarlijkse productie is 210 kton.

*Primaire energie-
vraag (2002) in Ne-
derland*

Verdeling 1995 (ICARUS 4)
Primair aluminium: 34 PJ (vnl elektriciteit (14-16 kWh/kg))
Secundair aluminium: 1.4 PJ
Primair Zink: 8.2 PJ
Overige non-ferro activiteiten: 5.4 PJ

In 2002 was het finale verbruik in de sector non-ferro 30 PJ [CBS, 2003]. Om-
gerekend naar primair verbruik is dit ongeveer 60 PJ.

We besteden hier alleen aandacht aan primair aluminium.

*Korte termijn ener-
giebesparing (tot
2020)*

Zowel Aldel als Pechiney doen mee met de Benchmarking en hebben in dat ka-
der een energiebesparingsplan opgesteld. Hierin hebben we geen inzage.

*Grootste energie-
inefficiency*

Anode-effecten (ontleden fluorzouten en vorming perfluorkoolwaterstoffen)
Consumptie anodes en vorming CO₂
Te hoge concentratie aluinaarde
Te hoge weerstand tussen kathode en anode
Levenscyclus: fabricage primair aluminium

Oplossingsrichtingen

A: Proces computer control
B: Andere manier van toevoegen van aluinaarde
C: Anode en kathode van andere materialen
D: Secundair aluminium ipv primair aluminium

Kansrijke technieken

B: Ander systeem van voeding: gelijkmatiger en op andere plek doseren van
aluinaarde in oven doet aantal anode-effecten dalen en verhoogt de capaciteit
van de oven. Wordt momenteel geïmplementeerd bij Pechiney.
C: Inerte anodes Niet van koolstof. Wordt momenteel getest. Toepassing alleen
mogelijk bij complete herbouw van de electrolyse-ovens.
C: Nieuw type kathode (wetable cathode). Commercieel beschikbaar over 20
jaar. Efficiency-verbetering tot 2% vergeleken met vandaag.
D: Verhogen recyclingcapaciteit en kwaliteit aluminiumschroot
Enkele procenten op primaire aluminiumproductie.

*Technisch bespa-
ringspotentieel in
proces*

*Vermeden broeikas-
gasemissie*

De ombouw bij Pechiney levert een reductie op van de uitstoot van pfk's van
1,4 miljoen ton CO₂-eq. tot 0,1 miljoen ton CO₂-eq. [Voorter, 2002]

*Effecten op het ener-
giegebruik in de keten*

Indien meer secundair aluminium kan worden ingezet heeft dat effecten op de
winning van bauxiet, de productie van aluinaarde, de omzetting van aluinaarde
tot aluminium en alle intermediaire transportstappen.

R&D knelpunten

Voor nieuwe anodes en kathodes is nog veel onderzoek naar de materialen en
duurtesten nodig.

*Aanpassingen tov
VCE-rapportage*

Nieuwe systemen van voeding worden al veelvuldig toegepast.
Sector is niet behandeld in VCE-rapportage

2.4 Papier- en kartonindustrie

<i>Korte beschrijving huidige situatie</i>	In Nederland zijn 17 bedrijven actief, met in totaal 27 papier of – kartonfabrieken en 53 machines (situatie 2002). De productie ligt op 3,3 miljoen ton. Kenmerkend is dat 23 fabrieken onderdeel zijn van grote internationale concerns, zonder historische banden met Nederland. Investerings in de Nederlandse papierindustrie zijn tegenwoordig onderdeel van internationale beslissingsprocessen. Dit geldt ook voor investeringen in een nieuwe energiezuinige papiermachine.
<i>Primaire energievraag (2002) in Nederland</i>	31 PJ
<i>Korte termijn energiebesparing (tot 2020)</i>	Energiemanagement Afvalvermindering Verbetering perspartij [VNP, 2003b]
<i>Grootste energie-inefficiency</i>	Verwijderen water in de droogpartij door inzet van thermische energie. De inefficiency zit niet in de warmteoverdracht, maar in het gebruik van stoom om water te verwijderen.
<i>Oplossingsrichtingen</i>	A: Andere methode van verwijderen van water toepassen B: Meer water verwijderen met andere technieken waardoor de inzet van thermische energie kan worden beperkt. C: Verbeterde methode van thermisch drogen.
<i>Kansrijke technieken</i>	A: Dry-sheet-forming – waarschijnlijk alleen mogelijk voor speciale kartonsoorten. B: High-consistency forming C1: Condebelt drying – papierbaan wordt gedroogd in een droogkamer door contact met een verhitte en een gekoelde stalen band. Energieterugwinning is veel eenvoudiger dan bij de traditionele droogtechniek. Toepassing warmtepompen is goed mogelijk. Techniek is commercieel, maar implementatie is nog zeer beperkt (2 machines, in Finland en Korea). C2: Impulsdrogen: persen van de papierbaan tussen een zeer hete draaiende cilinder met een korte contacttijd. Technische problemen verhinderen implementatie. C3: Drogen met oververhitte stoom (airless drying): zeer efficiënt gebruik maken van de latente warmte van de stoom kan het energiegebruik van de droogsectie met 70-90% terugdringen. Nog geen experimenteel bewijs voor deze claim.
<i>Technisch besparingspotentieel in proces</i>	Continue efficiencyverbetering in alle stappen van het proces maakt een besparing van 10-20% mogelijk. Op de langere termijn is nogmaals een besparing van 10% haalbaar door inzet van onder meer innovatieve pers- en droogtechnieken.
<i>Effecten op het energiegebruik in de keten</i>	Nvt

<i>Vermeden broeikasgasemissie</i>	Een grote reductie van de stoomvraag maakt de huidige WKK-installaties onrendabel. Het kan zijn dat het voordeliger is stoom op te wekken in ketels en elektriciteit in te kopen. In dat geval is er geen 1 op 1 relatie tussen emissiereductie en energiebesparing.
<i>R&D knelpunten</i>	Problemen met papierkwaliteit
<i>Verwachte marktintroductie in</i>	Na 2020
<i>Rentabiliteit vlak bij marktintroductie</i>	Zeer goed: alle technieken houden een procesintensificatie in, dus leveren meer product met een kleinere fabriek.
<i>Verwachte inpassingsproblemen</i>	Vanwege de hoge investeringskosten zal een machine pas worden ingezet als de productie gegarandeerd kan worden.
<i>Aanpassingen tov VCE-rapportage</i>	Meer papierfabrieken onderdeel van multinationals. Besparingspotentieel met innovatieve perstechnieken lager dan ingeschat in de VCE-rapportage (nu 10%, was 30%).

2.5 Organische basischemie

<i>Korte beschrijving huidige situatie</i>	De belangrijkste grondstof van de organische basischemie in Nederland is nafta, een product van de raffinage. Vandaar dat ook de naam petrochemie wordt gebruikt. Het kraken van nafta en de scheiding en verdere bewerking van de kraakproducten zijn de grootste energievragende processen. In Nederland staan 5 naftakrakers bij drie bedrijven (Dow, Shell en DSM) met een totale capaciteit van 2,5 miljoen ton etheen.
<i>Primaire energievraag (2001) in Nederland</i>	Primaire energievraag circa 385 PJ. Ongeveer de helft van de energie-inhoud van nafta wordt vastgelegd in de producten.
<i>Korte termijn energiebesparing (tot 2020)</i>	Op korte termijn zijn efficiencyverbeteringen te bereiken door optimalisatie en debottlenecking (het beter afstemmen van aan elkaar gekoppelde processen), installatie van efficiëntere randapparatuur (bv. pompen en motoren), warmterugwinning en warmtepompen. Besparing ligt in de orde van 10-15% tot 2015.
<i>Grootste energie-inefficiency</i>	De warmteoverdracht in een kraakfornuis is efficiënt; in termen van energie die het kost om een koolwaterstof in kleinere stukken te breken, is dit proces minder efficiënt.
<i>Oplossingsrichtingen</i>	Scheiding dmv destillatie A: Reactorontwerp B: Procesontwerp C: Nieuwe katalysatoren D: Andere grondstoffen (biograndstoffen) E: Membraanscheiding

<i>Kansrijke technieken</i>	A/B: Selectief stoomkraken A/B: Authoterm reformen voor methanolproductie B: Absorptiekoeltechnieken in ethyleenscheiding A/E: Membraanreactor (selectief afvoeren producten voor verschuiving evenwicht). D: C-1 chemie (inzet aardgas voor productie lagere koolwaterstoffen), biomaterialen
<i>Technisch besparingspotentieel in proces</i>	Met een combinatie van deze technieken is een additionele efficiencyverbetering van 10% te bereiken. Het potentieel van c-1 chemie en productie van biomaterialen ten opzichte van klassieke chemie is nog niet in te schatten.
<i>Effecten op het energiegebruik in de keten</i>	Indien wordt overgeschakeld op andere grondstoffen, zoals biomaterialen, is er een nog niet bepalen effect op het energiegebruik in de keten.
<i>Vermeden broeikasgasemissie</i>	
<i>R&D knelpunten</i>	Diverse, zoals materiaal- en katalysatorontwikkeling
<i>Verwachte marktintroductie in</i>	- Uiterlijk 2015 voor aanpassingen van op nafta gebaseerde proces - Productie van biomaterialen vindt al kleinschalig plaats. Opschaling kan nog enkele decennia duren.
<i>Aanpassingen tov VCE-rapportage</i>	Gering. C1-chemie en productie biomaterialen nog niet genoemd in VCE-rapportage.

2.6 Anorganische chemie

<i>Korte beschrijving huidige situatie</i>	De Nederlandse anorganisch-chemische industrie worden onderverdeeld in de segmenten zout, fosfor, silicium carbide, roet en overig. Zout is de grondstof voor chloor, dat het meest energie-intensieve product is in deze sector. Chloor wordt gemaakt volgens het elektrolyseproces. In Nederland is Akzo Nobel de grootste producent met drie productielocaties in Hengelo, Delfzijl en Botlek. Akzo heeft in juli 2003 het plan bekend gemaakt dat de fabriek in Hengelo gaat sluiten en dat in Delfzijl een nieuwe fabriek wordt gebouwd. De capaciteit in Rotterdam wordt uitgebreid [Marx, 2003]. De nieuwe fabrieken zullen werken volgens het energiezuinige membraanelektrolyseproces.
<i>Primaire energievraag (1995) in Nederland</i>	Finale vraag in 1995: circa 50 PJ
<i>Korte termijn energiebesparing (tot 2020)</i>	Vervanging van de kwikelektrolyse door de efficiëntere membraanelektrolyse. Diverse optimalisaties
<i>Grootste energie-inefficiency</i>	Weerstand en overspanning in het elektrolyseproces Productie van chloor als intermediair product
<i>Oplossingsrichtingen</i>	A: Verbeteren celontwerp B: Ander elektrodemateriaal C: Directe omzetting van zout in vinylchloridemonomeer

<i>Kansrijke technieken</i>	B: Katalytische elektroden
<i>Technisch besparingspotentieel in proces</i>	Na invoering membraan elektrolyse beperkt tot 10%.
<i>Effecten op het energiegebruik in de keten</i>	De huidige plannen om de fabriek in Hengelo te sluiten, maken het risicovolle transport van chloor overbodig. Hiervoor komt transport van andere producten (zout) in de plaats.
<i>Vermeden broeikasgasemissie</i>	Gelijk aan emissie van uitgespaarde elektriciteit.
<i>Aanpassingen tov VCE-rapportage</i>	De nieuwbouwplannen van Akzo Nobel zijn zeer recent. Dit potentieel was wel al opgenomen in de VCE-rapportage.

2.7 Kunstmestindustrie

<i>Korte beschrijving huidige situatie</i>	In de kunstmestindustrie is de ammoniakproductie het proces dat het meeste energie gebruikt. Ammoniak wordt in Nederland gemaakt uit aardgas en vormt de grondstof voor andere kunstmeststoffen, zoals ureum en ammoniumnitraat. In Nederland staan 5 ammoniakfabrieken, waarvan twee van DSM en drie van Hydro Agri.
<i>Primaire energievraag in Nederland</i>	In 1995: 111 PJ, waarvan 90% voor ammoniakproductie. Hiervan is weer 60% nodig als grondstof en 40% voor het energiegebruik.
<i>Korte termijn energiebesparing (tot 2020)</i>	Besparingsmaatregelen die in ICARUS 4 worden genoemd zijn gedateerd.
<i>Grootste energie-inefficiency</i>	Irreversibele reacties bij stoomomzetting en verbranding aardgas
<i>Oplossingsrichtingen</i>	Productie ammoniak als intermediair voor kunstmeststoffen A: Verschuiven evenwicht in chemische reacties B: Exergy matching
<i>Kansrijke technieken</i>	A1: Membraanreactor voor stoomomzetting A2: Membraanreactor voor selectieve verwijdering van ammoniak tijdens synthese A3: Selectieve verwijdering van ammoniak met absorbents B Hoge temperatuur WKK voor voorverwarmen syngas
<i>Technisch besparingspotentieel in proces</i>	10-15% van totale energievraag voor ammoniakproductie; 40-50% van het gedeelte van het aardgas dat wordt ingezet als energiedrager.
<i>Effecten op het energiegebruik in de keten</i>	
<i>Vermeden broeikasgasemissie</i>	De energiegerelateerde emissie van CO ₂ neemt af; de procesgerelateerde emissie neemt niet af. Dus een reductie met 10-15% van de totale emissie van de ammoniakproductie is mogelijk.

Aanpassingen tov VCE-rapportage

Membraanreactor werd nog niet genoemd in de VCE-rapportage. In de VCE-rapportage werden nog een aantal technieken als nieuw bestempeld, die onder-tussen al commercieel zijn (bv. autothermal reforming). Ten opzichte van deze technieken is nog 10% efficiencyverbetering mogelijk.

2.8 Raffinage

Korte beschrijving huidige situatie

In Nederland zijn er 6 raffinaderijen die ruw olie omzetten in lichtere producten voor de brandstofindustrie en grondstoffen voor de chemische industrie. In 2001 hadden deze raffinaderijen de volgende capaciteiten (bron: Energie Verslag Nederland, ECN, www.energie.nl).

Naam	Plaats	Capaciteit (duizend vaten per dag)
Nerefco (BP-Texaco)	Europoort	339
Royal Dutch/Shell	Pernis	390
ExxonMobil Corp	Rotterdam	180
TotalFinaElf	Vlissingen	149
Kuwait National Petroleum Co.	Rotterdam	76
Smid & Hollander Raffinaderij	Amsterdam	10

Alle grote oliemaatschappijen zijn vertegenwoordigd in (Zuid-West) Nederland.

In de afgelopen jaren zijn enkele grote projecten uitgevoerd (Flexicoker, HYCON, PER+) om meer zwaardere fracties om te zetten. Dit is een gevolg van een steeds toenemende vraag naar lichtere fracties en van strengere milieu-eisen.

Primaire energievraag (2001) in Nederland

191 PJ, waarvan 169 PJ olieproducten en 33 PJ aardgas. 11 PJ van de olieproducten werd ingezet in de eigen energievoorziening.

Korte termijn energiebesparing (tot 2020)

Procesoptimalisatie door verbeterde warmteterugwinning en warmte-integratie
Voorschakelen gasturbines

Grootste energie-inefficiency

Bij klassieke raffinage komt 90% van de energie-inhoud van de ruw olie uiteindelijk in de producten terecht. Het energiegebruik neemt echter toe als gevolg van de diepere omzettingen. Het maken van synthetische brandstoffen heeft een lager thermisch rendement.

<i>Oplossingsrichtingen</i>	<p>A: Combineer processen zodat het aantal stappen voor de diepere omzetting afneemt.</p> <p>B: Verbeterde reactoren en processen voor productie synthetische brandstoffen.</p> <p>C: Vanuit CO₂-oogpunt: biodiesel.</p> <p>D: Ketenintegratie</p> <p>E: Verbeterde scheidingsprocessen</p>
<i>Kansrijke technieken</i>	<p>D1: Benutting CO₂ in glastuinbouw: bij raffinage ontstaat veel zuivere CO₂ die kan worden benut als CO₂-bemesting bij glastuinders, het liefst in combinatie met rest-warmtelevering. Eerdere ideeën zijn gestrand op financiële onhaalbaarheid.</p> <p>D2: Procesintegratie: met name gericht op restwarmtebenutting.</p> <p>E1: Thermisch kraken ipv destilleren: voordeel is dat met dit proces ook zwavel- en stikstofverbindingen en metalen worden verwijderd. Dit levert een energiebesparing op in de vervolgstappen van de scheiding.</p>
<i>Technisch besparingspotentieel in proces</i>	<p>Vier van de vijf grote raffinaderijen doen mee met het covenant benchmarking (Esso niet). De energiebesparingsplannen zijn niet openbaar. Een inschatting van de besparing op korte termijn ligt tussen de 0,5 en 1% per jaar [Icarus-4]. Lange termijn besparingspotentieel is onbekend.</p>
<i>Effecten op het energiegebruik in de keten</i>	
<i>Vermeden broeikasgasemissie</i>	Onbekend
<i>Aanpassingen tov VCE-rapportage</i>	<p>Raffinage is niet behandeld in de VCE-rapportage over de vraagzijde. In de rapportage over de aanbodzijde is wel enige aandacht besteed aan de verwerking van aardolie, maar wordt niet gerept over verbeteringsmogelijkheden van de energie-efficiency.</p>

2.9 Zuivel

<i>Korte beschrijving huidige situatie</i>	<p>In 2002 waren er al 12 zuivelondernemingen actief in Nederland, met in totaal 59 fabrieken. Het aantal ondernemingen en fabrieken neemt al jaren gestaag af. In 1995 waren er nog 19 ondernemingen en 80 fabrieken. In totaal werd er in 2002 ruim 11 miljard kg melk verwerkt in de fabrieken. [Productschap voor de zuivel, 2003]</p>
<i>Primaire energievraag (2001) in Nederland</i>	<p>De zuivelindustrie gebruikt het meeste energie van de gehele voedings- en genotmiddelenindustrie (16 PJ in 1995). Het aandeel in het industriële energieverbruik is echter minder dan 2% [Icarus 4 , 2001].</p> <p>De productie van melk- en weipoeder vraagt de meeste energie, namelijk ongeveer 1,0 GJ/ton aan warmte en 0,07 GJ/ton aan elektriciteit [De Beer <i>et al.</i>, 1994].</p>

<i>Korte termijn energiebesparing (tot 2020)</i>	<p>Optimalisatie en verminderen van vervuiling van warmtewisselaars</p> <p>Verbeterde processturing van indampers</p> <p>Verbeterd ontwerp van indampers</p> <p>Mechanische damprecompressie bij indampers</p> <p>Optimaliseren van Cleaning-in-place</p> <p>Koeltechnieken: good housekeeping, opslag onder de grond etc.</p> <p>Diverse elektriciteitsbesparingsmaatregelen (toerenregeling)</p> <p>Tot 2020 bestaat er een technisch besparingspotentieel van 19% [Icarus 4, 2001].</p>
<i>Grootste energie-inefficiency</i>	Inzet van energiedragers met hoge kwaliteit voor het verwijderen van water uit melk, voor de productie van gecondenseerde melk en melkpoeder.
<i>Oplossingsrichtingen</i>	<p>A: Inzet van energiedragers met een lagere kwaliteit (restwarmte).</p> <p>B: Toepassing van andere concentratietechnieken</p> <p>C: Biotechnologie: melkvervangers</p>
<i>Kansrijke technieken</i>	<p>B1: Membraantechnologie voor concentratie</p> <p>B2: Vrieskristallisatie in combinatie met een warmtepomp</p>
<i>Technisch besparingspotentieel in proces</i>	Er is geen betrouwbare inschatting van het technisch potentieel op de lange termijn beschikbaar.
<i>Effecten op het energiegebruik in de keten</i>	<p>Beperkt, tenzij biotechnologie een grote rol gaat spelen in het vervaardigen van melkpoedervervangers.</p> <p>Membranen kunnen ook worden ingezet op de boerderij om een koude voorconcentratie van de melk uit te voeren. Transportenergie kan hiermee worden gereduceerd [Innovations in Dairy, 2000]</p>
<i>Vermeden broeikasgasemissie</i>	Onbekend
<i>R&D knelpunten</i>	Toepassing van membranen stuit vooral op problemen met vervuiling van de kanalen.
<i>Verwachte marktintroductie in</i>	Membraantechnologie is al beschikbaar maar kan nog steeds verbeterd worden. Grootschalige toepassing in de zuivelindustrie kan worden gezien als een doorbraaktechnologie.
<i>Aanpassingen tov VCE-rapportage</i>	Membraantechnologie heeft zich bewezen. Verder geen nieuwe technieken.

2.10 Industriële WKK

<i>Korte beschrijving huidige situatie</i>	De gecombineerde opwekking van elektriciteit en warmte is in veel gevallen efficiënter dan de gescheiden opwekking van deze twee energiedragers. Dit leidt tot een lagere primaire energievraag, minder emissies en soms een reductie in kosten.
--	--

In Nederland stond in 2002 circa 5000 MWe WKK opgesteld. Circa 60% van het WKK vermogen staat opgesteld in de industrie (circa 3000 MWe), waarvan (CBS,

2003)¹:

- 66% STEG
- 21% gasturbines
- 11% stoomturbine
- 2% gasmotoren

Er zijn verschillende configuraties voor een warmte-krachtkoppeling beschikbaar:

1) *Tegedruk stoomturbines.*

Hierin wordt hogedrukstoom uit een boiler geëxpandeerd naar middendrukstoom in een stoomturbine. Stoom wordt hierbij gebruikt in het productieproces.

2) *Extractiecondensatie stoomturbines.*

Deze is vergelijkbaar met bovenbeschreven optie, maar er is een extra lagedruk stoomturbine die de stoom verder expandeert naar lagedruk stoom. Dit levert meer flexibiliteit op: de middendruk stroom kan zowel gebruikt worden in het productieproces als verder geëxpandeerd worden en extra elektriciteit opwekken.

3) *Gasturbines met een restwarmteboiler.*

Elektriciteit wordt opgewekt in een gasturbine. De uitlaatgassen hebben een temperatuur van 500-600° C en worden geïnjecteerd in een restwarmteboiler, waar ze gebruikt worden om stoom te produceren. De lagedrukstoom wordt gebruikt in het productieproces.

4) *STEG (Stoom En Gas) turbines.*

Hierbij wordt elektriciteit opgewekt in een gasturbine. De uitlaatgassen worden geïnjecteerd in een restwarmte boiler, maar in dit geval wordt hogedrukstoom geproduceerd. De stoom wordt geëxpandeerd in een stoomturbine en de resulterende lagedrukstoom wordt gebruikt voor het productieproces.

Tot 1970 werd vooral optie 2 veel toegepast. In nieuwe situaties worden vooral de laatste twee opties toegepast. Echter voor deze twee opties kan alleen aardgas of lichte stookolie gebruikt worden. Indien deze brandstoffen niet beschikbaar zijn, zijn de eerste twee opties een alternatief.

Elektriciteit geproduceerd in een industriële warmtekrachtkoppeling kan zowel lokaal gebruikt worden of teruggeleverd worden aan het elektriciteitsnet.

Het totaalrendement voor omzetting van brandstof in elektriciteit en warmte ligt bij een WKK gewoonlijk op 80% - 85%. Hogere rendementen zijn mogelijk door ook restwarmte op lage temperatuur te benutten. Als ook de condensatiewarmte van de waterdamp in de rookgassen wordt benut kan het rendement zelfs de 100% benaderen.

Kansrijke technieken

- Gebruik van biogas of stortgas in WKK om zo duurzame energie op te wekken.
- Verdere verhoging van de inlaattemperatuur van gasturbines.
- Verbetering van de gasturbine-cyclus met bijvoorbeeld intercooling en reheating.
- Hoge-temperatuur WKK en voorschakeling voor fornuizen.
- Gebruik van brandstofcellen in combinatie met de inzet van waterstof.

¹ CBS (2003) CBS Statline. Download 25 September 2003

<i>Technisch besparingspotentieel in proces op lange termijn</i>	In orde grootte van 100 PJ primaire energie (ongeveer 10% van industriële energievraag).
<i>Vermeden broeikasgasemissie</i>	De energiebesparing die gerealiseerd wordt met een conventionele warmtekrachtkoppeling bedraagt maximaal 30%. De CO ₂ -reductie hangt af van de brandstof die gebruikt wordt in de referentiesituatie.
<i>R&D knelpunten</i>	Geen
<i>Verwachte marktintroductie</i>	Het gebruik van WKK is niet nieuw. In het begin van de 20 ^{ste} eeuw speelde decentrale elektriciteitsproductie met behulp van een warmte-krachtkoppeling een grote rol in de industrie. In de loop van de 20 ^{ste} eeuw nam dit aandeel af omdat decentrale elektriciteitsproductie moeilijk kon concurreren met de centraal grootschalig opgewekte elektriciteit. Sinds 1970 is er een hernieuwde interesse voor WKK door de introductie van gasturbines. Onder invloed van het energiebesparingsbeleid in de jaren erna heeft WKK in Nederland een hoge vlucht genomen. In 1998 werd bij 56% van de totale elektriciteitsproductie in Nederland de vrijkomende warmte nuttig gebruikt.
<i>Rentabiliteit vlak bij marktintroductie</i>	Marktintroductie van WKK op brandstofcellen is met name afhankelijk van het tempo waarin waterstofinfrastructuur tot stand komt. Verdere marktintroductie van conventionele warmtekrachtinstallaties wordt momenteel met name belemmerd door ongunstige economische factoren voor WKK in een geliberaliseerde energiemarkt (lage terugleververgoedingen, hoge transportkosten en hoge kosten voor reservecapaciteit).
<i>Verwachte inpassingsproblemen</i>	Een warmte-krachtkoppeling moet altijd gedimensioneerd worden op de warmtevraag. Wordt dit niet gedaan, dan daalt het rendement aanzienlijk. Daarom moet bij de planning van een WKK van tevoren goed onderzocht worden hoeveel warmte er op lange termijn nodig is.
<i>Belangrijkste R&D</i>	Er vindt vooral onderzoek plaats op het gebied van micro-WKK (al dan niet in combinatie met een brandstofcel) voor toepassing van WKK bij huishoudens. Ook wordt er onderzoek verricht op het gebied van Integrated Combined Cycle Systems (STEG), zoals de toepassing van biomassa- en kolenvergassing.
<i>Aanpassing tov VCE-rapportage</i>	Industriële WKK is niet apart behandeld. Wel worden de ontwikkelingen bij gasturbines en hoge-temperatuur WKK beschreven. Deze ontwikkelingen zijn nog steeds geldig en opgenomen in deze tekst.

2.11 Cross-cutting technieken

In de VCE-rapportage zijn de volgende cross-cutting technieken voor eindverbruik behandeld:

- Warmteterugwinning
- Luchtscheiding en zuurstofverrijking van lucht
- Droogprocessen
- Scheidingstechnieken
- Elektrische aandrijfsystemen

De beschrijvingen zijn nog actueel en hoeven derhalve niet aangepast te worden.

2.12 Conclusies

Uit de factsheets per sector kan geconcludeerd worden dat er in de meeste sectoren oplossingsrichtingen zijn om huidige inefficiëncies op de lange termijn te verminderen. In de meeste gevallen vindt hier ook al onderzoek naar plaats, gedreven door mogelijke kostenvoordelen van compactere installaties.

We kunnen ook kansrijke technieken selecteren, alhoewel het moeilijk is de kans op succesvolle ontwikkeling vast te stellen, zie ook [De Beer, 1998]. In zijn proefschrift heeft De Beer [1998] voor een aantal sectoren het lange-termijn besparingspotentieel geanalyseerd. Deze inzichten zijn ook opgenomen in de factsheets. Onderstaand overzicht geeft een idee van het potentieel van deze technieken, in vergelijking met een thermodynamisch minimum energieverbruik voor een aantal processen. Alhoewel niet alle beschreven sectoren aan de orde komen, kan dit overzicht ons inziens wel gebruikt worden om een algemeen beeld van de industriële besparingsmogelijkheden op de lange termijn te schetsen.

Tabel 2.2: Overzicht van mogelijke lange-termijn energie-efficiencyverbetering bij een aantal processen (naar [De Beer, 1998]).

	Specifiek energiegebruik (GJ/ton)			Relevante technieken
	Huidige beste waarde	Thermodynamisch minimum	Toekomstige technieken	
Papier	2.3-8.6	0.0	0.6-4.3	Condebelt, dry-sheet forming, oververhitte stoomdrogen
Primair staal	19.0	6.6	12.5	Smelt reduction Stripgieten
Secundair staal	7.0	0.0	3.5	Nieuwe ovens Stripgieten
Ammoniak	27.2	19.8	23.6	Membraanreactor
Salpeterzuur	26.8	3.2	15.3	Gasturbine of brandstofcel Integratie

Het specifiek energiegebruik is een indicator voor de energie-efficiency van een activiteit. Hoe lager het specifiek energiegebruik, hoe efficiënter het proces. De maximale efficiency wordt bereikt als het specifiek energiegebruik gelijk is aan het thermodynamisch minimum. Uit de tabel blijkt dat voor de genoemde producten het mogelijk is de energie-efficiency van het vermijdbare deel van het energiegebruik met een factor twee te verbeteren met geïdentificeerde technieken.

Uit de analyses die in de factsheets gepresenteerd zijn, blijkt dat in geen enkele sector een efficiency-verbetering van meer dan 40% (op basis van het totale energiegebruik) op de lange termijn haalbaar is. Als alleen naar het vermijdbare deel wordt gekeken ligt een factor 2 efficiencyverbetering in bepaalde sectoren binnen de mogelijkheden, zoals de primaire staalproductie en de ammoniakproductie. Het valt echter niet hard te maken dat dit in de gehele industrie haalbaar is. De factor ligt meer waarschijnlijk in de range 1,5-2.

Door geleidelijke verbetering van de energie-efficiency is er potentieel van 20%-30% te bereiken met technieken geïdentificeerd in Icarus 4. In sommige sectoren zijn doorbraaktechnologieën geïdentificeerd, of in elk geval technieken die een ingrijpende verandering van het productieproces vragen. Zo ingrijpend dat in feite sprake is van investeren in een nieuwe fabriek.

De mogelijke vermindering van de industriële emissie van CO₂ door verbetering van de energie-efficiency is minder dan een factor 2. Dit wordt veroorzaakt door het thermodynamisch minimum van het specifiek energieverbruik, waarmee vaak ook een onvermijdbare emissie is verbonden. In sommige gevallen wordt koolstof vastgelegd in het product, zoals bij plastics, om pas in een later stadium van de levensloop – bij verbranding – vrij te komen. In de meeste gevallen is dit echter niet het geval. Koolstof wordt bijvoorbeeld gebruikt voor de reductie van ijzererts tot ijzer. Bij het maken van staal wordt echter de koolstof grotendeels weer verwijderd en het vrijkomende oxystaalgas wordt ingezet in de energiehuishouding van het proces. Ammoniak bevat in het geheel geen koolstof. Dit is al eerder uit het synthesegas verwijderd en wordt soms ingezet voor de productie van ureum, maar vaak in de vorm van CO₂ uitgestoten. Kwantificering van het netto effect van efficiencyverbetering op de industriële CO₂-emissie, vraagt om een detailanalyse per sector, die we in het tijdsbestek van deze studie niet kunnen uitvoeren.

Een trend die investeren in nieuwe fabrieken in Nederland belemmert is de globalisering van de bedrijvigheid. De papier- en kartonsector is hier een goed voorbeeld van. Hier zijn nog maar vier van oorsprong Nederlandse bedrijven. Maar ook in de staalsector (Hoogovens → Corus) en de elektriciteitssector is deze trend waar te nemen. In de chemie en de raffinage is al langer sprake van internationale bedrijven. De belemmering ligt in het feit dat investeringen in nieuwe fabrieken worden genomen op concernniveau. Daarbij wordt gekeken naar de beste locatie voor investering, waarbij alle factoren worden meegenomen die van belang zijn voor een rendabele investering met minimalisatie van de risico's. Als de implementatie van doorbraaktechnologieën in Nederland bevorderd moet worden, dan is beleid gericht op beïnvloeding van deze investeringsfactoren zeker zinvol.

Naast verbetering van de energie-efficiency van productieprocessen, kan het energieverbruik van de industrie worden verminderd door ketenmaatregelen. Mogelijke opties zijn:

- materiaal-efficiënt productontwerp
- materiaalrecycling
- producthergebruik
- materiaalcascading

- materiaalsubstitutie, inclusief het gebruik van biomaterialen.

Deze onderwerpen zijn ondergebracht in de nieuwe generatie meerjarenafspraken. Hoewel er veel optimistische geluiden zijn, is het echter nog niet mogelijk een goede inschatting te maken van het potentieel. Er is zeker nog onderzoek nodig naar nieuwe materialen, alternatieve inputs voor bestaande processen, instrumenten voor de ontwikkeling van materiaal-efficient productontwerp, verbeterde materiaalrecycling door betere herkenningssystemen, materiaallabeling en verbeterde scheidingstechnieken. En verdere uitwerking van dit thema valt buiten de scope van dit onderzoek.

Ten opzichte van het overzicht van nieuwe technologieën in de VCE-rapportage zijn de veranderingen gering. Wij hebben geconstateerd dat er sinds de tweede helft van de jaren negentig geen overzichtsstudie meer is uitgevoerd waarin voor alle industriële sectoren de mogelijkheden van nieuwe technologieën zijn geanalyseerd. De actualisering ten opzichte van de VCE-rapportage is daarom gebaseerd op eigen sectorstudies die noodzakelijkerwijs beperkt waren. Het verdient in onze ogen aanbeveling om regelmatig een actualisering van het overzicht van nieuwe energie-efficiënte technologieën uit te voeren. Een dergelijke actualisering kan het karakter hebben van een monitoring waarin wordt bijgehouden wat de stand van ontwikkeling is.

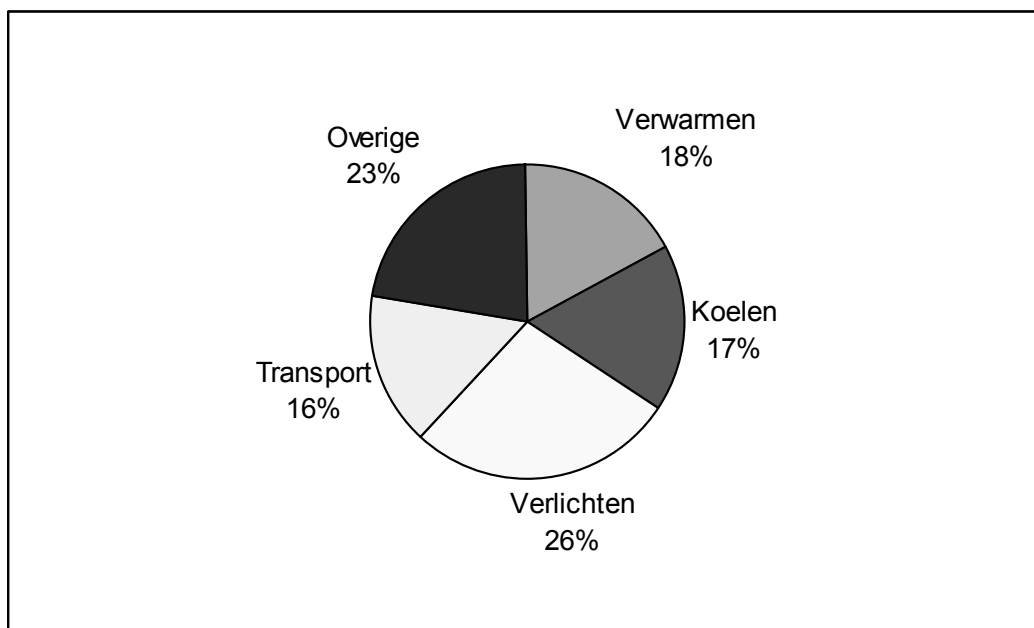
3 Gebouwde omgeving

3.1 Inleiding

De gebouwde omgeving verdelen we onder in de sector dienstverlenende bedrijven en de sector woningen. De totale primaire energievraag van de gebouwde omgeving in 2002 bedroeg circa 675 PJ.

3.2 Dienstverlenende bedrijven

In Nederland zijn circa 190.000 dienstverlenende bedrijven (CBS, 2003) actief. Hier concentreren we ons op kantoorgebouwen. Het totale energiegebruik in deze sector is circa 240 PJ. In kantoren wordt met name energie gebruikt voor ruimteverwarming, koeling, ventilatoren en pompen, verlichting en overige (apparaten). De gemiddelde verhouding tussen het verbruik voor de verschillende energiefuncties bij (gekoelde) nieuwbouw in 2003 is gegeven in Figuur 3.1.



Figuur 3.1: Onderverdeling primair energiegebruik kantoorgebouwen (best practice 2003) naar energiefuncties. Totaal energiegebruik is 240 PJ.

In Tabel 3.1 staat een overzicht van de mogelijkheden tot verbetering van de energie-efficiency van kantoorgebouwen. Bij de beschreven opties is steeds een inschatting gemaakt van het totale technische besparingspotentieel. Dit is het besparingspotentieel dat

op basis van alle beschikbare haalbare opties op de korte termijn (circa 15 jaar) c.q. de lange termijn (circa 50 jaar) mogelijk wordt geacht.

In zijn algemeenheid zijn op korte termijn de inspanningen gericht op het verbeteren van de huidige gebouwvoorraad het meest effectief. Op alle energiefuncties zijn in bestaande kantoren op korte termijn forse besparingen mogelijk. Per energiefunctie worden hier de opties met het meeste potentieel genoemd:

- Verwarming: Efficiëntieverbetering warmteopwekker, verminderen van ventilatieverliezen.
- Koeling: gebruik van efficiënte apparatuur en efficiënte verlichting, gebruik van automatische zonwering, efficiënte koude-opwekker.
- Ventilatoren en pompen: vraagsturing van koude, warmte en ventilatie.
- Verlichting: Hoog rendement verlichtingssysteem met aanwezigheids- en daglichtregeling.
- Apparatuur: Efficiënte computers.

Bij nieuw te bouwen kantoorgebouwen zijn de belangrijkste besparingsopties:

- Efficiënte van de energieopwekkers, zoals compressie- en absorptiewarmtepompen, met (uiteindelijk) rendementen tot 200%.
- Het gebruik van warmte/koude opslag. Door de schaalgrootte is toepassing van aquifers ten behoeve van warmte/koudeopslag bij kantoorgebouwen nu al rendabel.
- Verhogen van de thermische massa van het gebouw, bijvoorbeeld met phase change materials, samen met een goede (vraaggestuurde) ventilatievoorziening kan warmte- en koudebehoefte van een kantoorgebouw reduceren tot vrijwel nihil.

De technieken, genoemd bij bestaande kantoorgebouwen, kennen weinig technische inpassingsproblemen. De barrières zijn vooral financieel van aard. Ten aanzien van de technieken voor nieuwe kantoorgebouwen zullen bij toepassing van aquifers geografische en bodemtechnische beperkingen op een gegeven moment de toepasbaarheid beperken. Het (kunstmatig) verhogen van de thermische massa van het gebouw bevindt zich nog in de ontwikkelingsfase. Onderzoek naar bruikbare concepten is gaande.

Onderzoek in Nederland richt zich op:

- Chemische opslag van warmte (m.n. sorptietechnieken).
- Marktintroductie van brandstofcellen en (absorptie)warmtepompen.
- Efficiëntieverbeteringen van warmtepompconcepten in combinatie met opslag (al dan niet grondgebonden).
- Kosten verlaging en efficiëntieverbetering zonnecellen.
- Zongedreven aircosystemen (sorptie)
- Toepassingsmogelijkheden van Phase change materials.
- gecombineerde zonthermisch/zonnecel systemen.

Tabel 3.1: Overzicht besparingsopties in kantoorgebouwen

Energiefunctie	Korte termijnopties	Lange termijn opties	Doorbraaktechnologieën
Ruimteverwarming	<ul style="list-style-type: none"> • Verbetering gangbare isolatiematerialen • Goedkope lage temperatuur-afgifte systemen • Warmteterugwinning op ventilatielucht in bestaande kantoren • Vraagsturing ventilatie en verwarming. • Optimaal benutten accumulerend vermogen van gebouw • Warmteopslag in combinatie met warmtepompen en/of zonnecollectoren <p>Technische besparingspotentieel: 80%</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Vacuumisolatie <p>Technische besparingspotentieel: 100%</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Warmteterugwinning in bestaande kantoren.
Koelen	<ul style="list-style-type: none"> • Energie-efficiënte computers gebruiken (zie apparaten) • Energie-efficiënte verlichting gebruiken (zie verlichting) • Optimaal benutten accumulerend vermogen van gebouw • Vraagsturing ventilatie en koeling • Goedkope lage temperatuur-afgifte systemen • Effectieve zonwering • Koude-opslag <p>Technisch besparingspotentieel 95%</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Zongedreven koelsystemen (sorptietechnieken) <p>Technische besparingspotentieel: 100%</p>	<ul style="list-style-type: none"> •
Pompen en ventilatoren	<ul style="list-style-type: none"> • Vraagsturing ventilatie, koeling en verwarming • Distributiesystemen met lage weerstand • Natuurlijk ventileren • Drukgestuurde pompen en ventilatoren <p>Technisch besparingspotentieel 80%</p>		
Verlichting	<ul style="list-style-type: none"> • Daglicht- en aanwezigheidsregeling • Rendementsverbetering TL verlichting <p>Technisch besparingspotentieel 75%</p>	<p>daglichtsystemen</p> <p>Technisch besparingspotentieel: 90%</p>	
Apparatuur	<ul style="list-style-type: none"> • Efficiënte beeldschermtechnieken • Uitontwikkeling power management mogelijkheden 		

Energiefunctie	Korte termijnopties	Lange termijn opties	Doorbraaktechnologieën
	<ul style="list-style-type: none"> • Efficiënte CPU. Technische besparingspotentieel: gemiddeld 50%		
Opwekking (zie ECN)	<ul style="list-style-type: none"> • Absorptiesystemen tot 140% rendement • micro WKK • Warmteopslag, compressiewarmtepomp en/of zonthermische energie 	<ul style="list-style-type: none"> • Absorptiesystemen tot 200% rendement • WKK/brandstofcellen 	<ul style="list-style-type: none"> • Absorptiesystemen • Brandstofcellen
Opmerkingen		<ul style="list-style-type: none"> • Toename behoefte aan koeling door hogere comfort-eisen. 	

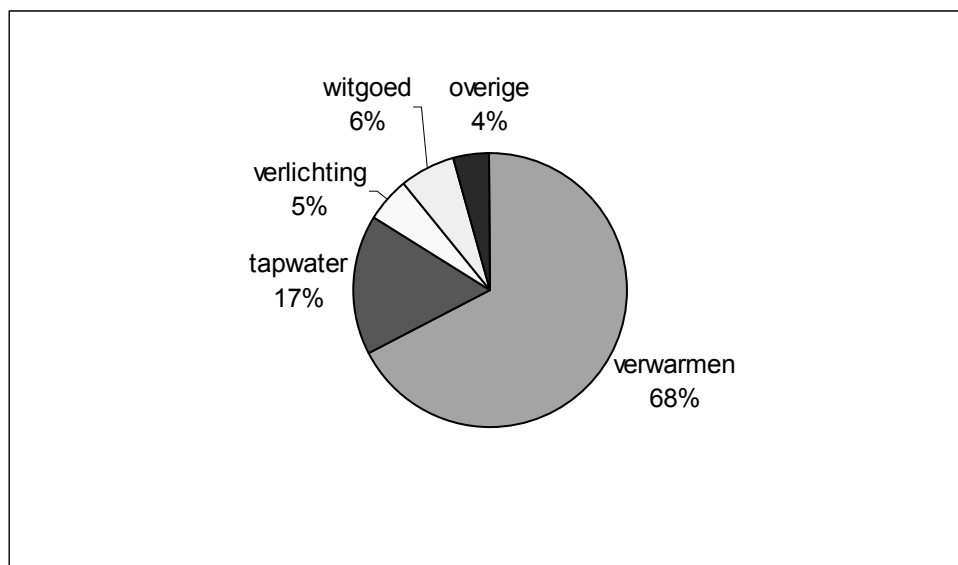
Conclusie:

Het lange termijn besparingspotentieel voor kantoorgebouwen komt uit op 82,5%. Indien we apparatuur buiten beschouwing laten, komt het besparingspotentieel uit op 92,5%. Voor gebouw gerelateerde energiefuncties ligt een factor 10 verbetering van de energie-efficiency dus binnen de mogelijkheden.

We hebben geen lange termijn opties voor efficiencyverbetering van apparatuur vastgesteld. Dit wordt veroorzaakt door de korte gebruiksduur van apparatuur, momenteel een paar jaar. Aangezien nieuwe apparatuur tot nu toe altijd zuiniger was dan bestaande apparatuur, mogen we aannemen dat op langere termijn een efficiencyverbetering met minimaal een factor 4 mogelijk is. In dat geval ligt een factor 10 verbetering van alle energiefuncties in kantoorgebouwen net binnen de mogelijkheden. De verwachting is echter dat het aandeel van elektrische apparatuur in de energievraag verder zal toenemen. Als de efficiencyverbetering van apparatuur niet boven de factor 4 kan uitstijgen, zal de factor 10 voor het kantoorgebouw als geheel niet gehaald kunnen worden.

3.3 Woningen

In Nederland zijn 6,8 miljoen woningen, waarvan 5,7 miljoen van voor 1990 (vanaf circa 1990 zijn woningen redelijk geïsoleerd). Het aantal appartementenwoningen is circa 2 miljoen en het aantal eengezinswoningen is circa 4,8 miljoen. In de woning wordt energie gebruikt voor ruimteverwarming, verwarming van tapwater, verlichting, witgoed (koelkasten, wasmachines e.d.) en overige (apparaten). Het totale primaire energiegebruik van woningen was 437 PJ in 2002. De gemiddelde verhouding tussen het verbruik voor de verschillende energiefuncties is gegeven in Figuur 3.2.



Figuur 3.2: Verdeling van primair energiegebruik naar energiefuncties in de woning. Het totale primaire energiegebruik van de woningen in Nederland in 2002 was 437 PJ.

In Tabel 3.2 staat een overzicht van de besparingsopties in woningen. Bij de beschreven opties is steeds een inschatting gemaakt van het totale technische besparingspotentieel. Dit is het besparingspotentieel dat op basis van alle beschikbare haalbare opties op de korte termijn (circa 15 jaar) c.q. de lange termijn (circa 50 jaar) mogelijk wordt geacht. In zijn algemeenheid zijn op korte termijn de inspanningen gericht op het verbeteren van de huidige woningvoorraad het meest effectief. Het vinden van goed inpasbare oplossingen om het warmteverlies door ventilatie te verminderen in bestaande woningen zullen het grootste effect hebben. Voor nieuw te bouwen woningen zijn op de lange termijn twee scenario's relevant:

- Verdergaande energiebesparing in combinatie met energieopslagsystemen reduceren de warmtebehoefte van een woning tot nul. De behoefte aan een aparte gas- of warmte-infrastructuur verdwijnt. De energie-infrastructuur is in sterke mate geëlektrificeerd, waarschijnlijk met een grote variëteit aan opwekkers. Verdere efficiëntieverbeteringen moeten zich dan richten op de efficiëntie van de (elektrische) energievoorziening
- De (duurzame) energievoorziening van een woning levert warmte als bijproduct, denk daarbij aan micro warmte/kracht. Het verder reduceren van warmtebehoefte is in dat geval niet zinvol.

Verder zullen bij een zeer laag energiegebruik van woningen andere fasen uit de levenscyclus van de woning (bouw, sloop) belangrijker worden. Het verlengen van de levensduur van materialen door demontabel bouwen of het bouwen met materialen met lage energie-inhoud heeft dan een relatief veel grotere bijdrage aan het verminderen van het totale energiegebruik gedurende de levenscyclus van een woning.

In bestaande woningen is de grootste energiebesparing te realiseren door de volgende ingrepen:

- Het vervangen van de ketel door nieuwe efficiëntere apparaten (bijvoorbeeld absorptiewarmtepompen of brandstofcellen).
- Het voorkomen van warmteverliezen. Met name het beperken van de warmteverliezen door ventilatie biedt nog mogelijkheden tot forse besparingen.

In nieuwe woningen zal op termijn de grootste besparing te realiseren zijn door toepassing van compacte warmte-opslag systemen of door efficiëntere apparaten. De volgende opslagmogelijkheden zijn relevant:

- De grond in combinatie met een warmtepomp, opslagcapaciteit tot 40 MJ/m³
- Phase changing materials (PCM), opslagcapaciteit tot circa 400 MJ/m³.
- Chemische opslag, opslag capaciteit tot 2 GJ/m³.

De warmtebehoefte van een energie-efficiënte woning bedraagt minimaal 7 GJ per jaar voor ruimteverwarming en 4 GJ per jaar voor tapwater. Het minimaal benodigde opslagvolume is circa 5,5 m³. Inpassing van een dergelijke opslag vergt speciale aandacht bij het ontwerp van een woning.

Onderzoek in Nederland richt zich op:

- Chemische opslag van warmte (m.n. sorptietechnieken).
- Marktintroductie van brandstofcellen en (absorptie)warmtepompen.
- Efficiëntieverbeteringen van warmtepompconcepten in combinatie met opslag (al dan niet grondgebonden).
- Kosten verlaging en efficiëntieverbetering zonnecellen.
- Zongedreven aircosystemen (sorptie)
- Toepassingsmogelijkheden van Phase changing materials.
- gecombineerde zonthermisch/zonnecel systemen.

Tabel 3.2: Overzicht besparingsopties in woningen

Energiefunctie	Korte termijn opties	Lange termijn opties	Doorbraak technologieën
warmtapwater	<ul style="list-style-type: none"> • Gebruik beperken • Uittapverliezen beperken • Warmteterugwinning douchewater en badwater • Hoog rendement opwekking (warmtepomp) • zonneboiler Technisch besparingspotentieel: 90%	<ul style="list-style-type: none"> • Hoogwaardige en compacte (bijvoorbeeld chemische) warmteopslag t.b.v. zonneboiler Technisch besparingspotentieel: 100%	<ul style="list-style-type: none"> • Hoogwaardige en compacte warmteopslag t.b.v. zonneboiler
Ruimteverwarming	<ul style="list-style-type: none"> • verbetering gangbare isolatiematerialen • Goedkope lage temperatuur-afgifte systemen • Warmteterugwinning op ventilatielucht in bestaande woningen • Vraagsturing ventilatie en verwarming. Technisch besparingspotentieel: 50%	<ul style="list-style-type: none"> • Hoogwaardige compacte warmteopslag t.b.v. ruimteverwarming • Vacuümisolatie Technisch besparingspotentieel: 100%	<ul style="list-style-type: none"> • Hoogwaardige compacte warmteopslag t.b.v. ruimteverwarming in combinatie met absorptiewarmtepomp. • Vacuümisolatie • Warmteterugwinning in bestaande woningen

Energiefunctie	Korte termijnopties	Lange termijn opties	Doorbraak technologieën
Verlichting	<ul style="list-style-type: none"> • HF spaarlamp met goede lichteigenschappen • Rendementsverbeteringen van Spaarlamp • Huishoudelijke toepassing van QL lamp • Dim- en aanwezigheidssystemen <p>Technische besparingspotentieel: 50%</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Daglichtsystemen <p>Technisch besparingspotentieel: 80%</p>	
Apparatuur	<ul style="list-style-type: none"> • LCD bij beeldschermen/televisies • Efficiënter ontwerp (vaat)wassen, hot-fill • Vriezen, vacuümisolatie • Koelen, vacuümisolatie • Drogen, warmtepomp-wasdrogers, hoge toeren wasdrogers, hot fill drogers • Minimaliseren stand-by verliezen <p>Technische besparingspotentieel: 50%</p>	<ul style="list-style-type: none"> • toepassing van Stirling warmtepomp voor koel en vriesapparaatuur. • koude was wasmiddelen voor vaat en kleding <p>Technische besparingspotentieel: 80%</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Vacuümisolatie • koude was wasmiddelen voor vaat en kleding
Opwekking (zie ECN)	<ul style="list-style-type: none"> • Absorptiesystemen tot 140% rendement • Compressiewarmtepompen • micro WKK • Zonneboiler • combinatie PV/zonneboiler • PV-systemen 	<ul style="list-style-type: none"> • Absorptiesystemen tot 200% rendement • WKK/brandstofcellen • Zonneboiler • combinatie PV/zonneboiler 	<ul style="list-style-type: none"> • Absorptiesystemen • Brandstofcellen • Kostenreductie PV
Opmerkingen		<ul style="list-style-type: none"> • Toename gebruik van airconditioning apparatuur • Meer huishoudelijk apparatuur in huis. 	

Conclusie:

Het korte termijn besparingspotentieel – gewogen naar het huidige aandeel van de energiefuncties in het energiegebruik – is 58%. Met toepassing van de lange termijn opties neemt het besparingspotentieel toe tot 97%. De energievraag van woningen kan dus nagenoeg geheel vermeden worden. Een factor 10 verbetering van de energie-efficiency ligt dus binnen de mogelijkheden.

4 Transport

4.1 Inleiding

De transportsector in Nederland was in 1995 verantwoordelijk voor een CO₂-emissie van 31 Mton, veroorzaakt door een energieverbruik van 419 PJ. Meer dan de helft van deze energie wordt verbruikt door personenauto's. Zie Tabel 4.1.

Tabel 4.1: Finale energievraag en CO₂-emissie van transport in Nederland (1995) [Icarus 4, 2001].

	Finale vraag (PJ)	CO ₂ -emissie (Mton)
Personenvervoer	258	19
Auto	240	17
Bus	8	1
Trein	5	1
Overig	5	0
Vrachtovervoer	162	12
Bestelwagen	39	3
Vrachtwagen	43	3
Combi	36	3
Trein	1	0
Binnenvaart	27	2
Zeevaart	17	1
Totaal	419	31

4.2 Personenvervoer per auto

In principe zijn er 6 manieren om de CO₂-emissie van (personen)vervoer te verminderen [Åhman, 2003]:

1. Verminderen van de vraag naar transport door b.v. regionale en stadsplanning, communicatietechnologie, of prijsprikkels.
2. Veranderen van de vervoerswijzekeuze naar minder vervuilende alternatieven (bus, trein, fiets).
3. Verhogen van de gebruikersgraad (car pooling, optimalisatie beladingsgraad, verbeterde routing).
4. Verbeteren van het rijgedrag en onderhoud van het voertuig.
5. Het gebruik van alternatieve brandstoffen.
6. Verhogen van de efficiency van de voertuigen.

De overheid heeft in haar beleid al deze wegen wel bewandeld of heeft dat nog als actief beleid. In deze studie kijken we alleen naar verbeteren van de energie-efficiency, dat wil zeggen optie 6.

In de jaren negentig lag het energiegebruik van personenauto's in de Europese Unie op 7-8 liter per 100 km (voor zowel nieuwe auto's als het gemiddelde van de bestaande voorraad). In 1998 is er een overeenkomst getekend met de Europese autofabrikanten om de specifieke CO₂-emissie terug te brengen tot 140 g/km voor de gemiddelde nieuwe auto die verkocht wordt in 2008 [ACEA, 1998]. Dit komt overeen met iets onder de 6 liter per 100 km, dus een verbetering van de efficiency van 20%.

Op korte termijn zijn de opties die ter beschikking staan om de efficiency te verbeteren de volgende [Icarus 4, 2001; VCE, 1996]:

- verbetering van de aërodynamica
- reductie van het voertuiggewicht
- verbetering van de transmissie
- verbetering van de motor
- toepassing van een start-stop systeem
- toepassen van boordcomputers
- verhogen van de bandendruk

Het specifiek energieverbruik van personenauto's kan met deze opties terug worden gebracht tot 3 liter per 100 km. In 2001 was er al tenminste één auto op de markt die deze efficiency kon halen. Deze auto combineert een licht ontwerp met een zeer efficiënte diesel injectiemotor. Verder is de weerstand verminderd door speciale banden en is een start-stop systeem ingebouwd. De auto was €5000 duurder dan een vergelijkbare minder efficiënte auto [Icarus 4, 2001]. In het kader van het Partnerschip for a New Generation of Vehicles in de VS is een middenklasser (volgens Amerikaanse standaard) ontwikkeld die 3.0-3.4 liter per 100 km gebruikt [PNGV, 1994]

Verdere verbetering van de efficiency van auto's is mogelijk door het toepassen van een elektrische aandrijving (bestaande uit een elektrische motor, generator, elektronica, and transmissie). Drie hoofdlijnen kunnen worden onderscheiden:

1. Elektrisch aandrijving met opslag van elektriciteit (accu): deze weg is niet veel belovend omdat de actieradius van deze auto's beperkt is door de geringe vermogensdichtheid van de accu's. Speurtochten naar betere accu's leverden niets op vanwege de hoge kosten [Åhman, 2003].
2. Elektrische aandrijving met elektriciteitsproductie in de auto: een zeer veelbelovende weg is de brandstofcelauto, met name de proton exchange membrane cell (PEM). Nu is een PEM nog te duur, maar het lijkt technologisch mogelijk de kosten te reduceren tot onder de \$50/kW [Åhman, 2003]. Een PEM moet gevoed worden met waterstof. Andere brandstoffen (bijvoorbeeld methanol) kunnen worden gebruikt maar moeten eerst intern omgezet worden.
3. Hybride: Elektrische aandrijving gecombineerd met conventionele aandrijving en een kleine accu: dit type auto's is al op de markt. Het probleem van de lage ver-

mogensdichtheid die bij alleen-accu auto's bestaat, geldt hier niet. De accu kan worden opgeladen tijdens het rijden

Åhman [Åhman, 2003] heeft een analyse uitgevoerd van de efficiency van verschillende typen aandrijving. Een overzicht is gegeven in Tabel 4.2.

Tabel 4.2: Voertuigefficiency voor verschillende typen aandrijving [Åhman, 2003]

Type aandrijving	Voertuigefficiency ¹	
	Finaal ¹	Primair ²
Accu / elektrische aandrijving	61%	31%
Hybride	29%	28%
PEM methanol	29%	21%
PEM waterstof	34%	25%
Verbeterde verbrandingsmotor	20%	19%
Huidige verbrandingsmotor	14%	13%

¹ Gedefinieerd als (verbruikte energie bij de wielen) / (totale hoeveelheid energie verbruikt door het voertuig).

² Gelijk aan 1, vermenigvuldigd met de efficiency van de productie van de brandstof

Uit deze tabel blijkt dat de auto die gebruik maakt van een accu verreweg het efficiëntst is als wordt gekeken naar de finale efficiency. Correctie voor de productie van elektriciteit brengt de efficiency meer in lijn met de overige typen.

De andere nieuwe aandrijvingen hebben een rendement van rond de 30%. Interne omzetting van methanol in waterstof in een PEM voertuig scheelt 5%-punten op het rendement. Externe productie van waterstof is efficiënter dan interne.

Geconcludeerd kan worden dat de efficiency van personenwagens door verbetering van de aandrijfsystemen met ongeveer een factor 2 kan worden verbeterd ten opzichte van de huidige wagens.

Gecombineerd met andere maatregelen, vooral het verminderen van de massa's van de auto's, kan een verdere verbetering van de auto worden bereikt. Weizsäcker *et al.* [1998] schat zelfs in dat dit in de toekomst kan leiden tot een auto die 1 liter per 100 km gebruikt. Dat is een verbetering van de efficiency met meer dan 80% ten opzichte van het huidige gemiddelde. Deze inschatting wordt ondersteund door een recente Zwitserse studie [Jochem *et al.*, 2002], die een 75% efficiency verbetering inschat voor personen auto's, en voor stadsauto's zelfs 85%. Een factor 4 verbetering van de energie-efficiency van personenwagens lijkt dus mogelijk.

Bij inzet van fossiele energiedragers (incl. methanol) betekent dit dat ook de CO₂-emissie van personentransport met een factor 4 kan worden gereduceerd. Een factor 4 verbetering van de efficiency vertaalt zich ook een factor 4 reductie van de vraag naar energiedragers. Dus ook als waterstof wordt ingezet, zal de absolute CO₂-reductie van de waterstofproductie dalen. Bij deze centrale productie zijn extra mogelijkheden voor emissiereductie met afvang en opslag van CO₂.

4.3 Overige transportmiddelen

Onder overige transportmiddelen vallen de overige wijzen van persoontransport en vrachtvervoer. Binnen het vrachtvervoer is niet zo een dominante energieverbruiker aan te wijzen als de personenauto's binnen het personenvervoer. We zullen de verschillende vervoerswijzen kort de revue laten passeren.

Voor *bestelwagens, kleine vrachtwagens en bussen* geldt hetzelfde verhaal als voor personenwagens. Verbeterde aandrijving gecombineerd met een serie andere maatregelen kan de efficiency op de lange termijn met een factor 4 verbeteren. Bussen zijn momenteel de driver voor toepassing van nieuwe technologieën, denk aan de aardgasbus en de brandstofcelbus.

Bij *zware trucks* is de brandstof-efficiency al een issue: de aandrijving is al zeer efficiënt, er wordt gebruik gemaakt van spoilers, en meestal worden deze trucks optimaal beladen [Jochem *et al.*, 2002]. Experts verwachten dat de dieselmotor de eerste keus zal blijven, alhoewel incrementele verbeteringen wel mogelijk zijn [Jochem *et al.*, 2002].

Bij het *railtransport* zijn nog een reeks opties mogelijk om de efficiency te verbeteren: terugwinnen remenergie, verbeterd en lichter materieel, betere klimaatbeheersing in passagierstreinen, groene golf voor goederentreinen, verminderen van de mechanische weerstand etc. Daarnaast zijn er nog ontwikkelingen gaande naar nieuwe aandrijvingstechnieken, zoals de magneettrein, en de elektrische infrastructuur².

Bij de scheepsvaart zijn verbeteringen mogelijk door o.a. verbeterde voortstuwing van schepen en reductie van wrijving door self-polishing verf.

Door verschuiving van het ene transportmiddel naar het andere (b.v goederenvervoer over de weg naar binnenvaart) – modal shift – is ook een vermindering van de CO₂-emissie te behalen. Het mogelijke effect van deze modal shift hangt af van verschillende randvoorwaarden en schatten we in het kader van deze studie niet in.

Algemeen kan worden gesteld dat er veel minder onderzoek is gedaan naar energiebesparingen bij overige transportmiddelen dan bij personenwagens. Het potentieel is bij lichtere transportmiddelen is vergelijkbaar naar verwachting vergelijkbaar, terwijl dat bij de zwaardere transportmiddelen waarschijnlijk kleiner is. Een factor 4 verbetering van de energie-efficiency en van de emissie van CO₂ voor overige transportmiddelen ligt daarom

² Verhogen van de spanning naar 25 kV, wat de weerstandverliezen vermindert. Dit gebeurt al op nieuwe trace's, zoals de Betuwelijn. Voor bestaande trace's zou dit hoge kosten met zich meebrengen, omdat zowel het net als het materieel moet worden aangepast.

buiten de mogelijkheden ligt. Eerder moet gedacht worden aan een verbetering met een factor 2-3.

4.4 Conclusies

Er is veel onderzoek verricht naar de verbetering van aandrijfsystemen voor personenwagens. Dit heeft geresulteerd in nieuwe aandrijfsystemen die een factor 2 efficiënter zijn dan bestaande systemen. Gecombineerd met andere maatregelen, zoals massareductie, is een verbetering met een factor 4 van de efficiency van personenwagens mogelijk. Dit geldt ook voor de lichtere transportmiddelen. Bij zwaardere transportmiddelen is niet zo een grote verbetering te verwachten; die zijn al relatief efficiënt. Een verbetering met een factor 2 tot 3 is realistischer.

5 Analyse van scenariostudies

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt voor een aantal scenariostudies waarin de energievraag op de lange termijn wordt geprojecteerd, bekeken of de ontwikkeling van de energie-efficiency is gebaseerd op een bottom-up benadering. Met een bottom-up benadering wordt bedoeld dat het potentieel van verbetering van de energie-efficiency is gebaseerd op concrete technieken. Dit sluit dus aan bij de scope van dit rapport: efficiency verbetering aan de vraagzijde. ECN zal de scenario's evalueren op de vraag hoe de efficiency verbetering aan de aanbodzijde is meegenomen.

5.2 Evaluatie van scenario's

De volgende scenariostudies zijn meegenomen in de analyse:

1. COOL-beelden
2. SRES-scenario's van IPCC
3. WETE-scenario's van de EU
4. Lange termijn energieverkenning van het ministerie van Economische Zaken

Het CPB ontwikkeld momenteel een set scenario's onder de titel "Four Futures for Europe". Deze set is nog niet beschikbaar en kan dus niet worden meegenomen in de analyse.

Per studie is er een korte analyse gemaakt. De resultaten zijn weergegeven in tabellen 5.1 t/m 5.4.

Tabel 5.1: Analyse COOL-beelden³

Benadering	<ul style="list-style-type: none"> • Backcasting exercitities zijn uitgevoerd voor de sectoren: industrie, gebouwde omgeving, verkeer en vervoer en landbouw en voeding in Nederland⁴. • Bij de backcasting exercitie voor de industrie was aandacht voor: biomassa, CO₂ opslag, PV, windenergie, energie-efficiency, waterstof en WKK. Bij de gebouwde omgeving was aandacht voor PV, warmtepompen, micro WKK en passieve zonne-energie. Bij
------------	---

³ Hisschemoller et al (2002), Climate OptiOns for the Long-term (COOL)- Nationale Dialoog, Report nr.: 410 200 116, Dutch National Research Programme on Global Air Pollution and Climate Change, Den Haag.

⁴ Daarnaast zijn binnen hetzelfde project backcasting exercitities uitgevoerd op mondiale en Europese schaal. De veronderstellingen beschreven in dit rapport hebben alleen betrekking op de exercitities uitgevoerd op de schaal van Nederland.

	<p>verkeer en vervoer was aandacht voor brandstofcellen, terugdringen vervoersvraag, collectief transport, shift van vliegtuig naar trein, shift van vrachtwagen naar binnenvaart en ondergronds transport.</p> <ul style="list-style-type: none"> • De doelstelling van de backcasting exercities was het verkennen van mogelijkheden voor het realiseren van een reductie van broeikasgasemissies in de orde van grootte van 50 tot 80% in 2050. Er wordt hiervoor gebruik gemaakt van verschillende toekomstbeelden.
Volumeontwikkeling	<p>Voor de nationale dialoog zijn twee toekomstbeelden opgesteld voor Nederland.</p> <p><i>Veronderstellingen beeld A:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Bevolking in 2050: 16 miljoen • Economische groei: 3% per jaar • Toename vervoer met personenauto's in km: 0,9% per jaar • Afname landbouwgrond: 0,7% per jaar • 80% CO₂ reductie in 2050 ten opzichte van 1990 (= 40 Mton/jaar in 2050) <p><i>Veronderstellingen beeld B:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Bevolking in 2050: 19 miljoen • Economische groei: 2,5% per jaar • Toename vervoer met personenauto's in km: 0,9% per jaar • Afname landbouwgrond: 0,4% per jaar • 80% CO₂-reductie in 2050 ten opzichte van 1990 (= 40 Mton/jaar in 2050)
Technologieontwikkeling	<p><i>Veronderstellingen beeld A (2050):</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Aandeel biomassa in totale energievraag: 40% • Aandeel overige duurzame energiebronnen in totale energievraag: 7% • Aandeel kernenergie in totale energievraag: 4% • CO₂ opslag in de bodem: 50 Mton <p><i>Veronderstellingen beeld B (2050):</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Aandeel biomassa in totale energievraag: 60% • Aandeel overige duurzame energiebronnen in totale energievraag: 9% • Aandeel kernenergie in totale energievraag: 0% • CO₂ opslag in de bodem: 5 Mton
Energiebesparing	<p>Verandering van de energie-intensiteit is 1-1.5% per jaar (historische trend). Aangenomen wordt dat structureffect-</p>

	<p>ten elkaar wereldwijd uitmiddelen. Daarom wordt ook een jaarlijkse 1-1.5% efficiency-verbetering aangenomen.</p> <p>Per sector:</p> <p>Efficiencyverbetering bij de sector energie en industrie is 0.4-1.0 %/jaar afhankelijk van scenario. Bij andere sectoren wordt de efficiencyverbetering niet expliciet genoemd, maar wordt een CO₂-emissiereductie toegekend die moet worden bereikt met efficiencyverbetering. Bij gebouwde omgeving is dit bijvoorbeeld 2-5 Mton per jaar van de 26 Mton die in totaal moet worden bereikt in de gebouwde omgeving.</p>
Beleid	<p>Met behulp van de backcasting exercities wordt bepaald welk beleid nodig is om het toekomstbeeld te realiseren. Met betrekking tot beleid gericht op de vraagkant wordt er onder andere aandacht besteed aan:</p> <p><i>Gebouwde Omgeving:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • isolatie van gebouwen • duurzame energie bij gebouwen • warmtepomp in combinatie met micro WKK <p><i>Industrie & Energie:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • energie-efficiency verbetering • WKK <p><i>Verkeer & Vervoer:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • terugdringen vervoersvraag door gedragsverandering • efficiëntere voertuigen

Tabel 5.2: Analyse WETO-scenario's⁵

Benadering	Het referentiescenario geeft een beschrijving van het toekomstige wereldenergiesysteem op basis van huidige trends en structurele veranderingen.
Volumeontwikkeling	<p><i>Veronderstellingen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • De wereldbevolking zal in 2030 8,2 miljoen bedragen. • De economische groei bedraagt 3.1% per jaar tot 2030.
Technologieontwikkeling	<p><i>Veronderstellingen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Technologische vooruitgang ligt in lijn met recente vooruitgang, zonder grote doorbraken. • Voor de voorraden van olie en aardgas zijn gemiddel-

⁵ European Commission (2003). World energy, technology and climate policy outlook 2030 - WETO -, Directorate-General for Research Energy, report nr. EUR 20366.

	de schattingen aangenomen, incl. technologische vooruitgang in boortechologieën.
Energiebesparing	<p><i>Veronderstelling:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Daling energie-intensiteit: 1,2% per jaar. <p>Deze aanname is gebaseerd op onder andere trends in welvaart en autonome energie-efficiency verbetering. Geen getallen opgenomen over verbetering van de energie-efficiency.</p>
Beleid	Alleen milieubeleid en -maatregelen worden meegenomen waarover een definitief besluit is genomen. Maatregelen in de pijplijn worden niet meegenomen

Tabel 5.3: Analyse IPCC SRES scenario's⁶

Benadering	Er zijn 40 scenario's ontwikkeld met verschillende veronderstellingen met betrekking tot demografische, technologische, economische en sociale factoren.
Volumeontwikkeling	<ul style="list-style-type: none"> • De veronderstelling over de toename van de wereldbevolking varieert per scenario van 8,7 tot 11,3 miljard mensen in 2050. • De veronderstelling over economische groei varieert per scenario van 2,8% tot 3,7% in de periode tot 2050.
Technologieontwikkeling	Veronderstellingen met betrekking tot technologische ontwikkeling en transities verschillen per scenario. Hier is geen algemeen beeld van te geven.
Energiebesparing	De aanname voor de daling van de energie-intensiteit varieert per scenario van 1% tot 2,2% in de periode tot 2050. Deze aanname is gebaseerd op onder andere trends in welvaart en autonome energie-efficiency verbetering. Geen getallen opgenomen over verbetering van de energie-efficiency.
Beleid	Geen specifieke aannames over beleid voor energiebesparing aan de vraagkant gevonden.

Tabel 5.4: LTVE-scenario⁷; Ministerie Economische Zaken

Benadering	In dit scenario zijn vier wereldbeelden ontwikkeld voor het jaar 2050: "Vrijhandel", "Ecologie op kleine schaal", "Isolatie" en "Grote solidariteit".
------------	---

⁶ IPCC (2000). Emission scenarios; Special Report on Emission Scenarios (SRES). Working group III.

⁷ Ministerie van Economische Zaken (2000), Energie en samenleving in 2050; Nederland in wereldbeelden.

Volumeontwikkeling	<p><i>Veronderstellingen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • De veronderstelling over de toename van de wereldbevolking varieert per scenario van 7,7 tot 9,9 miljard mensen in 2050. • De economische groei bedraagt 2 tot 3% per jaar. • Energievraag neemt toe met 1 tot 2% per jaar.
Technologieontwikkeling	Er wordt rekening gehouden met ontwikkelingen op het gebied van duurzame energie, brandstofcellen, hybride auto's en energiezuinig bouwen.
Energiebesparing	<p>De daling van de energie-intensiteit bedraagt: 1 tot 1,5% per jaar. Dit is gebaseerd op:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Trends in bevolkingsgroei en welvaart, • Structuurveranderingen zoals dematerialisatie en verdienstelijking, • Autonome energie-efficiency verbeteringen uit het verleden. <p>Er wordt een kwalitatieve beschouwing gewijd aan de ontwikkeling van de energie-efficiency. Het wordt niet expliciet gemaakt op welke parameters de daling van de energie-intensiteit is gebaseerd.</p>
Beleid	Er worden geen expliciete beleidsaannames gedaan.

5.3 Conclusies

De algemene conclusie is dat in de drie forecasting scenario's (WETO, SRES en LTVE) alleen de ontwikkeling van de energie-intensiteit expliciet wordt gemaakt. Deze ontwikkeling wordt voornamelijk bepaald door historische ontwikkelingen en niet door het bestaande potentieel van nieuwe technieken. Aan de decompositie van de ontwikkeling van de energie-intensiteit in structureffecten en efficiencyverbetering wordt op zijn best een kwalitatieve beschouwing gewijd. Alleen in de COOL-beelden worden getallen gegeven voor de ontwikkeling van de energie-efficiency.

De verbetering van de energie-intensiteit ligt tussen de 1% en 2,2% per jaar in de diverse scenario's. Zoals in de inleiding is uitgelegd wordt de verandering van de energie-intensiteit gevormd door een verandering van de energie-efficiency en structureffecten. Structureffecten zijn veranderingen in de structuur van de economie die gevolg hebben voor het totale energiegebruik, zoals de verschuiving van industrie naar diensten. Het aandeel van het structureffect verschilt naar gelang of de analyse op wereldniveau of nationaal niveau wordt gedaan. Landen in de westerse wereld zullen een daling van de energie-intensiteit laten zien door een verschuiving van industrie naar diensten. Ontwikkelingslanden zullen juist een stijging laten zien door een aantrekkende industrie. Deze stijging houdt aan tot een bepaald welvaartspeil is bereikt. Daarna zal ook een daling inzet-

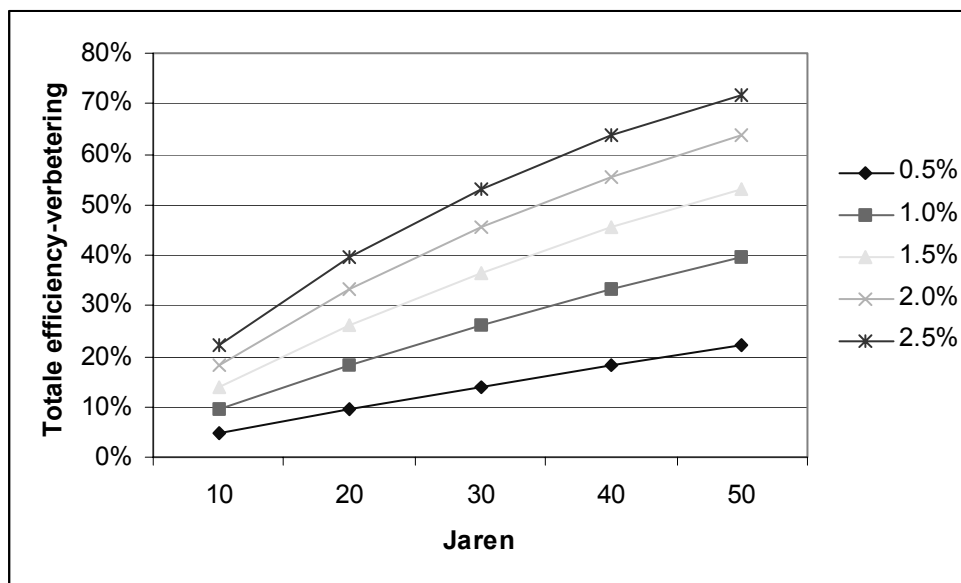
ten. In de COOL-beelden is aangenomen dat wereldwijd de structureffecten elkaar opheffen. Dit lijkt verdedigbaar, maar hangt natuurlijk sterk af van de snelheid waarmee ontwikkelingslanden zich ontwikkelen.

Op nationaal niveau is een afname van de energie-intensiteit door structureffecten te verwachten. CPB ging uit van $-0,3$ tot $-0,6$ % per jaar in 1997, met een waarde van $-0,5$ % per jaar in het middenscenario (EC) [CPB, 1997]. Als we deze waarde aannemen voor het structureffect op langere termijn, dan zou de efficiencyverbetering in de scenario's uitkomen op $0,5$ tot $1,7$ % per jaar. Natuurlijk met de nodige slagen om de arm, want de verbetering van de energie-intensiteit is ook wereldwijd gegeven en niet alleen op Nederlands niveau. Aangezien algemeen wordt aangenomen dat Nederland al efficiënt is, zal de efficiencyverbetering in Nederland volgens deze scenario's eerder kleiner dan groter zijn dan bovenstaande range.

Als we de grenzen van de aannames over efficiencyverbetering onderzoeken, dan ontstaat het volgende beeld. Een efficiencyverbetering van $1,7$ % per jaar die 50 jaar lang wordt volgehouden, geeft een totale efficiencyverbetering van 58 %, zoals in Figuur 5.1 is aangegeven. Een efficiencyverbetering van $0,5$ % per jaar over 50 jaar geeft een totale efficiencyverbetering van 22 %.

In voorgaande hoofdstukken hebben we geconcludeerd dat een technische efficiencyverbetering met een factor 2 in de industrie, een factor 4 in transport en factor 10 in de gebouwde omgeving binnen de mogelijkheden ligt. Deze factoren komen overeen met een jaarlijkse efficiencyverbetering van $1,4$ %, $2,7$ % en $4,5$ % over 50 jaar.

Scenario's zeggen niets over de ultieme mogelijkheden van energie-efficiencyverbetering. Vaak worden in scenario's economische of implementatiepotentiëlen weerspiegeld – al dan niet op basis van historische trends - en niet de technische mogelijkheden zoals in deze studie belicht. De vertaling van technisch potentieel naar implementatiepotentieel is lastig en wordt vaak vermeden in de scenariostudies. Tegenwoordig wordt er steeds meer aandacht besteed aan ex-ante beleidseffectmeting en worden de effecten van het beleid gemonitord. Deze activiteiten kunnen leiden tot bruikbare informatie waarmee meer gezegd kan worden over de implementatie van energiebesparing. Het ontwikkelen van een vertaalslag en het implementeren ervan in de scenario's zou een waardevolle aanvulling zijn op de bestaande studies.



Figuur 5.1: Verloop van de energie-efficiency over de jaren bij een bepaalde vaste efficiencyverbetering per jaar, variërend van 0,5 tot 2,5 % per jaar.

Rest nog de vraag of de scenariostudies ingaan op concrete technologieën. In sommige gevallen, zoals LTVE, worden doorbraaktechnologieën wel genoemd, maar is het niet duidelijk of en hoe ze zijn meegenomen in de vaststelling van de efficiencyverbetering. De COOL-beelden gebruiken de back-casting methode om te bepalen hoe de energievoorziening er in 2050 uit kan zien als er een 80% emissiereductie gehaald moet worden. Hierbij worden wel expliciet gemaakt om welke technologieën het gaat. Naar onze indruk wordt met name gekeken naar de aanbodzijde en krijgt de vraagzijde relatief weinig aandacht.

6 Beleid

6.1 Inleiding

De vragen die gesteld zijn over het beleid voor energie-efficiency zijn de volgende:

- a. welke besparingen (=efficiency verbeteringen) kunnen bij een geëigend beleid tot 2050 jaarlijks en in totaal worden bereikt? (Meer specifieke vraag: geldt het beeld uit de VCE-studie nog: ca 2% per jaar; een factor 4 totaal tussen ca. 1990 en midden 21ste eeuw, waarbij industrie factor 2, transport factor 4, gebouwde omgeving factor 10?);
- b. in hoeverre kan Nederland dit zelfstandig verwezenlijken?
- c. waarom wordt bij het huidige beleid die 2% per jaar bij lange na niet gehaald, ook al is/was het een beleidsdoelstelling?;
- d. welke (nieuwe) instrumenten zijn nodig om die ca. 2% per jaar wel te realiseren?

Aan al deze vragen zal een beschouwing worden gewijd.

6.2 Efficiencyverbetering bij geëigend beleid

Uit de sectoranalyses komt het volgende beeld naar voren over efficiencyverbeteringen aan de vraagzijde die op de lange termijn gerealiseerd kunnen worden op voorwaarde dat de huidige technologievoorraad (auto's, gebouwen, processen) geheel vervangen wordt door nieuwe technologie:

Industrie	Factor 1,5 - 2
Gebouwde omgeving – kantoorgebouwen	Factor 4 – 10
Gebouwde omgeving – woningen	Factor 30
Transport - personen	Factor 4
Transport –goederen	Factor 2 - 4

Noot: bij industrie is een factor 2 verbetering te halen op het vermijdbare deel van het energiegebruik.

Deze factoren voor de verbetering van de energie-efficiency kunnen alleen worden gehaald indien alle barrières overwonnen. Het is een puur een technisch potentieel. Hoe deze barrières de implementatie van – ook rendabele – maatregelen verhinderd of vertragen is onderwerp geweest van vele studies, zowel vanuit een economisch, een sociologisch en psychologisch gezichtspunt. Het valt buiten het bestek van deze studie om een uitgebreide analyse te wijden aan de resultaten van deze studies. We beperken ons daarom tot een korte beschouwing.

In de COOL Nationale Dialoog is er in een aantal dialooggroepen gediscussieerd over barrières en kansen voor het bereiken van een vergaande emissiereductie [Hisschemöller

en Van de Kerkhof, 2001]. In Tabel 6.1 wordt een overzicht gegeven van deze barrières en kansen.

In het algemeen worden de problemen van bestuurlijke aard (zeker voor vraagstukken die een Europese aanpak vragen) en gebrek aan publieke acceptatie als de voornaamste risicofactoren beschouwd. De terugtrekkende overheid en de liberalisering van de energiemarkt lijken zich niet goed te verdragen met de implementatie van een groot aantal klimaatopties. Deze eisen een actieve rol van de overheid op velerlei gebied.

De belangrijkste kansen liggen op het vlak van de technologie ontwikkeling en, eveneens, op het vlak van de publieke acceptatie. Klimaatbeleid in Nederland kan leiden tot meer wooncomfort, minder verkeerslawaai, een aangenamer landschap en zal niet ten koste hoeven gaan van zaken waaraan gehecht wordt, zoals inkomen en mobiliteit.

Tabel 6.1: Gesignaleerde typen barrières en kansen in de COOL Nationale Dialoog [Hisschemöller en Van de Kerkhof, 2001].

• Barrières	• Kansen
<ul style="list-style-type: none"> • Technologieontwikkeling • Gevestigde belangen in sector • Kosten (ten opzichte van andere opties) • Publieke acceptatie (een veelheid aan acceptatieproblemen) • Nationaal overheidsbeleid (interne afstemming en handhaving) • Afstemming en coördinatie binnen EU • Infrastructuur • Ruimtegebruik 	<ul style="list-style-type: none"> • Technologieontwikkeling • Publieke acceptatie / Imago • Aansluiten bij ontwikkelingen in sector • Besparing ruimtegebruik

De barrières voor implementatie van nieuwe technologieën kunnen van velerlei aard zijn. In het verleden is hier onderzoek naar gedaan door onder meer Velthuisen [1995]. Het gaat te ver om daar in deze context op ingegaan, maar in het algemeen kan gesteld worden dat deze barrières afhankelijk zijn van de sector en zeker niet alleen van economisch-rationele aard zijn. Ook andere afwegingen, zoals gebruikersgemak, interesse en imago, spelen een rol.

Aangezien het zeer onwaarschijnlijk is dat alle barrières worden geslecht, is het niet mogelijk beleid te ontwikkelen dat de bovenstaande efficiencyverbeteringen kan bereiken. Efficiencyverbetering kan wel een grote bijdrage leveren aan het verminderen van de CO₂-emissie veroorzaakt door het gebruik van energie. In combinatie met andere vormen van klimaatbeleid, zoals veranderingen in het energieaanbod, afvang en opslag van CO₂ en beïnvloeding van het gedrag van consumenten, lijken bovengenoemde factoren binnen bereik te liggen.

Verderop zullen we ingaan op een aantal nieuwe beleidsinstrumenten die kunnen worden ingezet om de verbetering van de energie-efficiency van de vraagzijde te bevorderen.

6.3 Effect van nationaal beleid

Op het gebied van energie-innovatie zal de rol van Nederland een beperkte zijn. Het internationale karakter van zowel veel energiegebruikende sectoren als van sectoren die apparaten produceren, legt beperkingen op aan de mogelijkheden van een klein land. De ontwerp-constitutie van de Europese Unie legt dan ook terecht een zeker primaat voor het energiebeleid bij de Unie. De schaal van de Europese Unie is in veel gevallen beter geschikt om energie-innovatiebeleid te voeren.

Dat wil niet zeggen dat Nederland geen rol van betekenis kan spelen.

- Om te beginnen zijn er sectoren waar Nederland een heel sterke positie in heeft en waar een Nederlandse inspanning er zeker toe zal doen, bijv. de glastuinbouw, de zuivelindustrie en mogelijk ook de petrochemie en het slooptransport. Het ligt voor de hand om hier internationaal een zekere ‘burden sharing’ over af te spreken. Met ‘burden sharing’ wordt in deze context bedoeld het verdelen van de inspanning van technologieontwikkeling over verschillende landen, bijvoorbeeld per sector of technologiegebied.
- Er zijn sectoren die nog een sterk nationaal karakter hebben en waar elk land hoe dan ook zijn eigen rol zal moeten spelen. Dit speelt met name voor de bouw.
- Het ligt voor de hand dat Nederland op allerlei terreinen een redelijke bijdrage levert in de verschillende fasen van het energie-innovatieproces. Hierbij kan men natuurlijk ten eerste denken aan de energie-onderzoeksinfrastructuur, maar ook aan specifieke activiteiten, bijv. op het gebied van ‘technology procurement’.

En, last but not least, is ook een actieve rol bij de vormgeving van het Europese beleid, de adequate implementatie van de Europese richtlijnen, en een actieve rol in het streven naar internationale harmonisatie van belang.

6.4 Terugblik op beleid van de afgelopen tien jaar

Geruime tijd was de doelstelling van het Nederlandse energiebeleid om een energie-efficiencyverbetering van ca. 2% per jaar te realiseren. Deze doelstelling is sinds 1990 niet gehaald. Nu is de doelstelling teruggebracht tot 1,3% per jaar.

Dat wil niet zeggen dat er geen succesvol energiebesparingsbeleid is gevoerd. Bepaalde instrumenten hebben zeker hun effect gehad, bijv. de meerjarenafspraken energiebesparing in de jaren negentig, het milieu-actieprogramma van de energiedistributiebedrijven, de energieprestatienormering voor de nieuwbouw, de regulerende energiebelasting, de Europese afspraak over de CO₂-uitstoot van personenauto's en ook traditionele investeringssubsidies, zoals de EIA/EINP en de energiepremieregeling waren succesvol.

Het beleid heeft echter ook zijn beperkingen.

In de eerste plaats is het niet veelomvattend genoeg. Het beleid richt zich toch vooral op sectoren die relatief eenvoudig te benaderen zijn door hun uniformiteit en/of het kleine aantal relevante spelers. De nadruk ligt daarbij op sectoren en productgroepen zoals:

- de nieuwbouw

- de energie-intensieve industrie
- de grote elektrische apparaten
- de personenauto.

Andere sectoren krijgen minder of geen aandacht, zoals:

- de bestaande bouw
- de lichte industrie en de dienstensector (waaronder veel MKB)
- de kleine elektrische apparaten
- het vrachttransport.

Willen vergaande energiebesparingsdoelstellingen gehaald worden dan is het noodzakelijk dat het beleid een veel groter deel van de energiegebruikende sectoren/productgroepen beslaat.

In de tweede plaats volgt het beleid niet altijd voldoende de dynamiek van technologische ontwikkelingen: energieprestatie-eisen worden vaak niet snel genoeg aangescherpt, investeringssubsidies worden vaak te lang gegeven voor producten die al de standaard zijn, en convenanten worden niet kritisch genoeg uitonderhandeld. Bij het ontwikkelen van beleid zou er meer aandacht moeten worden besteed aan de meest recente ontwikkelingen op technisch gebied.

Dezelfde beperkingen van brede marktadoptie van technologie zijn ook op het energie-innovatiebeleid van toepassing. Het energie-innovatiebeleid ontbeert daarnaast meestal een concrete doelstelling. Het is vooral gericht op stimulering van innovaties.

6.5 Nieuwe instrumenten

Deze paragraaf bevat een aantal suggesties voor vernieuwing van het instrumentarium voor energie-innovatie.

Het klassieke middel dat de overheid toepast om de ontwikkeling van nieuwe technologie te bevorderen is het subsidiëren van onderzoek en ontwikkeling, al dan niet in eigen onderzoeksinstituten. Nu is de stimulering van R&D niet onbelangrijk. Zo werd in een studie voor de Verenigde Staten een correlatie gevonden tussen de omvang van de fondsen voor R&D en het aantal patenten in de energiesectoren [Margolis en Kamman, 1999]. Het subsidiëren van R&D heeft echter ook zijn beperkingen. Zo kunnen er aanzienlijke free-rider effecten optreden en zijn R&D-subsidies eerder marktvolgend dan dat ze marktsturend zijn [Luiten, 2001].

Tenslotte moet opgemerkt worden dat innovatie meer is dan alleen onderzoek en ontwikkeling.

Ten behoeve van het overzicht wordt het innovatietraject opgedeeld in drie fasen (in de praktijk zullen de fasen elkaar veelal overlappen):

- inventie/exploratie: de conceptie van een nieuw idee, beperkte experimenten, proof of concept; i.h.a. is de technologie nog weinig bekend

- technologie-ontwikkeling: er wordt op grotere schaal, systematisch en meestal in meerdere consortia aan de ontwikkeling van de technologie gewerkt; pilot-experimenten
- marktintroductie: de eerste commerciële toepassingen, tot een marktaandeel van ca. 5%

De opsomming hieronder gaat er impliciet van uit dat er geen ‘one-size-fits-all’ is: er is niet één instrument dat voor alle sectoren en alle fases van het innovatietraject toepasbaar is.

Tevens gaan we er van uit dat de ‘grote’ instrumenten gericht op de adoptie van reeds op de markt gebrachte technologie, zoals energieheffingen, investeringssubsidies, emissiehandel, energiebesparingsconvenanten en energie-efficiëntie-eisen, slechts weinig invloed zullen hebben op het energie-innovatieproces. De lead-times voor technologische ontwikkeling zijn vaak te lang om zo’n doorwerking te genereren. Wel is het mogelijk deze instrumenten zodanig aan te passen dat ze specifiek aangrijpen op energie-innovatie (zie als voorbeeld hieronder de technologie-ontwikkelingsafspraken, de technology-forcing standards en de aanschaf-energieheffing).

6.5.1 Inventiefase

- Focus op verbetering van energiefuncties. Er is heel veel technologie-onderzoek in Nederland, o.a. bij de grote technologische instituten (GTI’s). Voor een aanzienlijk deel is dit georganiseerd rond technologische thema’s, zoals keramiek of membranen. Het organiseren van dit onderzoek rond energiefuncties, gericht op het vinden van concrete doorbraken kan de effectiviteit sterk vergroten.
- Stimulering succesvolle innovatoren. In de beoordeling van wetenschappelijke onderzoeksvoorstellen is het gebruikelijk om het track record van de onderzoekers bij de beoordeling te betrekken. Een vergelijkbaar systeem zou gevolgd kunnen worden om de technologie-ontwikkeling op energiegebied te stimuleren. Geef personen of onderzoeksgroepen (van onderzoeksinstituten, bedrijfsleven) die succesvol zijn geweest op het gebied van energie-innovatie extra middelen voor nieuwe innovatieprojecten.
- Competities. Bij een competitie wordt instituten gevraagd om oplossingen aan te dragen voor een concreet probleem (bijv. een bepaalde efficiëntieverbetering of een gegeven kostprijsreductie). Zo’n competitie kan in een aantal fases verlopen waarbij eerst een groot aantal partijen uitgenodigd worden, die via beauty contest in één of meerdere stappen worden uitgeselecteerd, waarbij toenemende ontwikkelingsbudgetten beschikbaar worden gesteld.

6.5.2 Technologieontwikkelingsfase

- Technologie-ontwikkelingsconvenanten. Bij een technologie-ontwikkelingsconvenant maken overheid en bedrijfsleven de afspraak om gezamenlijk aan een concreet technologisch doel te werken. Een voorbeeld is het Partnership for a

New Generation of Vehicles. Dit is een afspraak, in 1994 gemaakt tussen de overheid van de VS en de auto-industrie om te gaan werken aan een prototype-auto in het jaar 2004 die 3 maal efficiënter zou zijn dan de toen gangbare auto; daarnaast werden andere targets geformuleerd, zoals verbetering van de concurrentiekracht van de VS. Zowel de R&D-capaciteit van de federale overheid als die van het bedrijfsleven werd ingezet [PNGV, 1994]⁸.

Voor Nederland zou dit type afspraken bijv. zinvol kunnen zijn voor de glastuinbouw, de zuivelindustrie of de woningbouw. Voor de meeste sectoren, bijvoorbeeld in de industrie, ligt het meer voor de hand om dit type afspraken op het niveau van de Europese Unie te maken.

- **Technology-forcing standards.** Bij een technology-forcing standard stelt de overheid een norm op die pas over langere tijd (bijv. over tien jaar) geldig wordt. De industrie kan in het algemeen nog niet aan de norm voldoen en is gedwongen om nieuwe technologie te ontwikkelen. Een bekend voorbeeld van een technology-forcing standard is de Californische eis om een bepaald percentage zero-emission vehicles op de markt te krijgen [Van der Grijp e.a., 1994]. Technology-forcing standards zullen in het algemeen alleen op het niveau van de Europese Unie geïntroduceerd kunnen worden.

6.5.3 Marktintroductiefase

- **Technology procurement.** Bij technology-procurement stelt een grote inkoper van apparatuur (of een groep inkopers) ambitieuze eisen aan de energie-efficiëntie van apparatuur. Indien de inkoper/inkopers een voldoende groot aandeel in de afzet van een bepaald product heeft/hebben zal dit de aanbieders er toe bewegen om de efficiënte apparatuur te ontwikkelen of op de markt te brengen. In Zweden is dit instrument toegepast op een aantal apparaten, waaronder de warmtepomp. Door een technology procurement benadering lukte het om warmtepompen 30% efficiënter en 30% goedkoper te krijgen [Suvilehto en Öfverholm, z.j.].
- **Gold Standard for energy efficiency.** Een reguliere energie-efficiëntie-standaard heeft als functie om de minst efficiënte apparatuur van de markt te weren. Een Gold-Standard heeft als functie om de aanschaf van de allerbeste apparatuur op de markt te stimuleren. Beschikbaarheid van een Gold Standard maakt het overheden en bedrijven mogelijk (de laatste bijvoorbeeld in het kader van het streven naar maatschappelijk verantwoord ondernemen) om uitsluitend producten aan te schaffen die aan die kwalificatie voldoen.
- **Incremental standard-setting.** Bij incremental standard-setting wordt een norm regulier elke paar jaar aangescherpt. Bedrijven worden daardoor gedwongen om steeds de nieuwste technologie in te zetten. Incremental standards kunnen op verschillende manieren worden bepaald, bijv. via een top-runner benadering, tech-

⁸ PNGV heeft geleid tot de ontwikkeling van concept-cars in 2000 door DaimlerChrysler, Ford en General Motors. Daarna is PNGV onder de president G.W. Bush gestopt en vervangen door het FreedomCar programma, meer gericht op de lange termijn.

nisch-economische analyse of door een vastgesteld percentage energie-efficiëntieverbetering per jaar [IEA, 2003; Blok, 2003].

- **Marktintroductiesubsidies.** Hoewel subsidies nadelen hebben (beperkte effectiviteit, relatief hoge kosten voor de overheid), kunnen ze met name in de eerste fase van de marktintroductie heel effectief zijn. Een voorbeeld hiervan is de energiepremieregeling die in Nederland in het jaar 2000 werd ingevoerd. Deze regeling gold onder andere voor koelkasten en vriezers met een A-label. De invoering van deze subsidieregeling leidde ertoe dat in Nederland binnen korte tijd het complete aanbod in de winkels verschoof naar A-label apparatuur. Marktintroductiesubsidies zouden breed toegepast kunnen worden, waarbij het met name belangrijk is de subsidies niet te lang (free-rider effecten) of niet te kort (gebrekkige stimulering) te laten duren.
- **Aanschaf-energieheffing.** Het omgekeerde van een marktintroductiesubsidie is een aanschaf-energieheffing. In het algemeen zijn energieheffingen niet heel effectief door de lage prijselasticiteit. Een energieheffing kan veel effectiever worden door te heffen op het moment dat een beslissing wordt genomen (bijv. om een apparaat aan te schaffen). Een elegante vorm van aanschaf-energieheffing is die waarbij de heffing gelijk is aan de netto-contante waarde van de energieheffing die over de levensduur van het apparaat verplicht zou zijn.
- **Demonstratieregelingen.** Voor grootschalige industriële apparatuur geldt dat de laatste stap in het opschalingsproces (commercial scale of near-commercial scale) een relatief dure en risicovolle is. Het gebeurt regelmatig dat een nieuwe technologie juist op dit punt blijft steken, zie bijv. [Luiten, 2001]. Het blijft dan ook noodzakelijk en zinvol voor overheden om demonstratieprojecten te ondersteunen.

6.5.4 Slot

Zoals uit dit overzicht blijkt is er een diversiteit aan instrumenten om energie-innovaties te bevorderen. Afhankelijk van de sector, de fase waarin technologieontwikkeling zich binnen de sector bevindt en de relatie tussen de sector en de overheid kunnen bepaalde instrumenten ingezet worden.

De inzet van deze overheid vergt in het algemeen de inzet van financiële middelen door de overheid. De middelen zijn echter niet primair, zoals bij veel R&D-subsidies het geval is, maar volgen het geselecteerde instrument, met zijn totaalpakket aan overheidsinzet en de bijbehorende doelstellingen.

7 Conclusies

Op basis van de snelle inventarisatie van mogelijkheden ter verbetering van de energie-efficiency van de finale vraag, kunnen we vaststellen dat het potentieel van deze verbetering op de lange termijn van 60-90%, zoals is vastgesteld in de VCE-rapportage, nog steeds bestaat. Tegenwoordig formuleren we dit echter liever niet meer als eindige percentages, maar als een efficiencyverbetering per jaar. Hiermee wordt beter uitgedrukt dat de technologie zich ontwikkeld, waardoor zich telkens nieuwe verbetermogelijkheden aanbieden.

Opvallend is dat sinds eind jaren 90 er zeer weinig nieuwe studies zijn geweest die uitgebreid onderzoek doen naar de mogelijkheden van doorbraaktechnologieën die bijdragen aan de verbetering van de efficiency van de finale vraag naar energie, met name in de industrie. Onderzoeken die wel zijn uitgevoerd baseren zich meestal op eerdere onderzoeken, wat resulteert in een herhaling van hetzelfde lijstje technologieën.

Het overzicht van lange-termijn technieken is nagenoeg gelijk gebleven ten opzichte van 5 jaar geleden. In Nederland is in de jaren negentig de Syrene studie uitgevoerd, in de VS de PCAST-studie, de Europese Commissie financierde onderzoek naar energie R&D, in Californië was de Energy Commission actief op dit gebied. Geconcludeerd kan worden dat de actuele kennis over energie-efficiency verbetering op de lange termijn afneemt. Dit geldt niet alleen voor Nederland, maar ook internationaal. Het verdient aanbeveling dergelijk onderzoek regelmatig uit te voeren om een goed overzicht te behouden van de technologische ontwikkelingen

In de gebouwde omgeving is het mogelijk de warmtevraag nagenoeg tot nul te reduceren; de vraag naar elektriciteit zal blijven bestaan. Dit kan worden bereikt door geleidelijke verbeteringen. Doorbraaktechnologieën zullen meer een rol spelen bij het energieaanbod, bijvoorbeeld brandstofcellen of micro-WKK. Het is zaak een optimale afstemming te vinden tussen aanbod en vraag naar warmte, waarbij wordt geoptimaliseerd naar kosten en energievraag.

In de Nederlandse industrie is de afgelopen decennia veel bereikt door geleidelijke efficiencyverbeteringen. Er zijn ook voorbeelden van radicale aanpassingen, zoals de bandgietinstallatie bij Corus, de sluiting van de kwikelektrolyse bij Akzo (gepland), en de aanpassingen bij de raffinaderijen, die hebben geleid tot een reductie van het energiegebruik. Al deze aanpassingen zijn aangezwengeld door andere motieven dan energiebesparing, zoals productkwaliteit en veiligheid (chloortrein). De investeringen die gemoeid zijn met deze aanpassingen zijn erg hoog. De concernleiding maakt een weloverwogen beslissing of en waar de investering wordt gedaan. Aangezien veel van oorsprong Nederlandse bedrijven nu onderdeel zijn van internationale concerns, is het niet vanzelfsprekend dat de

investering in Nederland plaatsvindt. Energiebeleid in de industrie wordt dan ook steeds meer investeringsbeleid: zorg dat de omstandigheden gunstig zijn voor het moederconcern om de Nederlandse bedrijven te moderniseren of om in Nederland een nieuwe fabriek neer te zetten.

In de transportsector zijn internationale ontwikkelingen gaande die de efficiency van het transport, zowel van personen als van goederen, sterk verbeteren. Doorbraaktechnologieën, zoals brandstofcelauto's en auto's met een hybride aandrijving, zullen hierbij een grote rol spelen.

Uit de analyse van een viertal scenario's is gebleken dat efficiencyverbetering aan de vraagkant vaak gebaseerd is op historische ontwikkelingen en niet op de technologische mogelijkheden. Deze scenario's onderbelichten daardoor deze mogelijkheden. Hierdoor ontstaat er door toepassing van de scenariomethodiek een grote nadruk op de aanpassingen aan de energie-infrastructuur, zonder dat vraagreductie goed wordt beschouwd. Alleen uitgaan van het technisch potentieel zou echter weer een overschatting van de mogelijkheden geven. Het modelleren van het implementatiepotentieel – op basis van te verwachten effecten van beleid – zou een waardevolle aanvulling kunnen vormen op bestaande scenariostudies. Met de huidige activiteiten van beleidseffectmeting wordt wellicht voldoende informatie opgedaan om deze modellen op te baseren.

Het huidige beleid dat gericht is op verbetering van de energie-efficiency is tekort geschoten door een gebrek aan breedheid en dynamiek. Toekomstig beleid dat gericht is op de ontwikkeling en toepassing van nieuwe energie-efficiënte technologieën moet zo worden ingericht dat alle fasen worden bereikt:

- inventiefase om er voor te zorgen dat het potentieel voor efficiencyverbetering zich blijft vernieuwen
- ontwikkelingsfase om een idee om te zetten in een marktrijp product
- implementatiefase om de marktbarrières weg te nemen.

Voor elke fase doen we een voorstel voor een aantal instrumenten, die deels nieuw zijn en deels al bewezen. Per sector moet worden bekeken welke combinatie van instrumenten het meest geschikt is.

Referenties

- ACEA (1998) Environmental Agreement with the European Automobile Association on the Reduction of CO₂-Emissions from Passenger Cars, Commission Staff Working Paper, SEC(1998)1047, Commission of the European Communities, Brussels.
- Åhman, M. (2003) Cars in Transition – An Assessment of Future Vehicle Technologies, Thesis, Environmental and Energy System Studies, Lund University.
- Beer, J. de (1998) Potential for industrial energy-efficiency improvement in the long term, PhD-thesis, Utrecht University.
- Beer, J. de, M.T. van Wees, E. Worrel en K. Blok (1994) ICARUS-3, Sectie Natuurwetenschap en Samenleving, Universiteit Utrecht.
- Blok, K. (2003), Enhanced policies for the improvement of electricity efficiencies, Ecofys, Utrecht.
- Blok, K., J. de Beer en C. Geuzendam (1996) Nederlandse R&D-opties voor verbetering van de energy-efficiency, in: Verkenning Energie-onderzoek Achtergrondstudies, OCV, Amsterdam.
- CBS (2003), Nationale Energiehuishouding, Centraal Bureau voor de Statistiek, Voorburg.
- CPB (1997) Economie en fysieke omgeving, Sdu Uitgevers, Den Haag.
- DACES 2050 (2001) Database clean energy-supply 2050, final report, Utrecht Centrum voor Energie-onderzoek, Utrecht.
- Dairy (2000) Opportunities for Membrane Filtration of Milk, Innovations in Dairy, Dairy Industry Technology Review, January 2000.
- Grijp, N.M. van der, F.P.M. Leek, A.A. Olsthoorn, F.H. Oosterhuis, H. Verbruggen, D. Rozing, H. Simons en H.M.J. Versteeg (1994), Voortschrijdende normstelling en de ontwikkeling en toepassing van milieutechnologie, Instituut voor Milieuvraagstukken, Vrije Universiteit, Amsterdam.
- Hirschmøller, M. en M. van de Kerkhof (red.) (2001) Climate options for the long term – Nationale Dialoog, deel b, eindrapport, <http://www.wau.nl/cool/reports/COOLVolumeBdef.pdf>.
- Icarus 4 (2001) A database of energy-efficiency measures for the Netherlands, 1995-2020, Sectie Natuurwetenschap en Samenleving, Universiteit Utrecht.
- IEA (2003), Cool Appliances: Policy Strategies for Energy-efficient Homes, Internationaal Energie-agentschap, Parijs.
- Innovations in Dairy (2000) Opportunities for membrane filtration of milk, Dairy Industry Technology Review, January 2000.
- Jochem *et al.* (2002) Steps towards a 2000 Watt-Society – Developing a White Paper on Research and Development of Energy-Efficient Technologies, Pre-Study, Novatlantis, Zürich.
- Luiten, E.E.M. (2001), Beyond energy efficiency, Proefschrift, Universiteit Utrecht

- Margolis, R.M. and D.M. Kammen (1999), Evidence of under-investment in energy R&D in the United States and the impact of Federal policy, *Energy Policy* **27** pp.575-584.
- Marx, P. (2003), Akzo Nobel reorganiseert chloorproductie Delfzijl, *Technisch Weekblad*, 8 augustus 2003, p5.
- National Academy of Sciences (2001), Review of the Research Program of the Partnership for a New Generation of Vehicles – Seventh Report, National Academy Press, Washington, D.C.
- PNGV (1994), Partnership for a New Generation of Vehicles – Program Plan, U.S. Department of Commerce, Washington D.C.
- Productschap voor de zuivel (2003) Statisch Jaaroverzicht 2002, www.prodzuiverl.nl.
- Suvilehto, H.M. en E. Öfverholm (z.j.), Swedish Procurement and Market Activities – Different Design Solutions on Different Markets, EM – The Swedish National Energy Administration, Stockholm.
- VNP (2003), Energieverbruik in de Nederlandse papier- en kartonindustrie, Vereniging van Nederlandse papier- en kartonfabrieken, Hoofddorp.
- VNP (2003b), Annual report Netherlands' Paper and Board Association, Hoofddorp.
- Velthuisen, J.W. (1995) Determinants of investment in energy conservation, proefschrift, Rijksuniversiteit Groningen.
- Voorter (2002) Meer aluminium, minder broeikasgassen, *Chemisch2weekblad* 22, 23 november, p 16.
- Weizsäcker, E. von, A.B. Lovins, L.H. Lovins (1998) Factor Four, Earthscan, London.