



Energy research Centre of the Netherlands

# **Analyse energiegebruik en CO<sub>2</sub>-emissies voor het Transitieactieplan**

## **Achtergrondrapport**

**H. Jeeninga**

**M.E. Ros**

**C.H. Volkers**

ECN-C--06-027  
ECN-RX--06-065

Mei 2006

## **Verantwoording**

Deze achtergrondstudie is uitgevoerd in het kader van een raamcontract met de Interdepartementale Projectdirectie Energietransitie (IPE) en staat bij ECN geregistreerd onder projectnummer 7.7761.

## **Abstract**

This background document contains an analysis of the impacts of energy transition pathways as identified and worked out by the Dutch Transition Platforms on the development of energy use and CO<sub>2</sub> emissions for the period up to 2050. ECN was asked to estimate the overall impacts, correction for duplications. The ambitions of the various Transition Platforms served as basis for this analysis. No judgement was made whether the ambitions of the Transition Platforms are achievable or not.

## Inhoud

Lijst van tabellen	4
Lijst van figuren	4
Samenvatting	5
1. Inleiding	6
2. Ontwikkeling CO <sub>2</sub> -emissies, energievraag en primair verbruik	7
2.1 Scenario's en het basispad	7
2.2 Interpretatie van de resultaten	7
2.3 Ontwikkeling van het verbruikssaldo	7
2.4 Energiedragers voor elektriciteitsproductie	8
2.5 Ontwikkeling van de CO <sub>2</sub> -emissies per sector	9
3. Voorzieningszekerheid	11
3.1 Verkeer en vervoer	12
3.2 Energiesector	12
4. Karakterisering van de emissiereductie	13
5. Versnellen van het implementatietempo van innovaties	15
5.1 Omvang van de markt	15
5.2 Beschikbaarheid van de technologie - aantal aanbieders	15
5.3 Doordringen van leereffecten	15
6. Berekening van het verloop van de emissiereductie en energiebesparing	17
7. Bijdrage van besparing, duurzaam en schoon fossiel	19
8. Discussie en conclusies	21
Referenties	22
Bijlage A Marges	23

## Lijst van tabellen

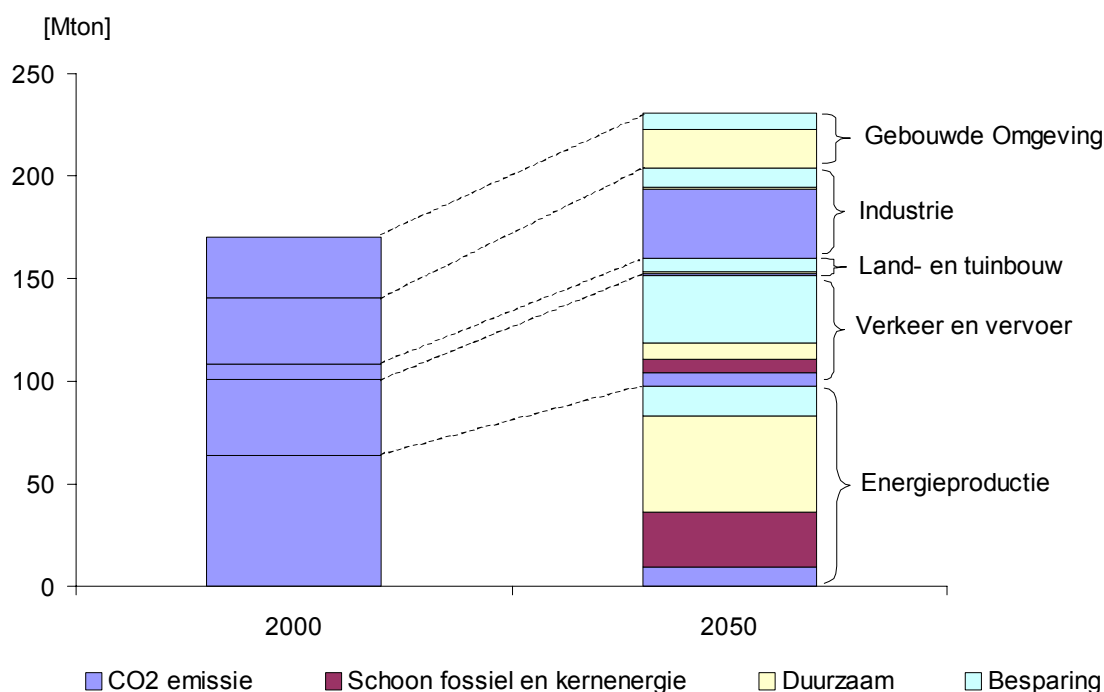
Tabel 6.1	<i>Ontwikkeling van de emissiereductie van de portfolio van transitiepaden</i>	17
Tabel 6.2	<i>Ontwikkeling van de besparing op het finale verbruik van de portfolio van transitiepaden (derhalve exclusief het effect van duurzaam en schoon fossiel)</i>	18
Tabel 6.3	<i>Ontwikkeling van de besparing op het verbruik van fossiele energiedragers van de portfolio van transitiepaden (inclusief het effect van duurzaam en schoon fossiel)</i>	18
Tabel 7.1	<i>Bijdrage van besparing, inzet van duurzame bronnen en schoon fossiel en kernenergie aan de reductie van de CO<sub>2</sub>-emissies in 2050 alsmede de platforms waarvan de transitiepaden een bijdrage leveren binnen de betreffende sector (in willekeurige volgorde)</i>	20
Tabel A.1	<i>Marge in het verbruikssaldo per sector en energiedrager in 2050 (zie ook Figuur 2.1)</i>	23
Tabel A.2	<i>Marge in de inzet per energiedrager (zie ook Figuur 2.2)</i>	23
Tabel A.3	<i>Negatieve en positieve marge in de CO<sub>2</sub>-emissie (Mton) per sector (zie ook Figuur 2.3)</i>	23

## Lijst van figuren

Figuur S.1	<i>CO<sub>2</sub>-emissie in 2000 en CO<sub>2</sub>-reductie per sector en resterende emissies voor 2050</i>	5
Figuur 2.1	<i>Ontwikkeling van het verbruikssaldo per sector (temperatuurgecorrigeerd, inclusief het non-energetisch verbruik (basis: WLO-scenario's 2004)</i>	8
Figuur 2.2	<i>Ontwikkeling van de inzet van energiedragers voor de productie van elektriciteit (temperatuurgecorrigeerd)</i>	9
Figuur 2.3	<i>Ontwikkeling van CO<sub>2</sub>-emissie per sector in het referentiepad (temperatuurgecorrigeerd inclusief non-energetische verbruik)</i>	10
Figuur 3.1	<i>Inzet van fossiele energiedragers en duurzame energie in het referentiepad en na impact van de transitiepaden in 2050</i>	11
Figuur 4.1	<i>Onderverdeling van de CO<sub>2</sub>-reductie naar besparing, duurzaam en schoon fossiel en kernenergie</i>	13
Figuur 4.2	<i>CO<sub>2</sub>-emissie in 2000 en CO<sub>2</sub>-reductie per sector en resterende emissies voor 2050</i>	14
Figuur 7.1	<i>Bijdrage van besparing, duurzaam en schoon fossiel en kernenergie aan de reductie van de CO<sub>2</sub>-emissies in 2050</i>	19

## Samenvatting

In opdracht van de Interdepartementale Projectdirectie Energietransitie (IPE) is door ECN een analyse gemaakt van het effect van het portfolio van de binnen de Transitieplatforms onderscheiden transitiepaden op de ontwikkeling van het energiegebruik en de hieraan gekoppelde CO<sub>2</sub>-emissies. De emissies in het basispad nemen in de periode 2000 tot 2050 toe van 170 Mton in 2000 tot 160-310 Mton in 2050. Het totale effect van het portfolio aan transitiepaden ligt voor 2050 tussen de 125-250 Mton. De resterende CO<sub>2</sub>-emissie in 2050 is bepaald op 40-90 Mton, zie ook Figuur S.1. Via het portfolio aan transitiepaden is derhalve in principe zeer sterke reductie van de CO<sub>2</sub>-emissies te behalen. Opgemerkt dient te worden dat de aannames gemaakt door de Transitieplatforms als uitgangspunt dienden voor de bepaling van het totale effect op het energieverbruik en CO<sub>2</sub>-emissies. De plausibiliteit van de door de Transitieplatforms gemaakte aannames is buiten beschouwing gebleven.



Figuur S.1 CO<sub>2</sub>-emissie in 2000 en CO<sub>2</sub>-reductie per sector en resterende emissies voor 2050

Bij het bepalen van de effecten van het portfolio aan transitiepaden is een onderscheid gemaakt naar energiebesparing, inzet van duurzame bronnen en de bijdrage van schoon fossiel en kernenergie. De CO<sub>2</sub>-reductie door de inzet van duurzame bronnen, met name windenergie en biomassa, bedraagt circa 75 Mton. Via energiebesparing wordt een vergelijkbare emissiereductie bereikt. De reductie door inzet van schoon fossiel en kernenergie is minder dan de helft van de reductie door duurzame energie.

Er bestaat de nodige overlap tussen de verschillende transitiepaden. De overlap betekent niet dat deze paden minder relevant zijn, maar impliceert dat er op meerdere fronten samengewerkt moet worden om de ambitie integraal (over de gehele keten) te verwezenlijken. Aanbevolen wordt om de bijdrage van besparing aan het bereiken van de emissiereductiedoelstelling meer expliciet te formuleren.

## 1. Inleiding

Op verzoek van de Interdepartementale Projectdirectie Energietransitie (IPE) heeft ECN een analyse uitgevoerd naar het verwachte effect van de door de Transitie Platforms onderscheiden transitiepaden. Dit achtergronddocument is in de basis een bundeling van de interne notities die geschreven zijn voor IPE en SenterNovem. De structuur van dit achtergrondrapport is met name bepaald door de aard en volgorde van de aan ECN gestelde vragen. Gekozen is voor het (vrijwel) één op één overnemen van de tekst van de eerder verschenen (interne) notities.

De eerste bijdrage van ECN, voorkomende uit een overleg op 15 februari 2006, richtte zich op de volgende vraagstukken:

1. Ontwikkeling van een referentiepad (CO<sub>2</sub>-emissies, finale vraag en primair verbruik) en bepalen van het effect van de transitiepaden op het referentieverbruik.
2. Bepalen van de effecten op de voorzieningszekerheid.
3. Grafische weergave van het effect van de transitiepaden, opsplitsing in o.a. besparing, duurzaam en hernieuwbaar.
4. Korte notitie ten aanzien van de mogelijkheden voor het versnellen van het implementatietempo van innovaties.

Het beantwoorden van deze vragen heeft geleid tot een tweetal vervolgvragen (n.a.v. overleg op 10 maart 2006 van de TFE):

5. Weergeven in tabelvorm van het verloop in de tijd van de effecten op het energieverbruik en de resulterende emissiereductie voor de portfolio van transitiepaden.
6. Bepalen van het effect per sector voor de portfolio van transitiepaden, waarbij een onderscheid gemaakt moet worden naar besparing, duurzaam en schoon fossiel en kernenergie.

### *Leeswijzer*

In Hoofdstuk 2 is de ontwikkeling in het referentiepad beschreven. Hoofdstuk 3 gaat in op de effecten op de voorzieningszekerheid, de emissiereductie van de portfolio van transitiepaden is gegeven in Hoofdstuk 4. Hoofdstuk 5 gaat kort in op een aantal overwegingen ten aanzien van het versnellen van het innovatietempo door te proberen de implementatie van specifieke opties naar voren te halen. In Hoofdstuk 6 is het verloop van de energiebesparing en emissiereductie in de tijd beschreven en in Hoofdstuk 7 wordt een opsplitsing gemaakt naar de bijdragen van duurzaam, besparing en schoon fossiel en nucleair.

## 2. Ontwikkeling CO<sub>2</sub>-emissies, energievraag en primair verbruik

### 2.1 Scenario's en het basispad

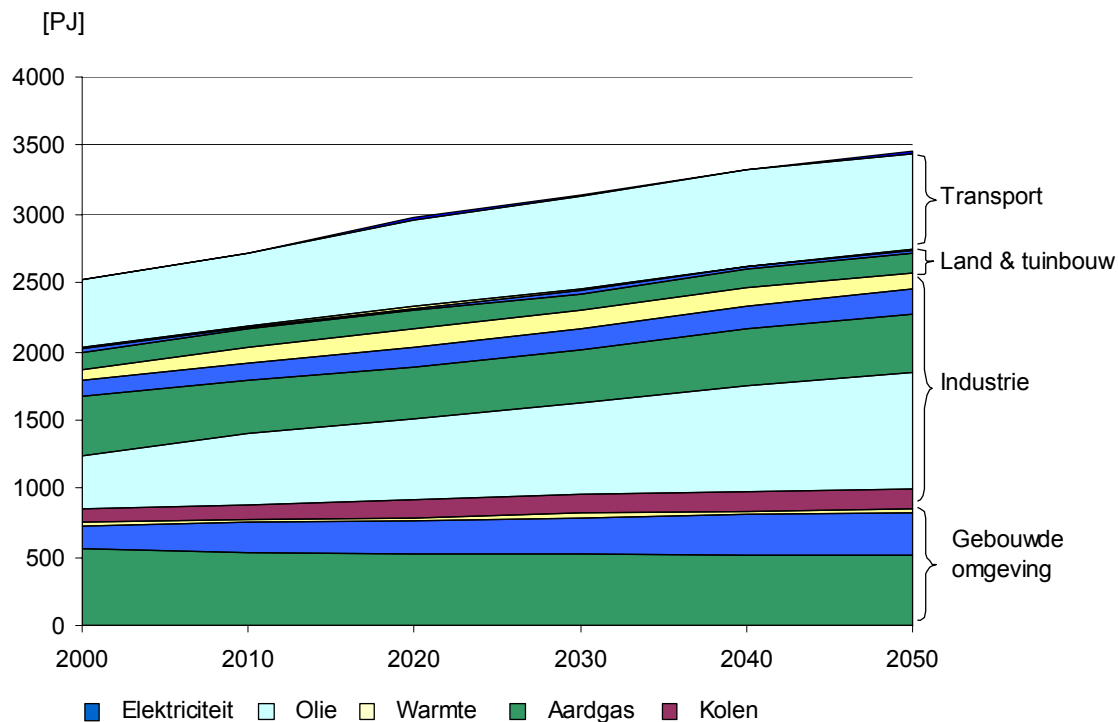
Op basis van de WLO-scenario's (Bollen et al., 2004; CPB, 2004) is een inschatting gemaakt van de autonome ontwikkeling van het energieverbruik en de resulterende CO<sub>2</sub>-emissies. De WLO-scenario's zijn beleidsarm: ze gaan uit van het bestaande energie- en klimaatbeleid. Na 2020 is voor twee van de vier scenario's (TM en GE) verondersteld dat een deel van het energie- en klimaatbeleid komt te vervallen. Dit heeft met name consequenties voor de inzet van duurzaam. Geen van de vier scenario's wordt als geschikt gezien om te fungeren als 'meest plausibele' ontwikkeling. De scenario's moeten meer opgevat worden als een verkenning rondom de trendmatige ontwikkeling. Het 'basispad' is daarom bepaald door het gemiddelde van de uitkomsten van de vier scenario's te nemen. Het verschil tussen deze gemiddelde waarde (het basispad) en de vier scenario's geeft een indicatie van de minimale en maximale marge in de resultaten. De WLO-scenario's zijn doorgerekend tot 2040. Voor 2050 is een extrapolatie gemaakt op basis van de trendmatige ontwikkeling. Momenteel wordt gewerkt aan een update van de WLO-scenario's (onder andere met een hogere olieprijs). Alhoewel de resultaten per scenario mogelijk significant bijgesteld zullen worden, mag echter aangenomen worden dat eventuele consequenties voor het basispad binnen de in de bijlage aangegeven marges vallen.

### 2.2 Interpretatie van de resultaten

Bij het bepalen van de effecten wordt waar mogelijk de marge in de resultaten weergegeven. Deze marges zijn vaak relatief groot, zie ook de bijlage. De berekeningen zijn uitgevoerd op basis van de middenwaarden en ook de grafische weergave is op basis van de middenwaarde. Doordat er in de figuren alleen de meest plausibele ontwikkeling is weergegeven en niet met bijvoorbeeld een 'hoog', 'midden' en 'laag' scenario is gewerkt, ontstaat mogelijk ten onrechte het beeld dat de ontwikkelingen in 2050 tot op de Mton nauwkeurig kunnen worden bepaald. Bij de berekeningen is uitgegaan van het door de Transitieplatforms aangeleverde materiaal. Hierbij is wel gecorrigeerd voor dubbeltellingen maar is geen oordeel geveld ten aanzien van de plausibiliteit (bijvoorbeeld ten aanzien van geclaimde reducties via vraagbeperking) van de aangeleverde gegevens.

### 2.3 Ontwikkeling van het verbruikssaldo

In Figuur 2.1 is per sector de ontwikkeling van het verbruikssaldo gegeven. Hierbij is een onderscheid gemaakt naar de vraag naar elektriciteit, olie, aardgas, kolen en warmte. Het totale verbruikssaldo, inclusief de non-energetische vraag, neemt toe van ruim 2500 PJ in 2000 naar circa 3500 PJ in 2050.



Figuur 2.1 *Ontwikkeling van het verbruikssaldo per sector (temperatuurgecorrigeerd, inclusief het non-energetisch verbruik (basis: WLO-scenario's 2004)*

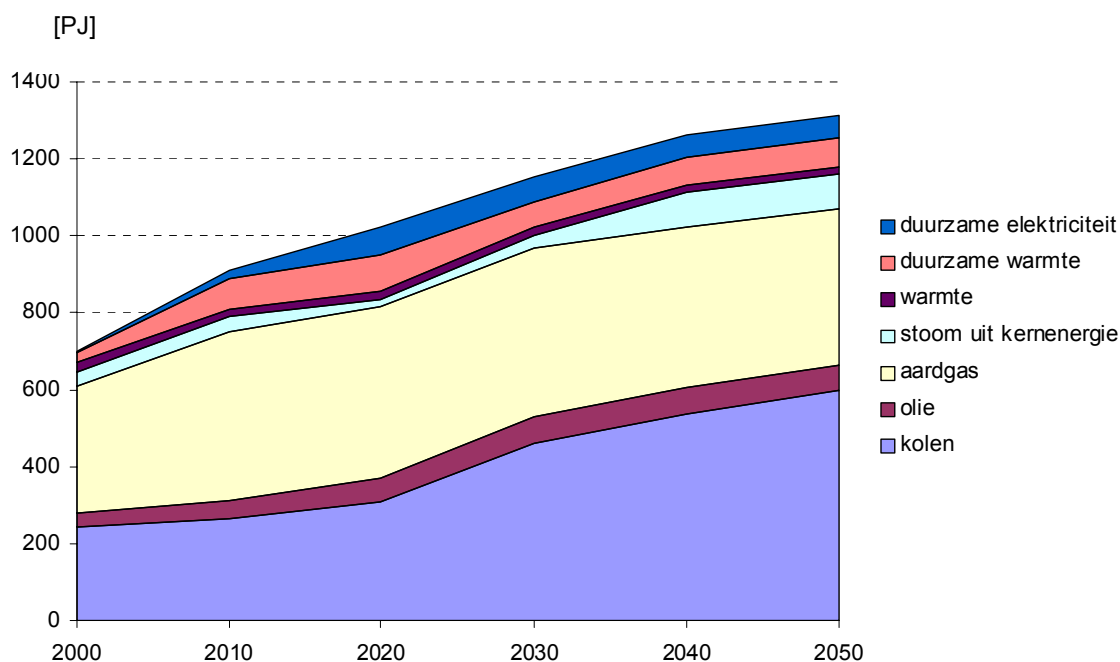
De transportsector blijft in het basispad sterk afhankelijk van olie(producten). Tevens wordt nog in geringe mate elektriciteit (spoorwegen) gebruikt. De land- en tuinbouw is nationaal gezien een betrekkelijk kleine sector waar met name aardgas (voor wkk) wordt ingezet. In de industrie wordt zowel warmte, elektriciteit als ook kolen en olie ingezet. Opvallend is het sterk toenemende aandeel van olie. Zowel olie als kolen worden ingezet voor non-energetische processen (feedstocks). In de Gebouwde omgeving is in het basispad een lichte daling van het aardgasverbruik te zien en een toename van het elektriciteitsverbruik. Het verbruik van olie is verwaarloosbaar in deze sector en het verbruik van warmte (stadsverwarming) is gering.

In Tabel A.1 is de marge in de ontwikkeling van het verbruik per energiedrager gegeven.

## 2.4 Energiedragers voor elektriciteitsproductie

In Figuur 2.1 is de vraag naar elektriciteit per sector gegeven. De inzet van energiedragers nodig voor de productie van deze elektriciteit is gegeven in Figuur 2.2. De inzet van energiedragers voor elektriciteitsproductie is veel meer nog dan de ontwikkeling van de energievraag afhankelijk van het onderliggende scenario (o.a. ontwikkeling energieprijzen, CO<sub>2</sub>-constraints en beleid voor duurzame energie). In Tabel A.2 is de marge in de inzet per energiedrager gegeven. Zoals bij de beschrijving van het basispad al aangegeven lopen de scenario's met name na 2020 sterk uiteen doordat in het TM- en GE-scenario een deel van het energie- en klimaatbeleid komt te vervallen. Hierdoor loopt in het TM- en GE-scenario de hoeveelheid duurzaam geproduceerde elektriciteit en warmte sterk terug. Duurzame elektriciteit komt in deze scenario's op vrijwel 0 uit in 2050. Dit verklaart de zeer hoge marges in Tabel A.2.





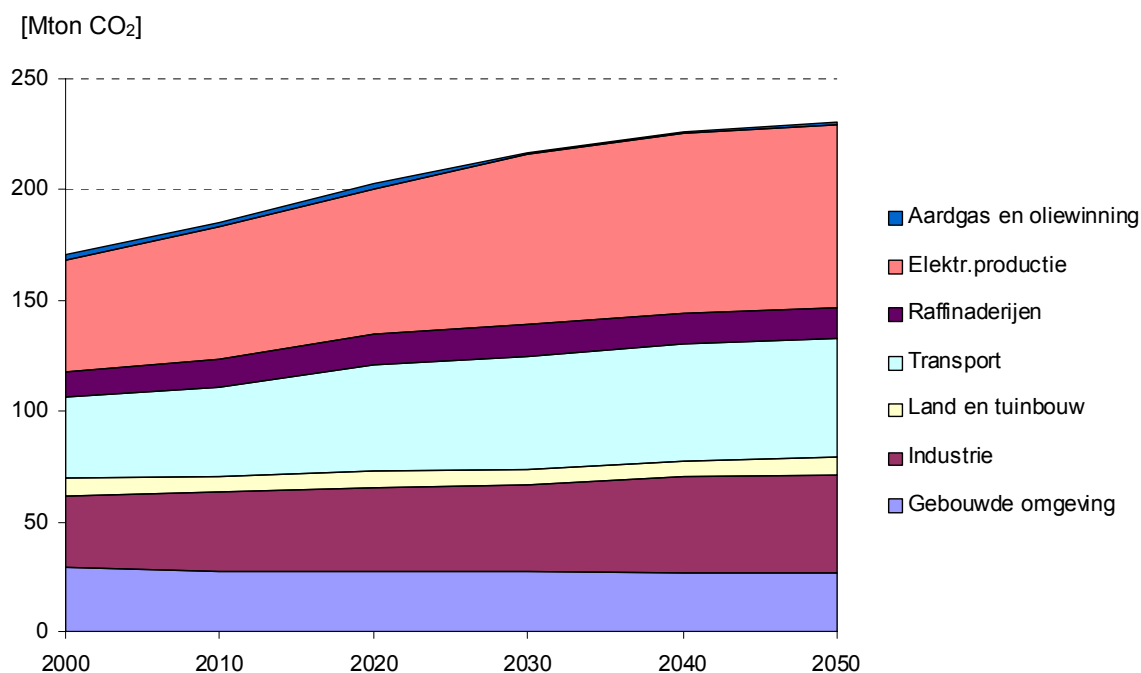
Figuur 2.2 *Ontwikkeling van de inzet van energiedragers voor de productie van elektriciteit (temperatuurcorrectie)*

Noot: Op basis van WLO-scenario's 2004

De inzet van kolen neemt fors toe (ruim een verdubbeling). De inzet van aardgas neemt met een groei van ruim 20% beduidend minder sterk toe. De productie van duurzame elektriciteit neemt toe met een factor 20. De inzet van biomassa (= duurzame warmte) neemt toe met een factor 2,5. In het RC- en SE-scenario is nucleair na 2020 niet meer aanwezig. In het GE-scenario wordt de centrale later gesloten. In TC wordt echter nieuw nucleair vermogen ingezet en wordt in 2050 via kernenergie een factor negen keer meer elektriciteit opgewekt dan in 2000. Zoals eerder aangeven is in Figuur 2.2 het gemiddelde genomen van de vier scenario's.

## 2.5 Ontwikkeling van de CO<sub>2</sub>-emissies per sector

In Figuur 2.3 is per sector de ontwikkeling van de CO<sub>2</sub>-emissies gegeven. Het betreft hier de temperatuurcorrectie emissie, inclusief non-energetisch. De indirecte emissies (verbruik van elektriciteit) valt onder elektriciteitsproductie. De totale CO<sub>2</sub>-emissie neemt toe van 170 Mton CO<sub>2</sub> in 2000 tot rond de 230 Mton in 2050.



Figuur 2.3 *Ontwikkeling van CO<sub>2</sub>-emissie per sector in het referentiepad (temperatuurgecorrigeerd inclusief non-energetische verbruik)*

Noot: Op basis van WLO-scenario's 2004

De CO<sub>2</sub>-emissie in de gebouwde omgeving daalt in de periode 2000-2050 met 9% licht door een afname in de vraag naar aardgas. In de aardgas- en oliewinning is sprake van een halvering. Het betreft hier echter een sector met een geringe bijdrage aan de totale emissies (ruim 1% van de CO<sub>2</sub>-emissie in 2000). In de overige sectoren neemt de CO<sub>2</sub>-emissie toe. In de Landbouw en Veeteelt is de toename gering (4%). In de transportsector en industrie nemen de CO<sub>2</sub>-emissies echter fors toe (bijna 50% voor transport en circa 35% voor industrie). De emissies ten gevolge van de productie van elektriciteit nemen echter met 65% het sterkste toe. Dit is deels toe te schrijven aan de toename van de elektriciteitsvraag die tevens met 65% toeneemt. De daling van de CO<sub>2</sub>-emissie door een toename in efficiëntie van de elektriciteitscentrales wordt teniet gedaan door een verschuiving in de brandstofinzet (meer kolen).

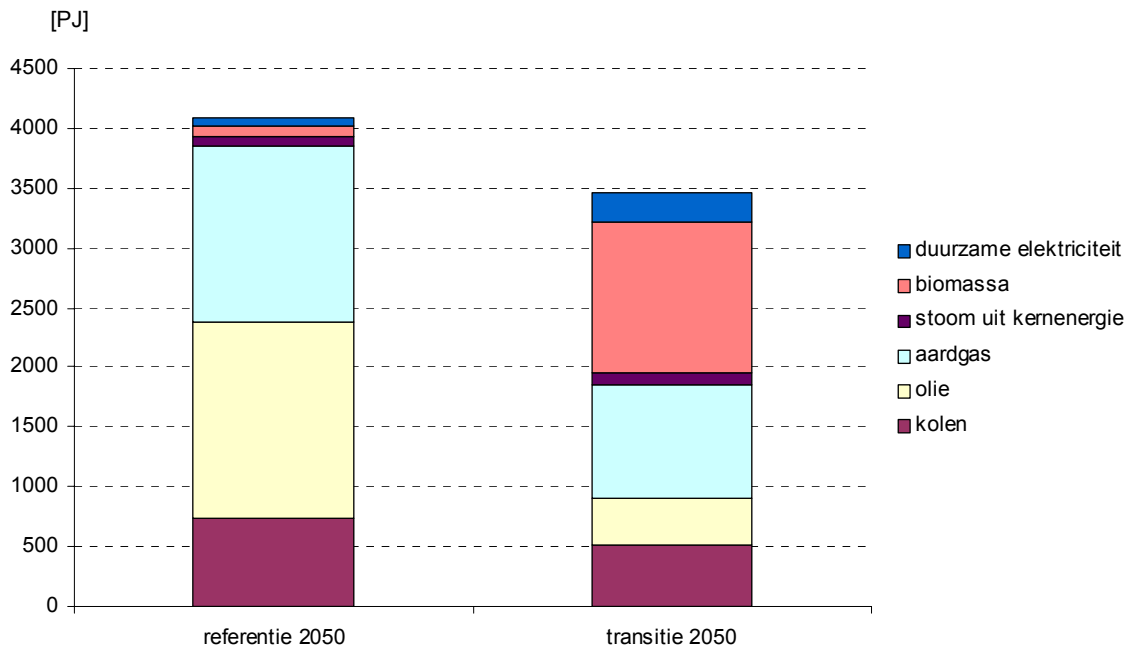
In (SN2004) is aangegeven dat de CO<sub>2</sub>-emissies tussen de 150 Mton en 300 Mton in 2050 uitkomen. Dit is in lijn met de hier gepresenteerde resultaten. In Tabel A.1 is de negatieve en positieve marge per sector gegeven. Een sommatie over de verschillende sectoren geeft een totale negatieve marge van circa 65 Mton en een positieve marge van circa 80 Mton, zodat gesteld mag worden dat de emissie in 2050 met grote waarschijnlijkheid<sup>1</sup> tussen de 160 en 310 Mton ligt met 230 Mton als meest aannemelijke waarde. Het totale effect van de transitiepaden tezamen, gecorrigeerd voor overlap is bepaald op een kleine 200 Mton met als range 125-250 Mton. De resterende CO<sub>2</sub>-emissies liggen tussen de 40-90 Mton, zie ook Figuur 4.1. In het referentiepad is de vraag naar feedstocks aanzienlijk en ook de energetische vraag naar fossiele energiedragers neemt toe. Het eventueel niet halen van de grens van 80 Mton CO<sub>2</sub>-emissie is met name toe te schrijven aan de onzekerheden ten aanzien van de vraag naar en verduurzaming van de inzet van fossiele energiedragers in de industrie.

<sup>1</sup> Het betreft hier een sommatie van een combinatie van 'toevallige' fouten (onzekerheden) en systematische fouten (onzekerheden).

### 3. Voorzieningszekerheid

Door het vergelijken van de wijze waarop aan de energievraag wordt voldaan kan een indicatie worden verkregen van de impact op de voorzieningszekerheid. Allereerst is voor het referentiep pad de vraag naar fossiele energiedragers en de duurzame productie (gesplitst in duurzame elektriciteit en inzet van biomassa) bepaald. Vervolgens zijn hierop de effecten van de verschillende transitiepaden in rekening gebracht. Als eerste is hierbij het effect van vraagbesparing verdisconteerd (zoals vergaand vraagreductie in de glastuinbouw). Voor de gebouwde omgeving is een vraagreductie van 30% verondersteld voor 2050. Vervolgens zijn de effecten van efficiëntieverhoging (bijvoorbeeld bij transport) en tot slot brandstofsubstitutie (inzet van biobrandstoffen).

In Figuur 3.1 is voor het basispad (referentie 2050) de vraag naar fossiele energiedragers gegeven. De belangrijkste energiedragers zijn olie en aardgas (ieder meer dan 1500 PJ), gevolgd door kolen (circa 750 PJ). Inzet van biomassa, nucleair en duurzame elektriciteit spelen in het totaal een bescheiden rol.



Figuur 3.1 *Inzet van fossiele energiedragers en duurzame energie in het referentiep pad en na impact van de transitiepaden in 2050*

In Figuur 3.1 is tevens de inzet van fossiele energiedragers gegeven voor de situatie waarin het effect van de transitiepaden op het referentiep pad is meegenomen. Met name het olieconsumptie neemt sterk af (75%). De verduurzaming van de transportsector levert de belangrijkste bijdrage aan de daling van de olievraag. De overschakeling naar waterstof geeft echter deels een verschuiving naar aardgas en kolen (inclusief CCS). Ook in de industrie wordt echter de olie grotendeels vervangen door biomassa (voornamelijk feedstocks). De vraag naar kolen neemt af met ruim 30%, zowel door de vervanging van kolen als feedstock als ook doordat het vermogen aan kolencentrales terugloopt. Deze effecten worden deels tenietgedaan door de CCS-penalty. De aardgasvraag neemt af met ruim 35%, met name door de omschakeling naar groengas (SNG) gebaseerd op biomassa.

De vraag naar biomassa bedraagt ruim 1250 PJ. Dit is in lijn met (SN2006; Transitiepad Biomassaproductie) waarin is aangegeven dat in 2050 circa 1200 PJ aan biomassa ingezet zou moeten worden, waarvan de helft in Nederland geproduceerd zou moeten worden. Biomassa wordt

vrijwel overal ingezet. In de gebouwde omgeving in de vorm van SNG, voor de productie van elektriciteit, als biofuel in de transportsector en als feedstock in de industrie. De biomassa-vraag is bijna 15 keer zo groot als in het referentiep pad.

Op basis van Figuur 3.1 is het niet rechtstreeks mogelijk om de CO<sub>2</sub>-emissies af te leiden, dit vanwege de toepassing van CCS. De impact op de CO<sub>2</sub>-emissies is gegeven in Figuur 2.3, het effect van de transitiepaden is gegeven in (SN2006) en in Figuur 4.1 en Figuur 4.2.

### 3.1 Verkeer en vervoer

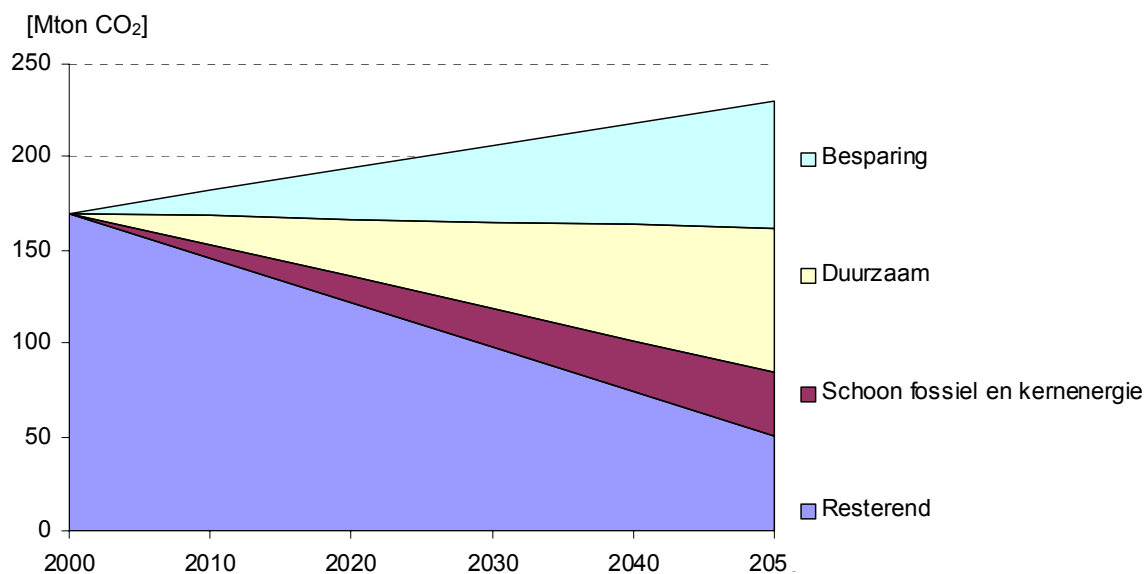
Voor de sector verkeer en vervoer wordt uitgegaan van een besparing in 2050 van 64% (SN2006). In 2050 rijdt 25% van de voertuigen op biobrandstoffen en 75% op waterstof. Een het overgrote deel (80%) van de waterstof wordt hierbij (vrijwel) emissievrij opgewekt (SN2006). Verondersteld wordt dat van de klimaatneutrale waterstof de helft wordt opgewekt via fossiele bronnen in combinatie met CCS en de andere helft via hernieuwbare bronnen (biomassa, wind) (bron: SN, mondelinge toelichting).

### 3.2 Energiesector

Doelstelling is het nagenoeg emissievrij maken van de elektriciteitsproductie door het toepassen van schoon fossiel, nucleair en hernieuwbare bronnen zoals wind, biomassa en pv. De totale hernieuwbare productie (voornamelijk wind, pv en biomassa) bedraagt 103 TWh per jaar terwijl 55 TWh per jaar geproduceerd wordt via fossiel in combinatie met CCS. Door het toepassen van CCS neemt het rendement van de elektriciteitsproductie af, hetgeen leidt tot een toename van de vraag naar fossiele brandstoffen. Dit effect is in de berekeningen meegenomen.

## 4. Karakterisering van de emissiereductie

Via een aantal oplossingsrichtingen kan de CO<sub>2</sub>-emissie in de periode 2000-2050 naar beneden worden gebracht. Er is een onderscheid gemaakt naar CO<sub>2</sub>-reductie voor besparing, via de inzet van duurzame bronnen en via de inzet van schoon fossiel en kernenergie. In Figuur 4.1 is de bijdrage van deze oplossingsrichtingen alsmede de resterende emissie weergegeven. In tegenstelling tot hetgeen in (SN2006)<sup>2</sup> is aangegeven, levert energiebesparing een aanzienlijke bijdrage aan de reductie van de CO<sub>2</sub>-emissies.



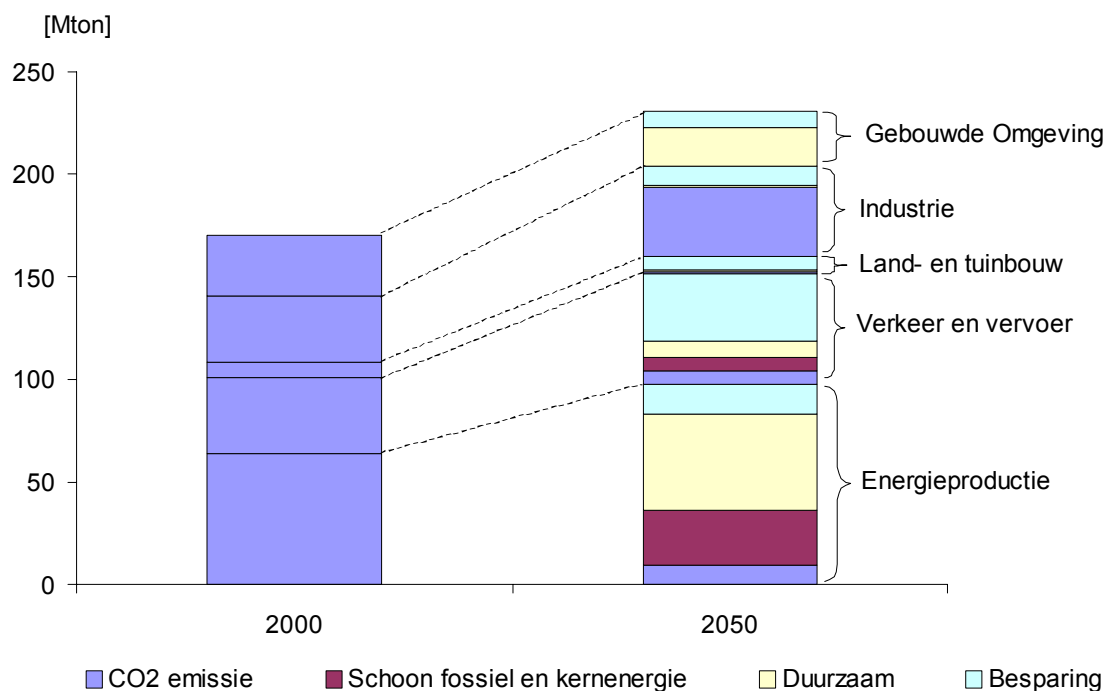
Figuur 4.1 *Onderverdeling van de CO<sub>2</sub>-reductie naar besparing, duurzaam en schoon fossiel en kernenergie*

De CO<sub>2</sub>-reductie van circa 75 Mton door de inzet van duurzame bronnen, met name biomassa en windenergie, is vrijwel even groot als de via besparing bereikte emissiereductie. De reductie door inzet van schoon fossiel en kernenergie is minder dan de helft van de reductie door duurzame energie. De resterende emissie bedraagt circa 50 Mton. Opgemerkt dient te worden dat er sprake is van een forse marge in de resultaten, zodat feitelijk gesteld moet worden dat de emissiereductie tussen de 40 en 90 Mton ligt.

In Figuur 4.2 is voor 2050 per sector aangegeven op welke wijze de reductie per sector wordt behaald. Tevens is de resterende CO<sub>2</sub>-emissie aangegeven. In het basispad nemen de CO<sub>2</sub>-emissies toe van circa 170 Mton in 2000 tot circa 230 Mton in 2050. Door een combinatie van besparing en inzet van duurzaam (voornamelijk SNG) nemen de (directe) emissies<sup>3</sup> in de gebouwde omgeving af van een kleine 30 Mton tot vrijwel nul. In de industrie wordt ruim 10 Mton bespaard en tevens een aanzienlijk deel van de feedstocks verduurzaamd. Het verduurzamen van de feedstocks werkt echter beperkt door op de reductie van de CO<sub>2</sub>-emissie en heeft met name een sterk positief effect op de voorzieningszekerheid. De industrie is de sector met de grootste resterende emissie.

<sup>2</sup> Voorlopige conclusie door ECN.

<sup>3</sup> Emissies die betrekking hebben op de productie van elektriciteit worden aan de E-sector toegerekend.



Figuur 4.2 CO<sub>2</sub>-emissie in 2000 en CO<sub>2</sub>-reductie per sector en resterende emissies voor 2050

Ook in de land- en tuinbouw nemen de CO<sub>2</sub>-emissies af tot vrijwel nul. In de sector verkeer en vervoer is sprake van een restemissie van iets meer dan 5 Mton doordat niet alle waterstof duurzaam/klimaatneutraal wordt opgewekt. Een zeer groot deel van de reductie in de sector verkeer en vervoer wordt bereikt door efficiëntieverhoging (besparing) van de voertuigen. Het resterende deel van de vraag wordt ingevuld via waterstof (grotendeels schoon fossiel) en biobrandstoffen (duurzaam).

De besparing op de elektriciteitsvraag binnen de vragende sectoren is aan energieproductie toegerekend. De inzet van duurzame bronnen reduceert de oorspronkelijke emissie in 2050 met bijna de helft. Ook de inzet van schoon fossiel levert een aanzienlijke bijdrage aan de emissiereductie. De resterende emissie bij de energieproductie bedraagt circa 10 Mton.

De effecten van de reductie van de olievraag op de doorzet van de raffinaderijen (indirect effect) is als besparing bij de sector energieproductie (waar raffinaderijen deel van uitmaakt) geboekt. Ook de besparingen bij de olie en gaswinning ten gevolge van de afnemende gasvraag zijn geboekt bij de sector energieproductie. Vanzelfsprekend zijn de directe effecten van de vraagreductie bij de sectoren zelf geboekt. Ofwel, de reductie van de aardgasvraag door het beter isoleren van woningen is geboekt bij de gebouwde omgeving.

## 5. Versnellen van het implementatietempo van innovaties

Naast het stimuleren van systeemveranderingen in plaats van incrementele innovatie kan de transitie-aanpak tevens een toegevoegde waarde hebben door het versnellen van innovatie. De vraag is echter in welke gevallen het naar voren halen van het tijdstip van (grootschalige) introductie van duurzame technologie haalbaar dan wel verstandig is. Aspecten als beschikbaarheid van de technologie (aantal fabrikanten), het toepassingsgebied van de technologie (Nederland, Europa, mondiaal) dit in verband met het leren van de technologie evenals de koppeling van aard, marktrijpheid en versnellingsstempo van de technologie spelen hierbij een rol.

### 5.1 Omvang van de markt

Voor een aantal technologieën geldt dat de ontwikkeling wordt bepaald via een mondiale markt. Dit geldt bijvoorbeeld voor auto's, met een beperkt aantal mondiaal opererende producenten, maar ook voor pv. Nederland is voor automobielfabrikanten een te kleine markt om hun producten specifiek op af te stemmen. Nederland is afhankelijk van Europese en mondiale ontwikkelingen. Nederland kan niet voor waterstof kiezen indien ook niet een deel van de rest van de wereld op deze route wil inzetten. Indien de leereffecten worden bepaald door de cumulatieve productie op Europese of mondiale schaal, dan zal versnelde introductie binnen Nederland nauwelijks leiden tot kostendaling. Voor technologieën die voornamelijk op een Nederlandse markt worden toegepast (de HR-ketel in het verleden, de energie-neutrale kas?) is het naar voren halen van de technologie wel zinvol. Leereffecten dringen in dit geval wel door en de kostendaling, die vroeg of laat toch via schaalvergroting plaats moet vinden, heeft een effect op de investeringskosten.

### 5.2 Beschikbaarheid van de technologie - aantal aanbieders

Voor een aantal technologieën geldt dat zij relatief eenvoudig inpasbaar zijn in het energiesysteem terwijl tevens de meerkosten beperkt zijn. Het aanpassen van een auto om te kunnen rijden op ethanol is relatief gezien niet erg kostbaar, dit omdat dit type auto zeer grote overeenkomsten heeft met de conventionele auto. Zelfs op relatief kleine schaal zijn de kosten te overzien. Het naar voren halen van deze technologie kan in principe tegen relatief geringe kosten plaatsvinden. Echter, op het ogenblik wordt dit type auto alleen geleverd door een zeer beperkt aantal fabrikanten. Dit geldt tevens voor hybride voertuigen. Stel dat overgegaan wordt tot stimulering (of zelfs verplichting) van ethanol of hybride voertuigen, dan kan er sprake zijn van een zekere marktverstoring doordat het betreffende product maar bij een zeer beperkt aantal aanbieders afgenomen kan worden. Zoals eerder aangegeven is de Nederlandse markt te klein voor automobielfabrikanten om hun productontwikkeling (die enige jaren in beslag neemt) hierop af te stemmen. In dit geval is een goede coördinatie/afstemming met andere Europese landen noodzakelijk.

### 5.3 Doordringen van leereffecten

Een van de gedachten achter het naar voren halen van technologieën is dat leereffecten door schaalvergroting hoe dan ook op moeten treden. Met name bij technologieën waarbij de kostenreductie voornamelijk wordt bepaald door 'learning-by-doing' lijkt het zinvol de deployment (zijnde de belangrijkste driver voor kostenreductie) te stimuleren. De technologie zal onvermijdelijk de fase naar grootschalige (en kosteneffectieve) productie door moeten en uitstel heeft weinig voordelen. Het is echter wel van belang om een technologie voldoende tijd te geven om het geleerde te verwerken zodat dit terugkomt in de volgende generatie en zich vertaalt in een

kostendaling. Er is weinig tot geen empirisch materiaal voorhanden op basis waarvan generieke uitspraken kunnen worden gedaan ten aanzien van wenselijke dan wel maximaal haalbare implementatietempo's. Monitoring van de kostenontwikkeling als functie van de marktpenetratie lijkt in dit geval raadzaam.



## 6. Berekening van het verloop van de emissiereductie en energiebesparing

ECN is gevraagd een update te maken van Tabel 6.1 'Energiebesparing en emissiereductie van de portfolio van transitiepaden', Transitieactieplan concept 8 maart 2006. Analoog aan de legenda van de tabel is de besparing op het finale verbruik bepaald, zie Tabel 6.2. Dit is echter niet gelijk aan de besparing op de inzet van fossiele energiedragers. In dit geval zouden de effecten van brandstofsubstitutie (fossiel naar duurzaam zoals wind, biomassa etc.) alsmede de energiepenny van CCS meegenomen moeten worden (zie Tabel 6.3). Voor de volledigheid is ook een inschatting gemaakt van de besparing op het verbruik van fossiele energiedragers (dus inclusief het effect van duurzaam en CCS). De jaarlijkse reductie in Mton CO<sub>2</sub> is wel inclusief het effect van duurzaam en CCS, zie Tabel 6.1.

In 2015 wordt de belangrijkste bijdrage aan de emissiereductie behaald door een beperkt aantal ontwikkelingen die in de periode tot 2010 voor significante reducties kunnen zorgen. Wederom moet worden opgemerkt dat bij het bepalen van de effecten op de CO<sub>2</sub>-emissies en het energieverbruik de claims van de platforms (SN2006) uitgangspunt is. Er is geen oordeel geveld over de realiteitszin van de claim. Een aanzienlijke reductie wordt bereikt in de glastuinbouw (ruim 4 Mton). Deze inschatting is gebaseerd op ambitie om in 2020 rond de 116 PJ en 6,5 Mton CO<sub>2</sub> te besparen. Ook de productie van duurzame elektriciteit (wind, biomassa) levert in 2015 al een aanzienlijke CO<sub>2</sub>-reductie (5 Mton). Tot 2015 kan CCS in beperkte mate worden toegepast bij bronnen waarbij de CO<sub>2</sub> in relatief zuivere vorm vrijkomt (gaswinning), kunstmestindustrie en bij de productie van waterstof. Voor 2015 leidt de toepassing van CCS hierdoor niet tot een toename van het energieverbruik.<sup>4</sup> De reductie door CCS is voor 2015 ingeschat op 2 Mton. Overige relevante bijdragen zijn 'vergroening van aardgas' (circa 1,8 Mton) door de productie van 1 miljard m<sup>3</sup> groen gas en de inzet van biobrandstoffen (ruim 1,7 Mton). Opgemerkt dient te worden dat de reductie door inzet van biobrandstoffen is bepaald ten opzicht van een referentieontwikkeling waarin biobrandstoffen (tot 2015) geen significante bijdrage leveren.

Tabel 6.1 *Ontwikkeling van de emissiereductie van de portfolio van transitiepaden*

Jaar	Range [Mton CO <sub>2</sub> ]	Middenwaarde [Mton CO <sub>2</sub> ]
2015	7-19	17
2030	50-100	82
2050	125-250	196

De marge rondom de middenwaarde van de CO<sub>2</sub>-emissies in Tabel 6.1 is met name voor 2015 niet 'recht' verdeeld, dit omdat een aantal claims, bijvoorbeeld die van de glastuinbouw zeer ambitieus zijn en de kans dat meer wordt bespaard dan in (SN2006) wordt geclaimd beduidend lager is dan de kans dat de claim niet wordt gehaald. Een zelfde redenering geldt ook voor Tabel 6.2 en Tabel 6.3.

In Tabel 6.2 is de ontwikkeling van de besparing op het finale verbruik [PJ] gegeven. Het betreft hier de vermindering van de vraag naar energiedragers zonder het (substitutie)effect van duurzame bronnen (wind en biomassa) en CCS. De belangrijkste bijdrage aan de besparing in 2010 wordt geleverd door wederom de glastuinbouw (80 PJ). Ook door de gebouwde omgeving wordt tot 2015, in vergelijking tot de overige paden, een bijdrage geleverd (15 PJ). De overige besparing is grotendeels toe te rekenen aan grootschalige WKK.

<sup>4</sup> Er is vrijwel geen energie nodig om de CO<sub>2</sub>-stroom te scheiden. Bij elektriciteitscentrales is dit wel het geval, hetgeen leidt tot een toename van het energieverbruik (afhankelijk van het type centrale) van 15-20%.

Tabel 6.2 *Ontwikkeling van de besparing op het finale verbruik van de portfolio van transitiepaden (derhalve exclusief het effect van duurzaam en schoon fossiel)*

Jaar	Range [PJ]	Middenwaarde [PJ]
2015	35-120	105
2030	275-550	425
2050	800-1650	1300

Tot slot is tevens het effect op het verbruik aan fossiele energiedragers bepaald. Het betreft hier de besparing op de vraag naar kolen, olie en gas inclusief het effect van de inzet van duurzame bronnen en CCS. De besparing op de vraag naar kolen, olie en aardgas valt hoger uit door de inzet van duurzame bronnen. Door de vergroening van aardgas wordt in 2015 ruim 30 PJ fossiel aardgas bespaard. De inzet van wind en biomassa binnen de E-sector leidt tot een besparing op het verbruik van ruim 70 PJ. Ook de inzet van biobrandstoffen leidt tot een significante reductie van de vraag naar olie (ruim 30 PJ).

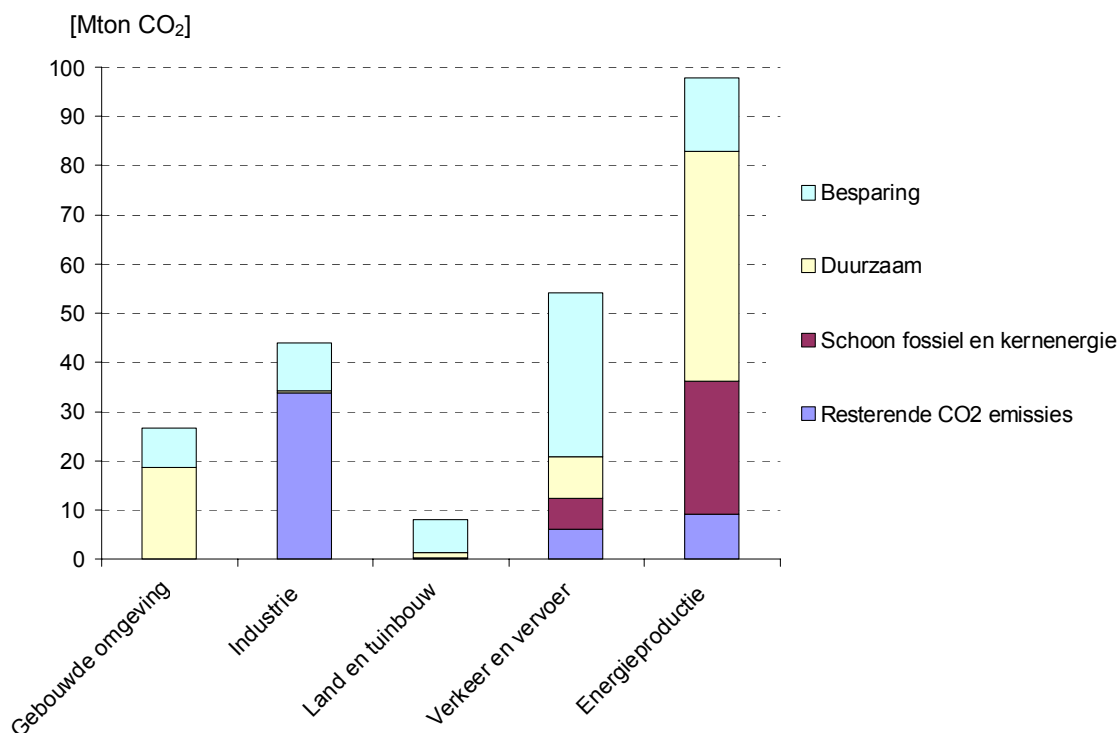
Tabel 6.3 *Ontwikkeling van de besparing op het verbruik van fossiele energiedragers van de portfolio van transitiepaden (inclusief het effect van duurzaam en schoon fossiel)*

Jaar	Range [PJ]	Middenwaarde [PJ]
2015	100-260	240
2030	450-925	725
2050	1250-2500	2000

In 2015 leidt de toepassing van CCS nog niet tot een toename van de energievraag. In 2030 en 2050 wordt CCS ook bij bronnen toegepast waar de CO<sub>2</sub> nog moet worden gescheiden van de overige afgassen. Deze scheiding kost een aanzienlijke hoeveelheid energie. Dit is meegenomen in de berekende reducties.

## 7. Bijdrage van besparing, duurzaam en schoon fossiel

Tabel 3 van het concept TAP, d.d. 8 maart 2006 maakt per platform een onderscheid naar ‘efficiëntieverbetering’, ‘duurzame energie’ en ‘schoon fossiel’. De getallen hiervoor moeten echter nog worden bepaald. Besloten is om niet een onderverdeling naar platform maar een onderverdeling naar sector te maken. Voor deze onderverdeling is in een eerder stadium de bijdrage van ‘besparing’, ‘duurzame energie’ en ‘schoon fossiel en kernenergie’ al bepaald, zie Figuur 4.2. De in Figuur 4.2 getoonde bijdragen zijn in Figuur 7.1 op een iets andere wijze gepresenteerd.



Figuur 7.1 *Bijdrage van besparing, duurzaam en schoon fossiel en kernenergie aan de reductie van de CO<sub>2</sub>-emissies in 2050*

In Tabel 7.1 zijn de getallen uit Figuur 7.1 in tabelvorm neergezet.

Tabel 7.1 *Bijdrage van besparing, inzet van duurzame bronnen en schoon fossiel en kernenergie aan de reductie van de CO<sub>2</sub>-emissies in 2050 alsmede de platforms waarvan de transitiepaden een bijdrage leveren binnen de betreffende sector (in willekeurige volgorde)*

Mton CO <sub>2</sub>	Besparing	Duurzaam	Schoon fossiel en kernenergie	Platform
Gebouwde omgeving	6-10	15-23	0	Gebouwde omgeving, groene grondstoffen, nieuw gas,
Industrie	8-12	0-2	0	Ketenefficiëntie, groene grondstoffen, nieuw gas
Land en tuinbouw	5-9	0-2	0	Groene grondstoffen, nieuw gas
Verkeer en vervoer	27-40	6-10	4-8	Duurzame mobiliteit, groene grondstoffen, nieuw gas
Energieproductie	5-25	40-55	25-30	Duurzame elektriciteit, groene grondstoffen, nieuw gas

## 8. Discussie en conclusies

Op basis van voorlopige WLO-scenario's is een basispad ontwikkeld op basis waarvan het effect van het portfolio van de transitiepaden op het energieverbruik en CO<sub>2</sub>-emissies bepaald kan worden. In het basispad neemt het energieverbruikssaldo toe van circa 2500 PJ in 2000 tot circa 3500 PJ in 2050. Het verbruikssaldo in 2050 kent een aanzienlijke marge. De totale CO<sub>2</sub>-emissies nemen toe van 170 Mton in 2000 tot rond de 230 Mton in 2050 (marge: 160-310 Mton).

Er bestaat de nodige overlap tussen de verschillende transitiepaden. Enerzijds wordt dit veroorzaakt doordat bepaalde transitiepaden onderdeel uitmaken van bredere transitiepaden (technologie georiënteerde paden ten opzichte van paden die een sector omvatten) terwijl tevens een aantal paden zich richt op de vraagzijde (vraag naar synthetische aardgas (SNG)) terwijl andere paden de productiekant invullen (productie van SNG). De overlap betekent niet dat deze paden minder relevant zijn, maar impliceert dat er op meerdere fronten samengewerkt moet worden om de ambitie integraal (over de gehele keten) te verwezenlijken. Het totale effect van de transitiepaden tezamen, gecorrigeerd voor overlap is bepaald op een kleine 200 Mton met als range 125-250 Mton. De resterende CO<sub>2</sub>-emissies liggen tussen de 40-90 Mton. Ten opzichte van het basispad (160-300 Mton) wordt derhalve een meer dan substantiële reductie bereikt. Opgemerkt moet worden dat bij het bepalen van de effecten van het portfolio aan transitiepaden de aannames gemaakt door de Transitieplatforms als uitgangspunt genomen zijn. De plausibiliteit van deze aannames, zoals bijvoorbeeld veronderstelde rendementverbeteringen of het potentieel voor de productie van biomassa in Nederland, is buiten beschouwing gebleven.

Met name brandstofsubstitutie in de vraagsectoren speelt een dominante rol in het totaalbeeld. Zo is de ambitie in de gebouwde omgeving om in 2050 voor de bestaande woningen over te schakelen naar groen aardgas (SNG). In de sector verkeer en vervoer wordt overgestapt naar een CO<sub>2</sub>-vrije brandstof (biofuels en waterstof). Binnen verkeer en vervoer wordt tevens een aanzienlijk effect bereikt door besparing. Dit effect is echter circa eenderde van het effect dat door brandstofsubstitutie bereikt wordt. Bij het verduurzamen van de elektriciteitsproductie wordt met name geleund op drie oplossingsrichtingen: inzet van biomassa, productie van duurzame elektriciteit via wind op zee en toepassing van CCS (carbon capture and sequestration). Mogelijke knelpunten, zoals ten gevolge van de eventueel beperkte beschikbaarheid van biomassa, zijn niet geadresseerd. Ambities ten aanzien van energiebesparing zijn minder concreet geformuleerd en zitten hier en daar verborgen in de paden zonder dat dit specifiek kwantificeerbaar is. Aanbevolen wordt te onderzoeken of binnen de onderscheiden transitiepaden de mogelijkheden om te komen tot vraagvermindering meer expliciet in kaart te brengen.

## Referenties

Bollen, J., T. Manders, M. Mulder (2004): *Four futures for energy markets and climate change*, CPB/RIVM-NMP, Den Haag, april 2004.

CPB (2004): *Vier vergezichten op Nederland: Productie, arbeid en sectorstructuur in vier scenario's*.

SN2006: *Notitie Jan Dopfer namens T-platforms aan TFE-voorzitter d.d. 31 januari 2006*; referentie: SENE0657102/211/WDV/MC.

## Bijlage A Marges

Tabel A.1 *Marge in het verbruikssaldo per sector en energiedrager in 2050*

Sector	Energiedrager	Marge in 2050 [%]
Gebouwde omgeving	Olie	20
	Aardgas	16
	Elektriciteit	20
	Warmte	10
Industrie	Kolen	11
	Olie	25
	Aardgas	25
	Elektriciteit	24
	Warmte	41
Land en tuinbouw	Overige energie	21
	Aardgas	51
	Elektriciteit	70
	Warmte	82
Transport	Olie	30
	Elektriciteit	7

Noot: zie ook Figuur 2.1.

Tabel A.2 *Marge in de inzet per energiedrager*

Energiedrager	Marge in 2050 [%]
Kolen	65
Olie	66
Aardgas	48
Stoom uit kernenergie	200
Duurzame en niet duurzame warmte	165
Duurzame elektriciteit	114

Noot: zie ook Figuur 2.2.

Tabel A.3 *Negatieve en positieve marge in de CO<sub>2</sub>-emissie per sector*

Sector	Negatieve marge 2050	Positieve marge 2050
	[Mton CO <sub>2</sub> ]	
Gebouwde omgeving	-3	6
Industrie	-5	24
Land en tuinbouw	-3	4
Transport	-7	7
Raffinaderijen	-7	10
Elektriciteitsproductie	-41	29
Aardgas en oliewinning	-0,4	0,1

Noot: zie ook Figuur 2.3.