

Reductiemogelijkheden CO₂-emissie transportsectoren



Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid

Reductiemogelijkheden CO₂-emissie transportsectoren

**Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid
Mei 2007**

**P. Wouters
J.A. Annema**

Meer weten over mobiliteit. Dat is waar het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM) zich mee bezig houdt. Het KiM is opgericht op 1 september 2006. Als zelfstandig instituut binnen het ministerie van Verkeer en Waterstaat (V&W) maakt het KiM verkenningen en beleidsanalyses voor mobiliteitsbeleid waarmee de strategische basis voor dat beleid wordt versterkt

© 2007, Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM)

Verzorging omslag : 2D3D, Den Haag/Arnhem
Verzorging binnenwerk : SSO Repro Ministerie van Verkeer en
Waterstaat
ISBN : 978-90-8902-004-8

Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid
Jan van Nassastraat 125
2596 BS Den Haag

Postbus 20901
2500 EX Den Haag

Telefoon: 070-351 1965
Fax: 070-351 7576

Website: www.kimnet.nl
E-mail: info@kimnet.nl

Inhoudsopgave

Samenvatting 5

Summary 7

- 1. Inleiding 9**
- 2. Belangrijke bevindingen uit het literatuuronderzoek 11**
- 3. Transportsectoren die volgens Kyoto-afspraken aan Nederland toevallen 13**
- 4. Transportsectoren die volgens het Kyoto-protocol niet aan landen toevallen 19**

Bijlage 1: WLO-scenario's in beeld 21

Bijlage 2: Beschrijving per sector 23

Samenvatting

Te hoge concentraties broeikasgassen (met CO₂ als belangrijkste) in de atmosfeer kunnen leiden tot klimaatverandering. Het kabinet heeft een nationale doelstelling van 30% reductie van broeikasgasemissie gesteld per 2020 ten opzichte van 1990. Dit literatuuronderzoek behandelt de vraag wat een reëel reductiedoel voor CO₂-emissie – verreweg het belangrijkste broeikasgas van transport – is binnen de Directoraat-Generaal Transport en Luchtvaart (DGTL) sectoren: goederenvervoer, luchtvaart en zeevaart. Er is kort gekeken naar instrumenten die de overheid kan inzetten om deze doelstelling te bereiken.

De beoogde 30%-reductiedoelstelling in 2020 ten opzichte van 1990 proportioneel doorvertalen naar binnenlandse DGTL-sectoren (binnenlandse goederenvervoer over de weg en het water) leidt naar verwachting tot het moeten inzetten van zeer dure en niet-kosteneffectieve maatregelen. Technische maatregelen alleen zijn onvoldoende effectief om 30% reductie te halen en zouden met name aangevuld moeten worden met bijvoorbeeld een grootschalige inzet van zogenaamde tweede generatie biobrandstoffen, waarvan de totale CO₂-effecten en kosten op dit moment nog in hoge mate onduidelijk zijn.

Door de ooghalen kijkend lijkt bij vrachtwagens 1 megaton of circa 10% reductie mogelijk ten opzichte van business-as-usual in 2020 bij een kosteneffectiviteit van € 100 tot € 200 per ton. Bij bestelauto's lijkt bij een zelfde kosteneffectiviteit ook 1 megaton of circa 20% reductie ten opzichte van business-as-usual in 2020 mogelijk.

Dit is exclusief mogelijke derving van accijnsopbrengsten. In Nederland worden bestelauto's gedeeltelijk tot personenvervoer en gedeeltelijk tot goederenvervoer gerekend.

Bij de internationale DGTL-sectoren – luchtvaart en zeescheepvaart – is Europees veel beweging. Luchtvaart zal naar verwachting worden opgenomen binnen het Europese systeem van emissiehandel; voor zeescheepvaart zijn zeer recent hiertoe ook plannen geopperd. Er liggen hier Europees gezien grote reductiemogelijkheden (tientallen megatonnen) tegen relatief beperkte kosten (tientallen euro's per ton, uitgaande van schattingen van de toekomstige handelsprijs van CO₂).

Summary

Excessive concentrations of greenhouse gases – the primary one being CO₂ – can lead to climate change. The Dutch government has set a national objective of achieving a 30% reduction in greenhouse gas emissions by 2020, compared to 1990 levels. This literature review addresses the question of what can be considered a feasible reduction aim in CO₂ emissions – by far the most common greenhouse gas produced by transport activities – for the sectors under the purview of the Directorate-General for Civil Aviation and Freight Transport (DGTL), viz. freight transport, aviation and shipping. The instruments the government can implement to achieve this objective are briefly reviewed.

Proportionately applying the proposed objective to achieve a 30% reduction in emissions by 2020, compared to 1990 levels, to the domestic activities of the DGTL sectors (domestic freight transport by road and by water) is expected to necessitate the implementation of very expensive measures which are not cost-effective. Technical measures alone are not effective enough to achieve the 30% reduction and should be implemented in combination with other measures such as the large-scale use of what are known as second-generation biofuels, the cumulative CO₂ impact and costs of which remain largely unknown.

A closer look reveals that a reduction of one billion kilograms (approx. 10%) in lorry emissions can be achieved by 2020, with a cost effectiveness of 100 to 200 per ton. At the same level of cost effectiveness, a reduction of one billion kilograms (approx. 20%) in delivery van emissions is also possible by 2020.

The cost estimate does not take into account possible reductions in the amount of excise duties generated. In the Netherlands, delivery vans are considered to be partly passenger vehicles and partly freight transport vehicles.

A tremendous amount of work is being done at European level with regard to the international activities of the DGTL sectors (i.e. aviation and shipping). Aviation is expected to fall under the European system of emissions trading, and similar plans have recently also been put forward for the shipping industry. Significant reductions are possible at European level (i.e. in the tens of Megatons) for relatively limited costs (i.e. in the tens of euro per ton, based on estimates of the future trading price of CO₂).

1. Inleiding

Het Directoraat-Generaal Transport en Luchtvaart (DGTL) van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat heeft behoefte aan:

1. een indicatie van de bijdrage van de DGTL-sectoren aan het klimaatprobleem bij verschillende groeiscenario's,
2. een inventarisatie van reductiemogelijkheden van CO₂-emissie voor de DGTL-sectoren,
3. een indicatie van de bijdrage die de DGTL sectoren zouden kunnen leveren aan de reductiedoelstelling van het kabinet.

Dit literatuuronderzoek behandelt bovenstaande vragen en kijkt kort naar mogelijke instrumenten die de overheid kan inzetten om vervoerders te bewegen de betreffende maatregelen door te voeren. De verschillende maatregelen die vervoerders kunnen nemen om CO₂-emissies te reduceren zijn gewaardeerd op kosteneffectiviteit (de geschatte kosten van de maatregel/hoeveelheid CO₂-emissie-reductie) zover berekeningen beschikbaar waren in de literatuur.

In overleg met DGTL is besloten bij de analyse twee WLO-scenario's – Strong Europe en Global Economy – als referentiekader te hanteren (CPB-MNP-RPB, 2006).¹

In dit onderzoek wordt onderscheid gemaakt naar twee soorten van DGTL-sectoren:

- a) sectoren die vallen binnen het 'binnenlandse' doel volgens het Kyoto-protocol, zoals bestelauto's, vrachtwagens en 'inlandse' binnenvaart, en
- b) de internationale lucht- en scheepvaart waarvan de uitstoot volgens de Kyoto-afspraken niet aan landen zijn toebedeeld.

Leeswijzer

Hieronder volgen eerst de belangrijkste bevindingen uit het literatuuronderzoek (paragraaf 2).

Daarna worden mogelijke maatregelen betreffende de DGTL-sectoren, die volgens Kyoto-afspraken aan Nederland toevallen, ingedeeld in categorieën van kosteneffectiviteit (paragraaf 3). Ten slotte worden de reductiemogelijkheden in de internationale lucht- en scheepvaart behandeld (paragraaf 4).

In de bijlagen staan enkele tabellen en grafieken betreffende de WLO-scenario's in relatie tot de DGTL-sectoren en worden alle bevindingen per specifieke DGTL-sector gepresenteerd.

¹ De ontwikkeling van CO₂-emissies binnen DGTL-sectoren in het scenario Trans-Atlantic Markets lijkt sterk op dat van Strong Europe, het scenario Regional Communities beschrijft een meer gematigde groei van het transport. Zie bijlage 1 voor alle emissietrends in de verschillende scenario's.

2. Belangrijke bevindingen uit het literatuuronderzoek

- Door de oogharen geschat is bij bestelauto's² en vrachtwagens tegen € 100 tot € 200 per ton, respectievelijk 20% (1 megaton) en 10% (ook 1 megaton) reductie, in 2020 mogelijk ten opzichte van 'business-as-usual' volgens de WLO-scenario's. Dit is exclusief mogelijke derving van accijnsopbrengsten. De reductie van CO₂-emissie in het transport is gebaseerd op minder en/of zuinigere kilometers en leidt tot minder verkochte liters belaste brandstof aan de pomp. Deze derving betreft aanzienlijke maatschappelijke kosten.
- De binnenvaart kent ook belangrijke reductiemogelijkheden (\pm 15% of 0,06 megaton in 2020), maar speelt met slechts ongeveer 5% van de totale CO₂-emissie van DGTL-sectoren een minder grote rol in het totaal.
- Er wordt een hoger effect verwacht van zogenaamde technische maatregelen die gericht zijn op het verbeteren van de voertuig- en brandstofefficiëntie, dan van maatregelen die gericht zijn op het rijgedrag van chauffeurs of op volumereductie van de te vervoeren goederen (in bijlage 2 worden verschillende maatregelen per voertuigcategorie besproken).
- Deze, met name, technische reductiemogelijkheden voor bestelauto's, vrachtwagens en binnenvaart zijn niet groot genoeg om de verwachte groei in CO₂-emissie van deze vervoercategorieën tot 2020 volgens de recente WLO-scenario's te compenseren. Wanneer volledige compensatie wordt nagestreefd (emissie 2020 = emissie 1990) moet afhankelijk van het groeiscenario nog eens vier tot vijf megaton gereduceerd worden. Hiervoor kunnen alternatieve brandstoffen (biobrandstoffen) of technieken (hybride) een belangrijke rol spelen. De kosteneffectiviteit van deze alternatieven ligt rond of boven de € 200 per ton. Er is nog veel onduidelijkheid over de economische en ecologische effecten van het op zeer grote schaal inzetten van biobrandstoffen. De beoogde 30%-reductiedoelstelling in 2020 ten opzichte van 1990 proportioneel doorvertalen naar deze DGTL-sectoren leidt naar verwachting tot het moeten inzetten van zeer dure en niet-kosteneffectieve maatregelen.
- Vooral prijsmaatregelen lijken vanuit oogpunt van emissiereductie effectief en hebben tevens een gunstige tot redelijke kosteneffectiviteit, maar zijn politiek vaak moeilijker uitvoerbaar. Maatregelen die erop gericht zijn het gedrag van chauffeurs en ondernemers te verbeteren zijn relatief goedkoop, zijn politiek goed te gebruiken, maar de verwachte effecten zijn onduidelijk en niet afdwingbaar.

² In Nederland worden bestelauto's gedeeltelijk tot personenvervoer en gedeeltelijk tot goederenvervoer gerekend.

Ingrijpen in de ruimtelijke ordening om het totale transportvolume te reduceren biedt theoretische kansen, maar vraagt in de praktijk betrokkenheid van meerdere bestuurslagen, elk met eigen doelen en verantwoordelijkheden, waardoor resultaten doorgaans onzeker zijn en lange tijd op zich laten wachten.

- Bij de DGTL-sectoren die qua CO₂-emissiereductie niet aan landen worden toebedeeld – luchtvaart en zeescheepvaart – is Europees veel beweging. Luchtvaart zal naar verwachting worden opgenomen binnen het Europese systeem van emissiehandel; voor zeescheepvaart zijn zeer recent hiertoe ook plannen geopperd. Er liggen hier Europees gezien grote reductiemogelijkheden (tientallen megatonnen) tegen relatief beperkte kosten (tientallen euro's per ton, uitgaande van schattingen van de toekomstige handelsprijs van CO₂). Er zijn nog wel veel onduidelijkheden, vooral bij de zeescheepvaart, rond het opnemen van deze sectoren in het Europese systeem van emissiehandel.

Bovenstaande hoofdlijn vergeleken met andere recente Nederlandse studies

In het project 'Schoner en zuiniger' wordt invulling gegeven aan de energie- en klimaatdoelstellingen uit het coalitieakkoord. VROM is portefeuillehouder. In het kader van dit project is door ECN en MNP een eerste en ruwe verkenning gedaan naar de maatregelen en beleidsinstrumenten waarmee de doelstellingen van de regering op het gebied van energie- en klimaatbeleid gerealiseerd kunnen worden. Voor de sector verkeer en vervoer wordt met name naar het personenvervoer en het bestelverkeer gekeken. Het vrachtvervoer komt voorlopig minder sterk aan bod. De in de ECN-studie gepresenteerde maatregelen voor DGTL-sectoren zitten qua kosteneffectiviteit in dezelfde range als uit dit literatuuronderzoek naar voren komt. Uit de ECN-studie is niet het totaal (megaton) aan reductiemogelijkheden te destilleren dat specifiek voor de DGTL-sectoren redelijk is.

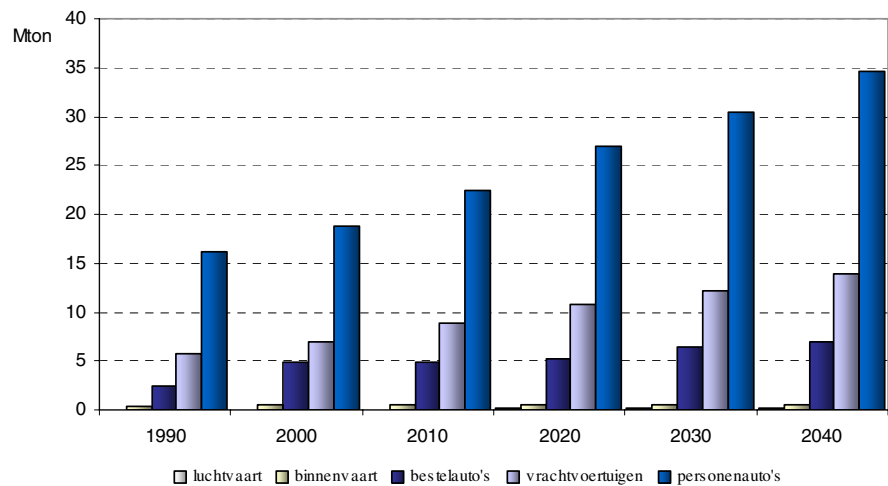
Twijnstra en Gudde werkt in opdracht van DGP aan het Beleidskader Energie en Klimaat. Naast het algemene personenverkeer wordt door Twijnstra en Gudde ook kort de reductiemogelijkheden voor bestelauto's behandeld. De bevindingen in dit literatuuronderzoek sluiten redelijk bij de T&G-studie aan, al is T&G iets optimistischer over het totaal verwachte effect.

3. Transportsectoren die volgens Kyoto-afspraken aan Nederland toevallen

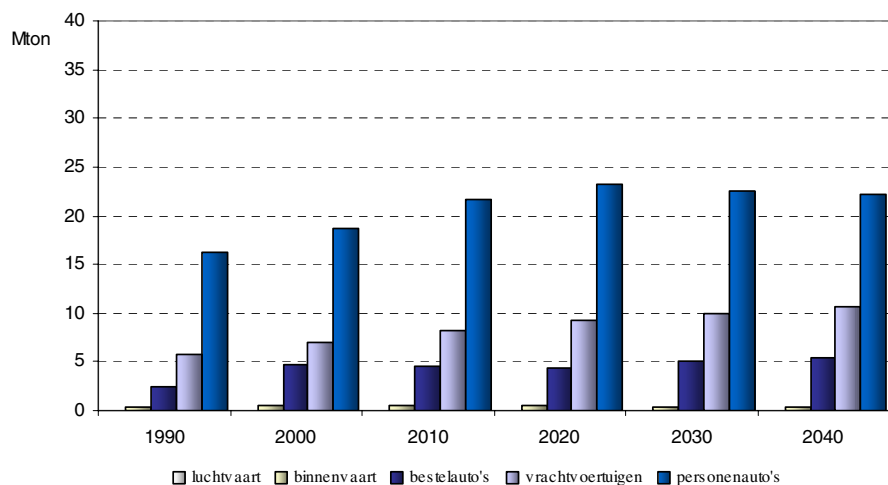
In deze paragraaf worden diverse maatregelen, die betrekking hebben op de Nederlandse transportmarkt, meer in detail ingedeeld in categorieën van kosteneffectiviteit (= de geschatte kosten van de maatregel/hoeveelheid CO₂-emissie-reductie in euro's per ton CO₂-reductie).

Er is gekeken naar mogelijke reductiemaatregelen voor bestelauto's, vrachtwagens en binnenvaart. Het nationale vliegverkeer is buiten beschouwing gelaten gezien de relatief zeer kleine bijdrage aan de CO₂-emissie (± 0,1% in 1990).³

Figuur 1a:
CO₂-emissie DGTL-sectoren volgens WLO-scenario Global Economy



Figuur 1b:
CO₂-emissie DGTL-sectoren volgens WLO-scenario Strong Europe



Vrachtwagens hebben in 1990 ongeveer 19% (5,7 megaton) bijgedragen aan de CO₂-emissie van verkeer en vervoer in Nederland (30,4 megaton).

³ Dit betreft alleen binnenlandse vluchten.

De verwachting is dat in 2020 dit aandeel groeit naar ongeveer 22% (SE- en GE-scenario, respectievelijk 9,3 megaton en 10,7 megaton). Voor personenauto's en bestelauto's gelden respectievelijk de volgende verwachtingen: ongeveer 53% (16,2 megaton) naar 54-55% (23,3 en 27 megaton) en ongeveer 8% (2,4 megaton) naar 10-11% (4,4 en 5,3 megaton), zie ook tabellen in bijlage 1.

Absoluut en relatief is de binnenvaart (0,4 megaton = 1,3%) minder belangrijk wat betreft CO₂-emissie. In zowel het SE- als GE-scenario stijgt de absolute uitstoot in 2020 naar 0,5 megaton.

Technische verbeteringen die leiden tot CO₂-emissiereductie zijn veruit het beste beschreven in de literatuur. Hieronder volgt een opsomming van verschillende maatregelen ingedeeld naar vier categorieën van kosteneffectiviteit: 10-40 euro/ton, 40-200 euro/ton, 200-1000 euro/ton en onbekend.

Maatregelen in categorie van € 10-€ 40 per ton reductie van CO₂-emissie

Rijgedrag: het programma 'het nieuwe rijden' levert volgens VROM (2006) ongeveer 10% brandstofbesparing op als alle chauffeurs in Nederland zich houden aan de programmaregels. ECN (2006) stelt dat door toenemende krapte op de arbeidsmarkt vrachtwagenchauffeurs zich juist minder dan voorheen hun gedrag zullen laten voorschrijven.

Er bestaat een soortgelijk programma 'het nieuwe varen', dat ondersteund wordt door het softwareprogramma 'adviserende tempomaat'. Volgens ECN (2006) levert dit tegen eenmalige aanschafkosten tussen de € 8.000,- en € 20.000,- een brandstofbesparing van 5% op. Uitgaande van deze brede kosten-range is een dergelijk systeem bij een afschrijvingstermijn van 10 jaar alleen kosteneffectief (€ 40/ton) inzetbaar bij schepen die meer dan 20 – 50 ton CO₂ per jaar uitstoten. Onbekend is welk aandeel van de vloot dit betreft.

De verwachting is dat met rij- en vaargedragprogramma's een beperkte reductie van hooguit een paar procenten mogelijk is. De gedachte hierbij is dat – in tegenspraak met een aantal meer positief getinte studies – niet alle chauffeurs en schippers zullen worden beïnvloed of zullen zich aan alle programmaregels houden. Bovendien is het nog maar de vraag of chauffeurs en schippers zich gedurende langere tijd aan het andere gedrag zullen aanpassen, of dat ze weer deels terugvallen naar de bestaande praktijk.

Maatregelen in categorie van € 40-€ 200 per ton reductie van CO₂-emissie

In de literatuur wordt veel aandacht besteed aan de mogelijkheden om conventionele voertuigtechnieken te verbeteren. In het wegverkeer hebben technische verbeteringen betrekking op de vermindering van de rolweerstand, verbetering van de aerodynamica, en verbetering van de motortechnologie. Er is een grote range aan mogelijkheden, maar wel geldt dat de kosten van technische aanpassingen snel oplopen met de mate van verbetering.

ECN (2006) stelt dat het merendeel van de kosteneffectieve verbeteringen van de brandstofefficiëntie in de transportsector al doorgevoerd zijn. In deze notitie wordt daarom voorzichtig over het totale technische reductiepotentieel geoordeeld en er wordt een ruime bandbreedte in de kosten per ton reductie gehanteerd.

In het bestelverkeer lijken de mogelijkheden voor technische verbeteringen vooralsnog minder benut te zijn dan in het vrachtverkeer. VROM (2006) stelt dat de mogelijke besparing in CO₂-emissie in het bestelverkeer zelfs nog groter kan zijn dan in het personenverkeer, omdat door gebrek aan CO₂-beleid voor deze sector er aan boord van een nieuwe bestelauto anno 2006 minder brandstofbesparende technologie aanwezig is dan bij een personenauto.

In de binnenvaart hebben technische verbeteringen betrekking op de vermindering van de vaarweerstand en het verbeteren van de voortstuwing. De lange levensduur van binnenvaartschepen werkt vertragend op het doorvoeren van verbeteringen. R&D is noodzakelijk om de verschillende ideeën om te zetten in kosteneffectieve maatregelen.

Diverse beleidsinstrumenten zijn mogelijk om de technische verbeteringen af te dwingen, zoals bijvoorbeeld een brandstofheffing. Ook het stellen van diverse standaardnormeringen – zoals maximale CO₂-emissie per type motor of voertuig – kunnen fabrikanten en vervoerders ertoe bewegen daadwerkelijk de technische ontwikkelingen door te voeren. Voor zowel het wegverkeer als de binnenvaart geldt dat het stellen van dergelijke normen bij voorkeur in Europees verband moet plaatsvinden om verstoring van het level playing field te voorkomen.

Door de ooghalen kijkend lijkt bij vrachtwagens 1 megaton of circa 10% reductie mogelijk ten opzichte van business-as-usual in 2020 bij een kosteneffectiviteit van € 100 tot € 200 per ton. Bij bestelauto's lijkt bij een zelfde kosteneffectiviteit ook 1 megaton of circa 20% reductie ten opzichte van business-as-usual in 2020 mogelijk. Dit is exclusief mogelijke derving van accijnsopbrengsten doordat er minder belaste brandstof wordt verkocht.

Deze benadering is voorzichtiger dan de geciteerde bronnen (ECN 2006 en VROM 2006), omdat diverse maatregelen met elkaar concurreren en effecten van maatregelen niet zomaar op elkaar kunnen worden gestapeld. Efficiencywinst die bijvoorbeeld geboekt wordt door de introductie van energiezuinige motor, kan niet nogmaals voor 100% worden geboekt door de introductie van bijvoorbeeld zuinige banden of meer aerodynamische vormgeving. Tevens wordt in deze notitie de verwachte effecten van volumereducerende en gedragsverbeterende maatregelen veel lager geschat dan ECN en VROM doen. Deze voorzichtigheid komt enerzijds voort uit de onbekendheid over kosteneffectiviteit van volumereducerende maatregelen en anderzijds voort uit de onafdwingbaarheid van gedragsverbeterende maatregelen.

Maatregelen in categorie van € 200-€ 1000 per ton reductie van CO₂-emissie

Alternatieve brandstoffen en technieken - de zogenaamde eerste generatie biobrandstoffen op basis van voedselgewassen – zijn technisch inmiddels redelijk goed toepasbaar, maar zijn relatief duur.

De kosteneffectiviteit wordt geschat rond de € 200/ton voor Europese biobrandstoffen (ECMT 2007 en IEA 2004). In het SE-scenario wordt reeds rekening gehouden met 5,75% bijmengen van biodiesel tot 2020, in het GE-scenario wordt met 2% gerekend. Beide bijmengscenario's lijken niet genoeg om, aangevuld met technische maatregelen, voldoende reductie op te leveren om de doelstelling van 'stabiliseren op niveau 1990' te halen.

In het licht van de sterk stijgende vraag wijst het UN-Energy onderzoek (2007) op een negental kritische punten die mogelijk beperkingen opleggen aan het duurzaam verbouwen van en handel in biogewassen. Het UN-rapport stelt onder andere dat het toepassen van biobrandstoffen in de transportsector slechts een beperkte kostenbesparing oplevert door hoge startsubsidies en het verlies van accijnzen. Er lijken vanuit kosten-oogpunt en duurzame beschikbaarheid grenzen te zijn aan het op zeer grote schaal willen toepassen van biobrandstoffen in de transportsector.

De zogenaamde tweede generatie biobrandstoffen op basis van gras- en houtachtige gewassen zijn mogelijk goedkoper, maar het onderzoeks- en ontwikkelingstraject van deze brandstoffen bevindt zich pas in een beginnende fase. De kunst wordt om energie met voldoende rendement uit de biomassa te 'gassificeren' (van harde substantie naar vloeibare energie omzetten). Het ECMT adviseert eerst de kosteneffectiviteit van verschillende typen biobrandstoffen goed in kaart te brengen omdat de meningen nogal uiteen lopen en er nog veel onzekerheid is. De International Energy Agency concludeert in 2004 dat de kosten van het produceren ten minste gehalveerd moeten worden willen zij kunnen concurreren met de huidige fossiele brandstoffen.

Verschillende autofabrikanten hebben programma's voor de ontwikkeling van hybridemotoren, vooral bij personenauto's. Mogelijk kan deze techniek ook gebruikt worden voor bestelauto's en vrachtwagens, maar er is weinig over gepubliceerd. De meerkosten voor personenauto's en bestelauto's liggen rond de € 7.000,- per vergelijkbaar conventioneel voertuig.

Aan de waterstof-brandstofcelvoertuigen wordt internationaal veel R&D-geld gespendeerd. Aangezien waterstof uit vele soorten energiebronnen kan worden gemaakt is het niet eenduidig hoeveel CO₂ gepaard gaat met de productie en het gebruik van waterstof. Nog veel R&D is nodig om deze technologie verder te ontwikkelen en om de kosten te verlagen. Optimistische schattingen gaan uit van een kosteneffectiviteit in de toekomst tussen de € 300 - € 1000 (MNP 2007).

Er zijn met deze alternatieve brandstoffen en technieken zeker mogelijkheden, maar de kosteneffectiviteit is voorsnog erg laag. R&D-onder-

steuning om technische doorbraken – en daarmee kostenreductie – te bewerkstelligen lijkt een belangrijk beleidsspoor voor de toekomst.

PRC (2007) rekent voor dat een 'geforceerde modal shift' van het goederenvervoer over de weg naar binnenvaart en spoor alleen mogelijk is met fors ingrijpen van de overheid.

Het door PRC als meest efficiënt gepresenteerde maatregelenpakket – onder andere met sterk beprijzen van wegvervoer en subsidiëren van het spoor, de binnenvaart en de overslag – levert een besparing op van 0,4 megaton bij een kosteneffectiviteit van € 664 per ton CO₂.

Maatregelen waarvan de kosteneffectiviteit niet bekend is

Het verminderen van de hoeveelheid verkeer of in ieder geval het temperen van de verkeersgroei is lange tijd een van de speerpunten van het verkeers- en vervoersbeleid geweest. Uit de onderzochte rapporten blijkt niet direct in welke mate en tegen welke kosten vervoersvolumereductie kan bijdragen aan reductie van CO₂-emissies.

VROM (2006) is positief over de mogelijkheden en schat voor het goederenvervoer een maximaal haalbare reductie van 10% door verbetering van het logistieke proces. Het is hierbij onduidelijk welke beleidsmaatregelen kosteneffectief bijdragen aan volumereductie en of deze volumereductie werkelijk mogelijk is.

De Transport Research Board (2007) stelt dat ingrijpen in de ruimtelijke ordening om het totale transportvolume te reduceren kansen biedt, maar dat dit tegelijkertijd vraagt om betrokkenheid van meerdere bestuurslagen. Deze hebben elk hun eigen doelen en verantwoordelijkheden, waardoor resultaten doorgaans lange tijd op zich laten wachten. Dit maakt het ingrijpen in de ruimtelijke ordening onzeker en moeilijk uitvoerbaar.

De inzet van langere en zwaardere voertuigcombinaties (LZV's) kan bepaalde reductiewinsten opleveren. De kosten voor de vervoerders zijn minimaal, maar onduidelijk is welke kosten verbonden zijn aan de mate van invloed op verkeers(on)veiligheid en benodigde aanpassingen van infrastructuur (kleine rotondes) en 'kunstwerken' (bruggen en viaducten).

Gezien deze onzekerheden wordt aan dit spoor geen grote emissiereductie toegekend. Nadere studie is nodig.

4. Transportsectoren die volgens het Kyoto-protocol niet aan landen toevallen

In deze paragraaf worden mogelijke maatregelen en beleidsinstrumenten gedetailleerd beschreven voor de internationale zeevaart en luchtvaart.

Van alle brandstof die in 1990 door de zeescheepvaart wereldwijd werd verstoekt, werd 24% in de Verenigde Staten getankt en 10% in Nederland. Het Nederlandse aandeel in de totale brandstofinname door de internationale luchtvaart bedroeg in 1990 ongeveer 1%. Bij de internationale luchtvaart is wederom de Verenigde Staten koploper met een aandeel van 43%.

Tussen 1990 en 2003 is door groei van de transportsector de brandstofinname door de internationale zeescheepvaart ('bunkering') in Nederland toegenomen met ongeveer 25%, de brandstofinname door de internationale luchtvaart is meer dan verdubbeld (ongeveer 120%) (VROM 2006). De CO₂-emissies ten gevolge van de verbranding van de in Nederland gebunkerde brandstoffen bedroeg in 2003 ongeveer 53 megaton.

Deze 'bunker-emissies' worden in het Kyoto-protocol niet aan Nederland toegerekend. De CO₂-emissies door de bunkering van brandstoffen in Nederland door de internationale lucht- en zeescheepvaart is ongeveer anderhalf maal groter dan de CO₂-emissies van het totale binnenlandse verkeer en vervoer (zie tabellen in bijlage 1).

Luchtvaart

De Europese Commissie stelt voor om de richtlijn emissiehandel van broeikasgas-emissierechten (emission trading system, ETS, richtlijn 2003/87) te wijzigen zodat vanaf 2011 luchtvaartactiviteiten onder dit systeem komen te vallen. De Commissie heeft berekend dat uitgaande van een prijs van luchtvaartemissierechten van € 30, een prijsstijging van een retourticket met een bedrag tussen de € 5 tot € 40 is te verwachten, afhankelijk van de lengte van een vlucht.

CE (2005) verwacht dat luchtvaart bij deze prijzen voor de rechten vooral gaat kopen bij andere sectoren in het ETS, omdat ze veronderstellen dat de goedkoopste mogelijkheden van emissiereductie buiten de luchtvaart liggen. Zij schatten een emissiereductie voor alle Europese landen van ruwweg 25 megaton in 2012, op een totale uitstoot zonder opname in het ETS van ruwweg 180 megaton.

Als maatregel om de CO₂-emissie te reduceren zijn de luchtvaartmaatschappijen zelf positiever over opname in het ETS dan bijvoorbeeld de introductie van allerlei milieuheffingen (EAI 2006). Een wereldwijde oplossing via ICAO zou volgens hen nog beter zijn.

Het belangrijkste instrument op dit moment is opname van luchtvaart in het systeem van Europese emissiehandel. De opname van luchtvaart in het ETS lijkt logisch en qua kosten en effecten veelbelovend.

Zeevaart

De Europese Commissie zal in het najaar van 2007 een uitspraak of ook de sector zeevaart onder het ETS gebracht moet worden (ENDS 2007). De EC is tot de conclusie gekomen dat de International Maritime Organization (IMO) internationaal niet kordaat genoeg optreedt in het terugbrengen van CO₂-emissie. De EC verwacht mogelijk voor de zeevaart een soortgelijk scenario als voor de luchtvaart in te voeren.

In het literatuuronderzoek hebben wij één bron (CE 2006) gevonden die een drietal opties beschrijft van Europees te nemen maatregelen.

1. Eisen dat EU-vervoerders en/of EU-scheepseigenaren en/of EU-verladers voldoen aan een CO₂-emissienorm (g/tonkilometer bijvoorbeeld),
2. CO₂-emissie gedifferentieerde haventarieven,
3. opnemen van CO₂-emissie van zeeschepen in het Europese emissiehandelssysteem.

De huidige kosten voor het recht om een ton CO₂ uit te stoten binnen het Europese systeem van emissiehandel zijn laag: rond 1 euro. De meeste specialisten verwachten hogere prijzen voor de tweede ronde – 2008 tot 2012 – geschat tussen de € 10 tot € 40 per ton (www.euractiv.com/en/sustainability/eu-co2-emissions-rise-2006/article-162960).

Nog onbekend is precies hoeveel de totale handel binnen het ETS gaat betreffen, de meest betrouwbare schattingen liggen tussen de 2000 en 2400 megaton per jaar (Neuhoff 2006). De verwachting is dat opname van zeescheepvaart binnen het ETS tot beperkte kostenverhogingen binnen de zeescheepvaart leidt. Bedragen van € 10 tot € 40 per ton CO₂-emissie lijken 'gemakkelijk' op te vangen, want de uitstoot per ton kilometer per schip zijn relatief laag – ruwweg rond de 100 g/nautische ton kilometer volgens CE (2006) – waardoor de prijsverhogingen per vervoerde ton gering zijn.

Of de kosten van de andere twee opties, zoals hiervoor genoemd, hoger zijn, is moeilijk aan te geven. Waarschijnlijk wel, maar er is onvoldoende informatie gevonden om dit hard te maken.

Absoluut gezien is er een veel groter reductiepotentieel in de internationale lucht- en zeevaart dan in de nationale DGTL-sectoren. Indien afspraken op EU-niveau tot stand komen, lijkt geen van de voorstellen de concurrentiepositie serieus aan te tasten. Bij de opties van zeescheepvaart is nog wel veel onderzoek nodig naar het precieze ontwerp van het instrument (inclusief handhavingsvraagstukken) en moet ook de internationale onderhandelingen nog beginnen.

Bijlage 1: WLO-scenario's in beeld

Tabel 1a:

Ontwikkeling CO₂-emissie in megaton volgens het International Platform for Climate Control (IPCC) voor het Global Economy scenario voor binnenlandse DGTL-sectoren, personenauto's en internationale DGTL-sectoren.

CO ₂ -emissie (megaton) IPCC	Global Economy					
	1990	2000	2010	2020	2030	2040
Bestelauto's	2,4	4,8	4,9	5,3	6,4	6,9
Vrachtwagens	5,7	6,9	8,9	10,7	12,2	13,9
Binnenvaart	0,4	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5
Luchtvaart (LTO)	0,04	0,04	0,06	0,09	0,09	0,09
subtotaal DGTL-sectoren	8,5	12,3	14,4	16,6	19,2	21,4
<i>personenauto's</i>	16,2	18,7	22,4	27	30,4	34,6
<i>Overigen (bussen, motors, rail etc.)</i>	<i>Nb</i>	<i>nb</i>	<i>nb</i>	<i>nb</i>	<i>Nb</i>	<i>nb</i>
Totaal verkeer en vervoer	30,4	36,6	42,3	49,1	55,2	61,9
Internationaal (bunkers) totaal	?	52,4	70	89,7	103,9	120,6
Zeevaart	?	42,1	54,1	66,9	80,7	97,3
Luchtvaart	?	9,7	15,2	22	22	22
Binnenvaart	?	0,6	0,7	0,9	1,1	1,3

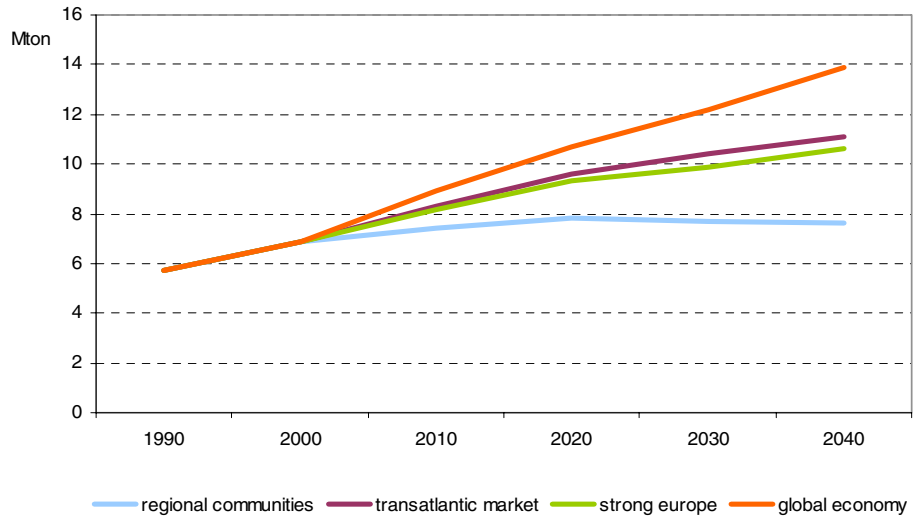
Tabel 1b:

Ontwikkeling CO₂-emissie in megaton volgens IPCC voor het Strong Europe scenario voor binnenlandse DGTL-sectoren, personenauto's en internationale DGTL-sectoren.

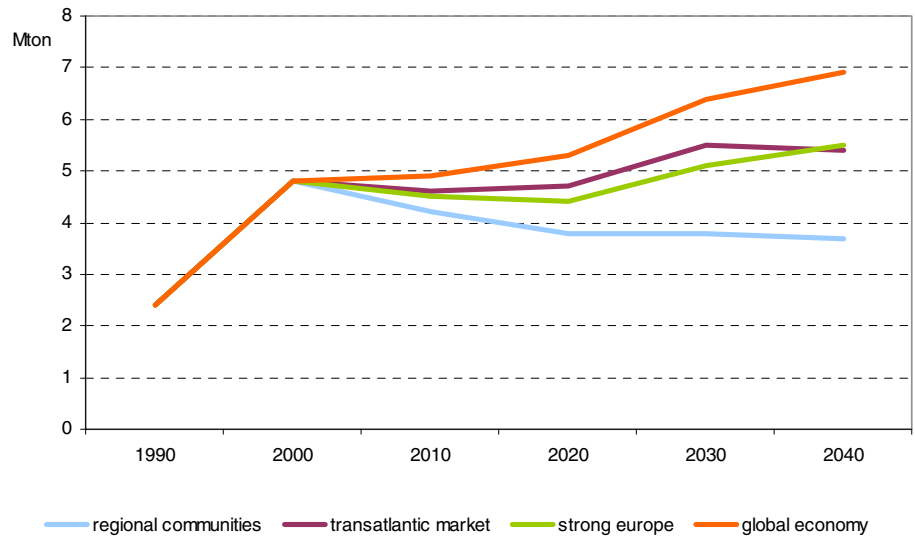
CO ₂ -emissie (megaton) IPCC	Strong Europe					
	1990	2000	2010	2020	2030	2040
Bestelauto's	2,4	4,8	4,5	4,4	5,1	5,5
Vrachtwagens	5,7	6,9	8,2	9,3	9,9	10,6
Binnenvaart	0,4	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4
Luchtvaart (LTO)	0,04	0,04	0,06	0,07	0,07	0,07
subtotaal DGTL-sectoren	8,5	12,3	13,3	14,3	15,5	16,6
<i>personenauto's</i>	16,2	18,7	21,7	23,3	22,6	22,1
<i>overigen (bussen, motors, rail etc.)</i>	<i>Nb</i>	<i>nb</i>	<i>nb</i>	<i>nb</i>	<i>nb</i>	<i>nb</i>
Totaal verkeer en vervoer	30,4	36,6	40,4	42,9	43,4	44
Internationaal (bunkers) totaal	?	52,4	61,7	72,1	77,9	84,4
Zeevaart	?	42,1	48	54,5	60,2	66,6
Luchtvaart	?	9,7	13,1	16,9	16,9	16,9
Binnenvaart	?	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9

bron: Verkeer en vervoer in de Welvaart en Leefomgeving, Milieu- en Natuurplanbureau, 2006.

Figuur 2.a:
Ontwikkeling CO₂-emissie vrachtwagens volgens vier WLC scenario's



Figuur 2.b:
Ontwikkeling CO₂-emissie bestelauto's volgens vier WLO-scenario's



Bijlage 2: Beschrijving per sector

Hieronder geven wij per sector aan:

- de uitgangssituatie,
- mogelijke maatregelen die in de literatuur gevonden zijn en die de sector zelf kan nemen om CO₂-emissie te reduceren,
- een inschatting van de kosten per maatregelen voor zover er gegevens beschikbaar zijn,
- instrumenten die de overheid kan inzetten om de vervoersbranche te bewegen de maatregelen door te voeren, en
- de inschatting over het reductiepotentieel in de betreffende sector.

1) Vrachtwagens

Uitgangssituatie:

- Vrachtwagens hebben in 1990 ongeveer 19% (5,7 megaton) bijgedragen aan de CO₂-emissie van verkeer en vervoer in Nederland (30,4 megaton). De verwachting is dat in 2020 dit aandeel groeit naar ongeveer 22% (SE- en GE-scenario, respectievelijk 9,3 megaton en 10,7 megaton). Voor personenauto's en bestelauto's gelden respectievelijk de volgende verwachtingen: ongeveer 53% (16,2 megaton) naar 54-55% (23,3 en 27,0 megaton) en ongeveer 8% (2,4 megaton) naar 10-11% (4,4 en 5,3 megaton).
- De absolute groei van CO₂-emissie voor vrachtwagens in 2020 komt uit tussen de 3,6 en 5,0 megaton. De groei in '90-'00 komt volgens het CBS geheel voor rekening van zogenaamde 'trekkers' (vrachtwagen met oplegger), er is een afname bij 'gewone' vrachtwagens. Er is een trend in de markt waarneembaar in de richting van grotere voertuigen.
- Volgens het CBS ligt momenteel de gemiddelde uitstoot van CO₂ van personenauto's op ongeveer 190 gram/km, van bestelauto's op ongeveer 260 gram/km en van vrachtwagens en trekkers respectievelijk op ongeveer 850 en 950 gram/km. Let wel, er bestaan grote verschillen tussen typen voertuigen en het gemiddelde verbruik binnen en buiten de bebouwde kom.
- ECN (2006) stelt dat er een vrij stabiele relatie bestaat tussen de CO₂-emissie, het brandstofverbruik en het energiegebruik. Er is dus nog geen sprake van ontkoppeling. In wegtransport bestaat autonome efficiëntieverbetering van ca. 0,7% per jaar brandstofreductie per gereden voertuigkilometer. Deze verbetering is in WLO-scenario's wel bij bestelauto's, maar niet bij vrachtwagens opgenomen. Als deze trend doorzet bij vrachtwagens heeft dit een extra positief effect van ongeveer 0,5 megaton reductie ten opzicht van business-as-usual-scenario's.
- Het aandeel van brandstofkosten in de totale vervoerskosten hangt af van het type voertuig, en ligt doorgaans tussen de 30% en 40%.

- Door brandstofreductie en lagere transportkosten neemt de vraag naar transport toe. ECN (2006) stelt dat 10% verbetering brandstofefficiëntie leidt tot 2-4% stijging voertuigkilometrage, dus slechts tot 6-8% brandstofbesparing oplevert. Het is mogelijk dat deze elasticiteit aan de hoge kant is geschat, maar de aanwezigheid van zogenaamde reboundeffecten is wel plausibel.

Maatregelen:

VROM (2006) deelt maatregelen om de CO₂-emissies door verkeer te verminderen in naar de volgende vier hoofdgroepen:

1. volumereductie
2. efficiencyverbeteringen
3. rijgedrag en snelheden
4. alternatieve brandstoffen

In de onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste reductiemogelijkheden die het KiM heeft kunnen vinden in de literatuur, welke schattingen van CO₂-emissie reductie worden gegeven, en wat bekende voor- en nadelen zijn.

Tabel 2:

Overzicht van in literatuur gevonden maatregelen voor vrachtwagens

Optie	Nadelen	Voordelen	Nader onderzoek
<i>Volumereductie: schattingen reductiepotentieel in literatuur: 0-25%</i>			
1) wijziging economische structuur en ruimtelijke ordening kan vervoersvraag/transportprestatie verminderen	Veel lokale partijen zijn betrokken bij RO-beslissingen.	Een onderzoek naar de potentiële effecten van verbeteringen in het logistieke proces, concludeerde dat de transportbesparing 15 tot 20% zou kunnen bedragen (CE/KVN/TLN, 1996). Aangezien mogelijk een deel van deze potentie inmiddels in praktijk is gebracht, gaat VROM voorzichtigheidshalve uit van een maximaal haalbare reductie van 10% door verbetering van het logistieke proces.	Grote onzekerheid over te behalen reductiewinsten. Onderzoek is nodig naar effectieve en efficiënte beleidsinstrumenten.
2) logistieke en strategische opties: meer vervoeren met minder voertuigen, onderzocht door Bates (2001) 20-25% reductie voertuigkilometers mogelijk	sterke afhankelijkheid derde partijen, en recente verschuiving van bulkvervoer naar Just-in-time leidt juist tot een hoger brandstofverbruik		Nader onderzoek nodig of de potentie in de praktijk realistisch is
3) LZV (Arcadis 2007): 1-6% vrachtautocombinaties met	Mate van invloed op verkeers(on)veiligheid en beno-	Besparing aantal ritten mogelijk. Onderhoud asfalt niet	

een maximumlengte van 25,25 m (nu 18,75 m) en een maximum-totaalgewicht (GVW) van 50, 60 of 70 ton (nu 50 ton).	digde aanpassing infrastructuur en 'kunstwerken' onduidelijk. Concurrentie met intermodaal vervoer (binnenvaart en spoor).	duurder vanwege spreiding druk over meer assen.	
4) geforceerde modal shift (PRC 2007): 0-5%	Subsidiëren spoor, binnenvaart en overslag noodzakelijk. Uitgebreid beleidspakket noodzakelijk. Hoge kosten.	Benutting overcapaciteit spoor en binnenvaart.	
<i>Efficiencyverbeteringen: schattingen reductiepotentieel in literatuur: 3-10%</i>			
1) motortechnische verbeteringen: - transmissie - smeermiddelen/olie - stationair draaien - injectie/turbo - warmtehuishouding - hybride (3-5%)	Motorolie met een lagere viscositeit kan de interne weerstand in de motor (-1,5%) en transmissie (-1,5%) verminderen. Vaak heeft deze motorolie een synthetische basis. Zij wordt weinig gebruikt in het vrachtverkeer, enerzijds omdat voertuigeigenaren bang zijn voor versnelde slijtage aan de motor, anderzijds omdat motorfabrikanten hun garantie laten vervallen bij gebruik van motorolie met afwijkende chemische specificaties.	De motor van een truck draait vaak stationair om de cabine te verwarmen of te koelen en om elektrische apparaten van stroom te voorzien. Er is weinig informatie beschikbaar over het aantal uren dat de motor van een truck stationair draait, en de schattingen lopen uiteen van 1000 tot wel 5000 uur per jaar.	Hier liggen mogelijkheden.
2) verbetering aerodynamica - profiel voorkant - bumpers/wieldoppen - hoeken - luchtstroom (1-3%)	De opties kennen enige interactie, waardoor hun potentiële niet volledig bij elkaar opgeteld kunnen worden. Voor al deze opties geldt dat het potentieel op korte afstanden (en dus doorgaans lagere snelheden) kleiner is (ca. 1%) dan op grote afstanden (ca. 3%).	Het stroomlijnen van een truckcabine of vrachtwagen door het afronden van de profielen is al ruim aanwezig in het huidige wagenpark.	Mogelijke aanpassingen aan de vorm van een trailer zijn minder uitvoerig getest. Op langere termijn zal het mogelijk worden om actief de luchtstromen rondom een voertuig te beïnvloeden door middel van pneumatische blowing.
3) vermindering rolweerstand - banden - gewicht voertuig (2-4%)	Gewicht: aluminium is lichter maar dure vervanger voor staal.	Nieuwe technologie lageweerstand-banden is beschikbaar.	Banden: lobby om huidige productiemethoden te beschermen is sterk.
<i>Rijgedrag: schattingen reductiepotentieel in literatuur: 3-10%</i>			
1) rijgedrag	gedrag chauffeurs moeilijker beïnvloedbaar bij krapte arbeidsmarkt.	Programma 'het nieuwe rijden' beschikbaar.	Beperkte mogelijkheden.
2) snelheid omlaag	Maximum snelheid in Europa is al laag.		

3) aankoopgedrag	Effect met name bij personenvervoer te verwachten.		
<i>Alternatieve schattingen reductiepotentieel in literatuur: 0-90%</i>			
1) aardgas	Geen optie voor zwaar vrachtverkeer omdat benzinemotoren voor gas een veel lager rendement hebben dan diesels.		
2) biobrandstoffen	Biodiesel kan in moderne dieselauto's weliswaar tot 100% worden bijgemengd, echter vanaf circa 5% mag het mengsel geen diesel meer worden genoemd en vervalt de garantie van de autofabrikant. Biobrandstof heeft vaak andere eigenschappen dan fossiele brandstof, zoals energiedichtheid, vloeibaarheid, ontstekingsstemperatuur, en kan voertuigaanpassingen noodzakelijk maken.	Biobrandstoffen kunnen puur worden gebruikt maar ook bijgemengd aan benzine of diesel.	Hier liggen mogelijkheden, maar kosteneffectiviteit is laag. Onduidelijke economische en ecologische effecten van op grote schaal produceren biogewassen.
3) waterstof	Aangezien waterstof uit vele soorten energiebronnen kan worden gemaakt is het niet eenduidig hoeveel CO ₂ gepaard gaat met de productie en het gebruik van waterstof. Alleen wanneer waterstof uit aardgas wordt toegepast in een brandstofcel, heeft fossiel-waterstof een CO ₂ -voordeel.	Waterstof uit biomassa of duurzame energiebronnen scoort qua CO ₂ -balans aanzienlijk beter.	Het kan nog wel 20 jaar duren voordat technologie op grote schaal gebruikt wordt.
4) elektriciteit	De wijze van opwekking van elektriciteit bepaalt in belangrijke mate in hoeverre het gebruik van elektrisch vervoer de CO ₂ -emissies zullen verlagen. Bij opwekking van elektriciteit uit kolen is de CO ₂ -reductie van een elektrisch voertuig 10% lager dan van een conventioneel voertuig met verbrandingsmotor.	Bij opwekking uit aardgas bedraagt de CO ₂ -emissiereductie zelfs 50% en bij opwekking uit hernieuwbare energiebronnen (wind, water, zon) zelfs meer dan 90% (Van den Brink, 2003).	

Kosten/haalbaarheid:

VROM (2006) concludeert dat binnen de sector verkeer zeer kosten-effectieve maatregelen zijn te nemen in de sfeer van rijgedrag maar dat het potentieel van deze maatregelen gering is. Deze gedachte wordt ondersteund in deze notitie. Technische aanpassingen aan motoren en voertuigen zijn minder kosteneffectief (100-300 euro/ton) maar hebben wel een groot potentieel. Wel geldt dat de kosten van technische aanpassingen snel oplopen met de mate van verbetering die gewenst is.

Men veronderstelt een lage brandstofprijselasticiteit in het vrachtvervoer, dat een beperkende invloed heeft op mogelijke reductie effecten. Dat betekent dat de kosten relatief hoog zijn om verdere besparingen te realiseren. Je moet immers flinke brandstofkostenverhogingen afdwingen als overheid, om enige besparingseffecten te krijgen.

Er is sprake van derving van accijnsopbrengsten. De reductie van CO₂-emissie in het transport is gebaseerd op minder en/of zuinigere kilometers wat leidt tot minder verkochte liters belaste brandstof aan de pomp. Dit zijn aanzienlijke maatschappelijke kosten waarmee de politiek rekening moet houden.

Volumereductie: grote potentie, moeilijk te realiseren

Structuuropties liggen doorgaans buiten het bereik van de vervoerder. Een betere clustering van activiteiten kan de vervoersvraag (via wijziging van de economische structuur) of transportprestatie (via wijziging van ruimtelijke ordening en infrastructuur) verminderen, maar realisatie ervan is moeilijk. Strategische opties vallen, populair gezegd, onder de vraag hoe met minder voertuigen dezelfde hoeveelheid vracht te vervoeren is. Deze opties zijn vaak van logistieke aard en hebben niet zelden te maken met meerdere actoren. Door de betrokkenheid van vaak meerdere actoren, is het niet vanzelfsprekend dat opties geïmplementeerd worden.

.....
Tabel 3:
logistieke, strategische opties
(Bates et al., 2001).

<i>Logistieke optie</i>	<i>Potentiële reductie (in voertuigkm)</i>	<i>Economische baten</i>
Voertuiggrootte tot 60 ton (benutting laadvermogen)	- 6%	Positief
Coördinatie tussen transporteurs verbeteren	- 5%	Positief
Verpakking van goederen verbeteren (goed volumegebruik)	- 5%	Positief
Wagenparkbeheer (voertuigkeuze), mobiele communicatie	- 4%	Positief
Overstappen van eigenvervoer op transportbedrijven	- 3%	Pos/Neg
Volledige transportrechten (in internationaal verkeer)	- 2%	Positief
Verbeterde routepanning voor zware vrachtwagens	- 2%	Positief
Stadsdistributie	- 1%	Negatief

Ondanks de logistieke vooruitgang heeft er de laatste jaren een verschuiving plaatsgevonden van bulktransporten door fabrikanten met grote voertuigen (aanbodgestuurd) naar door de afnemers gestuurde aanvoer van goederen (vraaggestuurd) (Euro-CASE, 2001). Zo heeft de just-in-time-delivery geleid tot extra brandstofverbruik door inzet van kleinere voertuigen, lagere beladingsgraden en hogere snelheden (EEA, 2006).

De Transport Research Board (2007) stelt dat ingrijpen in de ruimtelijke ordening om het totale transportvolume te reduceren kansen biedt, maar dat dit vraagt om sterke betrokkenheid van meerdere bestuurslagen, elk met eigen doelen en verantwoordelijkheden, en resultaten doorgaans lange tijd op zich laten wachten. Dit maakt ingrijpen in de ruimtelijke ordening onzeker en moeilijk uitvoerbaar.

Arcadis (2007) concludeert dat de inzet van langere en zwaardere voertuigcombinaties (LZV's) kan leiden tot 3-6% minder emissie van CO₂. CE (2000) is voorzichtiger met ongeveer 1%, waarschijnlijk omdat zij reboundeffecten meetelt en rekening houdt met substitutie van spoor en binnenvaart naar LZV's. De conclusie dat ongeveer 0,1 megaton reductie in CO₂-emissies te behalen is met LZV's lijkt reëel. De kosten voor vervoerders zijn minimaal, maar onduidelijk is nog welke kosten verbonden zijn aan de mate van invloed op verkeers(on)veiligheid en benodigde aanpassingen van infrastructuur (kleine rotondes) en 'kunstwerken' (bruggen en viaducten).

PRC (2007) rekent voor dat een 'geforceerde modal shift' van het goederenvervoer over de weg naar binnenvaart en spoor alleen mogelijk is met fors ingrijpen van de overheid. Het door PRC als meest efficiënt gepresenteerde maatregelenpakket – onder andere met sterk beprijzen van wegvervoer en subsidiëren van de binnenvaart en overslag – levert een besparing op van 0,4 megaton bij een kosteneffectiviteit van € 664 per ton CO₂.

Techniek/efficiency: redelijke potentie, redelijke kosten

- De absolute hoogte van investeringen vallen mee (tot paar duizend Euro per voertuig), maar de terugverdientijd in de transportsector is erg kort, dit is ongeveer 3 jaar. Vooral kleinere ondernemers hebben cashflow-problemen en kunnen daardoor niet snel inspelen op betere technieken. Volgens ECN (2006) kan de besparing oplopen tot 10% per jaar.
- Maar ECN (2006) neemt ook aan dat het merendeel van de kosteneffectieve verbeteringen van de brandstofefficiëntie in de transportsector al doorgevoerd zijn vanwege de beperkte winstmarges, de grote concurrentie, de dominantie van de brandstofkosten en de ruime beschikbaarheid van mogelijke efficiëntieverbeteringen.
- MNP (2007) veronderstelt dat de kosten van verbeteringen sterk toenemen naar mate er meer gereduceerd moet worden.

Gedrag: grote potentie, moeilijk te realiseren

- Het gedrag van chauffeurs is moeilijker beïnvloedbaar bij krapte op de arbeidsmarkt.
- Sturen op aankoopgedrag zuiniger voertuigen, maar fabrikanten /ontwikkelaars lopen hoog risico bij innovatie door free-rider-gedrag.

Alternatieve brandstoffen: grote potentie, erg duur

- Er dient te worden gerealiseerd dat biobrandstoffen nauwelijks effect hebben op de motorefficiëntie van het voertuig, maar vooral op de netto CO₂-emissie. Omdat de productieketen van biobrandstof wezenlijk anders is dan van fossiele brandstof, dient – om een werkelijk goed inzicht te krijgen in effecten op CO₂-emissie – een well-to-wheel van de biobrandstoffen uitgevoerd te worden.
- Waterstof en rijden op elektriciteit lijken op korte termijn geen grootschalige oplossing te bieden, maar komen op zijn vroegst over 20 jaar in beeld.

Instrumenten overheid:

Diverse maatregelen mogelijk; fiscaal (belastingen, (kilometer-)heffingen, subsidies), regulering (standaardnormen), R&D (zelf onderzoek doen of stimuleren), informeren en opleiden, afspraken maken met branche (op vrijwillige basis), investeren en richting geven aan beleidsprocessen.

Maatregelen die erop gericht zijn het gedrag van chauffeurs en ondernemers te verbeteren zijn relatief zeer goedkoop en zijn politiek goed te gebruiken, maar de verwachte effecten zijn onduidelijk en moeilijk afdwingbaar. Maatregelen gericht op een (geforceerde) modal shift lijken vooral erg duur en hebben een beperkt effect (PRC 2007).

Vooraf prijzmaatregelen lijken vanuit oogpunt van emissiereductie effectief en hebben tevens een gunstige tot redelijke kosteneffectiviteit, maar zijn politiek vaak moeilijker uitvoerbaar. Voorbeelden van dergelijke opties zijn:

1. heffingen doorvoeren op het gebruik van relatief vervuilende vrachtwagens;
2. het invoeren van een kilometerheffing voor wegverkeer.

Het idee is geopperd om alle “surface transport” onder het EU-ETS te brengen. De aanwezigheid van vele kleine spelers op de vervoermarkt over de weg kan mogelijk leiden tot administratieve problemen. Deze mogelijkheid is in dit onderzoek niet nader onderzocht.

Inschatting over reductiemogelijkheden van CO₂-emissie bij vrachtwagens:

Bij vrachtwagens is veel winst te behalen. Een indicatie: 1 megaton of circa 10% reductie ten opzichte van BAU in 2020. Deze inschatting is voorzichtiger dan de geciteerde bronnen (ECN 2006 en VROM 2006), omdat diverse maatregelen met elkaar concurreren en effecten van maatregelen niet zomaar op elkaar kunnen worden gestapeld. Tevens worden in dit deze notitie de verwachte effecten van volumereducerende en gedragsverbeterende maatregelen lager geschat. Met 10% reductie (is ongeveer 1 megaton) wordt de verwachte absolute groei (3,6 - 5 megaton) tot 2020 slechts beperkt.

Verdergaande maatregelen – bijvoorbeeld meer inzet van biobrandstoffen – hebben een lagere kosten-effectiviteit.

ECN (2006) neemt aan dat het merendeel van de kosteneffectieve verbeteringen van de brandstofefficiëntie in de transportsector al doorgevoerd zijn vanwege de beperkte winstmarges, de grote concurrentie, de dominantie van de brandstofkosten en de ruime beschikbaarheid van mogelijke efficiëntieverbeteringen.

VROM (2006) concludeert dat er binnen de sector verkeer zeer kosteneffectieve maatregelen zijn te nemen in de sfeer van rijgedrag maar dat het potentieel van deze maatregelen gering is. Technische aanpassingen aan motoren en voertuigen zijn minder kosteneffectief maar hebben wel een groot potentieel. Wel geldt dat de kosten van technische aanpassingen snel oplopen met de mate van verbetering.

IPCC stelt mondiaal over vrachtwagens: (medium agreement, limited evidence)

- op lange termijn 10-20% reductie mogelijk door weerstandvermindering op lange afstandvervoer
- hybride technologie met name inzetbaar voor stads- en streekvervoer
- 5-20% reductie mogelijk door verbeterd rijgedrag en verbeterde logistiek
- biobrandstoffen in 2030 wereldwijd tot 10% aandeel
- vervoer is prijsinelastisch, dus grote impulsen nodig om veranderingen door te zetten
- de effectiviteit van standaardnormen kan significant verbeteren door combinatie met fiscale stimulering en klantinformatie
- R&D noodzakelijk omdat huidige verbetervoorstellen niet voldoende zijn om groei in vervoer te compenseren

Bron: IPCC: Fourth Assessment Report, working group III, chapter 5: Transportation and its infrastructure, 2007. CONCEPT-rapport (niet voor extern gebruik), verwachte publicatie in oktober 2007

2) Bestelauto's

Uitgangssituatie:

- Bestelauto's hebben in 1990 ongeveer 8% (2,4 megaton) bijdrage in CO₂-emissie van totale emissie van verkeer en vervoer in Nederland (30,4 megaton). De verwachting is dat in 2020 dit aandeel stijgt naar ongeveer 10-11 % (SE- en GE-scenario).
- De absolute groei van CO₂-emissie voor bestelauto's in 2020 komt uit tussen de 2,0 en 2,9 megaton. Tussen 1990 en 2000 heeft een verdubbeling (!) plaatsgevonden in het bestelverkeer met bijbehorende groei in CO₂-emissie.
- Volgens het CBS ligt de gemiddelde uitstoot van CO₂ van personenauto's op ongeveer 190 gram/km, van bestelauto's op ongeveer 260 gram/km en van vrachtauto's en trekkers respectievelijk op ongeveer 850 en 950 gram/km. Let wel, er bestaan grote verschillen tussen typen voertuigen en het gemiddelde verbruik binnen en buiten de bebouwde kom.
- In Nederland wordt een deel van de bestelwagens tot het personenvervoer gerekend en een deel tot het goederenvervoer.

Maatregelen:

VROM (2006) deelt maatregelen om de CO₂-emissies door verkeer te verminderen in naar de volgende vier hoofdgroepen:

1. volumereductie
 - niets specifiek over gevonden voor bestelwagens (zie bijlage vrachtwagens).
2. efficiencyverbeteringen
 - VROM stelt dat voor bestelwagens nog een flinke verbetering haalbaar is door een norm te stellen tussen 120 en 150 gram CO₂ per kilometer. De kosten van een 20% verbetering worden door VROM op € 1000-2000 per middelgrote dieselauto geschat. Voor het bestelverkeer gelden nog geen normen, dus is de verwachting dat nog relatief goedkoop verbeteringen kunnen worden doorgevoerd.
3. rijgedrag en snelheden
 - snelheidsbegrenzer voor zwaardere bestelauto's geldt al.
 - 'het nieuwe rijden' levert ongeveer 10% besparing op, maar het is onzeker of het gedrag van chauffeurs op grote schaal te beïnvloeden is.
 - Kilometerheffing is vooral positief bij privégebruik. Niet op zakelijk gebruik omdat de verwachting is dat die kosten worden afgewenteld op de klant.
4. alternatieve brandstoffen
 - het bestelverkeer lift mee op ontwikkeling personen- en goederenvervoer (zie bijlage vrachtwagens).

Kosten/haalbaarheid:

Volgens Twijnstra & Gudde (2007) levert Europese normstelling in het bestelverkeer mogelijk 1,1 tot 1,6 megaton tegen een kosteneffectiviteit van €180 tot € 200.

Instrumenten overheid:

Soortgelijke maatregelen als bij vrachtwagens zijn mogelijk; fiscaal (belastingen, (kilometer-)heffingen, subsidies), regulering (standaardnormen), R&D (zelf onderzoek doen of stimuleren), informeren en opleiden, afspraken maken met branche (op vrijwillige basis), investeren en richting geven aan beleidsprocessen.

Ook hier geldt dat maatregelen die erop gericht zijn het gedrag van chauffeurs en ondernemers te verbeteren relatief zeer goedkoop zijn, politiek goed te gebruiken zijn, maar dat de verwachte effecten onduidelijk en onbeheersbaar zijn.

Momenteel gelden er geen emissienormen voor bestelauto's, waardoor de fabrikanten nog niet geprikkeld worden schonere technieken toe te passen.

Inschatting over reductiemogelijkheden van CO₂-emissie bij bestelauto's:

Absoluut zijn bestelwagens een belangrijke sector. Veel reductie is te behalen door normstelling en technische verbeteringen. Een indicatie: 1 megaton of circa 20% reductie ten opzichte van BAU in 2020. Ook hier is deze notitie voorzichtiger dan de geciteerde bronnen (ECN 2006 en VROM 2006) wegens het niet kunnen stapelen van effecten en beperkte mogelijkheden van gedragsbeïnvloeding. Met 20% reductie (is ongeveer 1 megaton) wordt de verwachte absolute groei (2 – 2,9 megaton) tot 2020 slechts beperkt. Positieve effecten voor bestelwagens ontstaan ook door maatregelen personenvervoer (kilometerheffing) en algemene ontwikkelingen ten opzichte van alternatieve brandstoffen.

IPCC stelt modiaal over bestelauto's: (medium agreement, limited evidence)

- op lange termijn tot 50% reductie mogelijk door efficiency-verbeteringen
- 5-20% reductie mogelijk door verbeterd rijgedrag en verbeterde logistiek
- biobrandstoffen in 2030 wereldwijd tot 10% aandeel
- vervoer is prijsinelastisch, dus grote impulsen nodig om veranderingen door te zetten
- de effectiviteit van standaardnormen kan significant verbeteren door combinatie met fiscale stimulering en klantinformatie
- R&D noodzakelijk omdat huidige verbetervoorstellen niet voldoende zijn om groei in vervoer te compenseren

Bron: IPCC: Fourth Assessment Report, working group III, chapter 5: Transportation and its infrastructure, 2007. CONCEPT-rapport (niet voor extern gebruik), verwachte publicatie in oktober 2007.

3) Binnenvaart

Uitgangssituatie:

- Absoluut en relatief is de Binnenvaart (0,4 megaton in 1990; dit is het binnenlandse deel) minder belangrijk wat betreft CO₂-emissie dan bijvoorbeeld het vrachtverkeer over de weg. In zowel het SE- als GE-scenario stijgt de absolute uitstoot in 2020 naar 0,5 megaton. Het bunkerdeel (0,9 megaton) – brandstof getankt voor internationaal vervoer – zou misschien kunnen worden opgenomen in ETS, zie verder bij scheepvaart en luchtvaart.
- ECN en VROM (2006) stellen dat er in de binnenvaart wel nog grote verbeteringen van de brandstofefficiency mogelijk zijn, respectievelijk 15% en 40%. Over kosteneffectiviteit van maatregelen in de binnenvaart is te weinig informatie gevonden om betrouwbare uitspraken te kunnen doen.

-
- De lange levensduur van binnenvaartschepen werkt vertragend op het doorvoeren verbeteringen.
 - De binnenvaart is vrij van accijnzen op diesel; de zogenaamde rode diesel.

Maatregelen:

VROM (2006) deelt maatregelen om de CO₂-emissies door verkeer te verminderen in naar de volgende vier hoofdgroepen:

1. volumereductie
 - niets over belading en logistieke efficiency gevonden met betrekking tot vaartuigen.
 - modal split argument heeft altijd ter bevordering van binnenvaart gediend, niet vermindering.
2. efficiencyverbeteringen
 - motor (5-10% ECN).
 - schroef (10-20% ECN tot 30% VROM).
 - vaarweerstand (10% ECN en VROM).
3. vaargedrag en snelheden
 - Slim varen (ECN: 5% brandstofbesparing), software 'adviserende tempomaat' tegen € 8.000 - € 20.000.
4. alternatieve brandstoffen
 - zie biodiesel vrachtwagens.
 - gasolie koppelen aan EN-590 diesel: maar, EU-regelgeving verhindert dit, terwijl branche bereid is tot maatregel.

VROM (2006) heeft een aantal technieken op een rij gezet die kunnen leiden tot efficiencyverbeteringen. Het is helaas niet bekend tegen welke kosten deze verbeteringen kunnen worden doorgevoerd. Tevens moet men voorzichtig zijn met het stapelen van effecten. VROM (2006) gaat uit van 40-50% reductiemogelijkheden totaal, ECN (2006) is voorzichtiger met 20% in 2030.

Tabel 4:

Overzicht bestaande en nieuwe technieken ter verbetering van de brandstofefficiency van binnenvaartschepen (VROM 2006)

Techniek	Gerealiseerde efficiencyverbetering	Theoretische efficiencyverbetering
<i>Verbetering voorstuwingsrendement</i>		
Contra-roterende roerpropellor	10%	10-15%
Grotere scheepsschroef	25%	20-25%
Scheepsschroef dopmoer met vinnen	4%	5%
Tipplaatschroef	10%	5-15%
Straalbuis om schroef	10%	15-20%
<i>Vermindering vaarweerstand</i>		
Hydrodynamische optimalisatie scheepsromp	7%	2-20%
Vermindering visceuze weerstand scheepsromp	3%	3-4%
<i>Optimalisatie vaarsnelheid en -route</i>		
Adviserende tempomaat	15%	4-15%

Kosten/haalbaarheid:

De lange levensduur van binnenvaartschepen werkt vertragend op verbeteringen. Lage dieselprijs (geen accijnzen) is niet bevorderend voor innovatie. Er is door het KiM onvoldoende informatie gevonden om uitspraken te doen over de kosteneffectiviteit van maatregelen in de binnenvaart.

Volgens ECN (2006) levert 'het nieuwe varen', dat wordt ondersteund door het softwareprogramma "adviserende tempomaat", tegen eenmalige aanschafkosten tussen de € 8.000,- en € 20.000,- een brandstofbesparing van 5% op. Uitgaande van deze brede kostenrange is een dergelijk systeem bij een afschrijvingstermijn van 10 jaar alleen kosteneffectief (€ 40/ton) inzetbaar bij schepen die meer dan 20 – 50 ton CO₂ per jaar uitstoten. Het is onbekend welk aandeel van de vloot dit betreft.

Instrumenten overheid:

Diverse maatregelen mogelijk; fiscaal (belastingen, heffingen, subsidies), regulering (standaardnormen), R&D (zelf onderzoek doen of stimuleren), informeren en opleiden, afspraken maken met branche (op vrijwillige basis), investeren en richting geven aan beleidsprocessen.

Volgens ECN (2006) is het van belang dat weerstandsarme scheepsrompen zullen doordringen in de bulkscheepsbouw. Hier is mede een rol weggelegd voor kennisinstututen zoals MARIN. Standaardisatie van efficiëntie door deskundige organisaties wordt door de sector gezien als een belangrijke randvoorwaarde voor succesvolle implementatie omdat dit de investeerders meer zekerheid geeft dat de beloofde besparing ook daadwerkelijk wordt gerealiseerd. Vanwege de trage vervanging van de vloot, is de verwachting dat het besparingspotentieel van 10% pas rond 2025 voor 50% zijn intrede hebben gedaan in de vloot.

Op de lange termijn (enkele decennia) zullen mogelijk zeer geavanceerde concepten zoals luchtsmering verdergaande besparing door weerstandsvermindering kunnen opleveren.

Nieuwe voortstuwingstechnieken, zoals de Walvisstaart, kunnen volgens het Bureau Innovatie Binnenvaart het brandstofverbruik zelfs met 50% verminderen. De kostprijs van deze techniek is echter hoog. Met het toepassen van watersmering wordt de vaarweerstand vermindert en wordt het brandstofverbruik in theorie af met 15%. Met beide technieken moeten nog praktijkproeven worden uitgevoerd.

Inschatting over reductiemogelijkheden van CO₂-emissie Binnenvaart:

Absoluut is niet veel te halen in Binnenvaart, relatief is er wel veel verbetering mogelijk. R&D is belangrijk, maar kostbaar. Inzicht in de kosteneffectiviteit ontbreekt.

4) Internationale Luchtvaart

Uitgangssituatie:

- Voor vliegtuigen geldt dat ze direct gassen en deeltjes in de hogere luchtlagen uitstoten. Hierdoor veranderen de atmosferische concentraties van broeikasgassen zoals koolstofdioxide (CO₂), ozon (O₃) en methaan (CH₄). Vliegtuigemissies veroorzaken daarnaast ook condensatiesporen (zogenaamde 'contrails') en een toenemende cirrusbewolking. Elk van deze drie factoren draagt bij aan klimaatverandering (IPCC 1999). Omgeven met nog veel wetenschappelijke onzekerheden schatte het IPCC het klimaateffect van de mondiale luchtvaart in 1992 in op circa 0,05 W m⁻²: rond de 3,5% ten opzichte van het klimaateffect van alle antropogene bronnen. Een update (Sausen 2005) gaf voor het jaar 2000 als klimaateffect van de mondiale luchtvaart ook circa 0,05 W m⁻². Het klimaateffect is hierbij uitgedrukt in 'radiative forcing' (in Watt per m²).
- Schattingen voor de jaren 1992 en 2000 zijn oud, maar het zijn de laatst bekende mondiale schattingen: waarschijnlijk ligt de huidige bijdrage van luchtvaart aan het mondiale klimaateffect ergens tussen de 3,5 en 5%. De bijdrage van extra cirrusbewolking als gevolg van vliegtuigemissies is in deze schatting niet meegenomen door het IPCC, omdat de wetenschappelijke bewijsvoering als te zacht wordt beoordeeld. Belangrijk is dus te realiseren dat de 'radiative forcing' van luchtvaart groter is dan alleen een CO₂-effect: elke ton CO₂-uitstoot moet met ongeveer een factor twee worden vermenigvuldigd om een indruk te krijgen van het totale opwarmende effect van vliegtuigemissies (Sausen 2006).
- Recente 'updates' van wetenschappelijke bewijsvoering (CE 2004, Sausen 2006) laten zien dat het klimaateffect van door luchtvaart geïnduceerde cirrusbewolking mogelijk relatief groot is. Mogelijke bijdragen van geïnduceerde cirrusbewolking in 'radiative forcing' worden geschat van 0,01 tot zelfs 0,08 W m⁻².

Maar de wetenschappelijke onzekerheden zijn nog te groot om dit als echt betrouwbare schattingen te zien. In de referentieraming van het IPCC (1999) groeit de mondiale luchtvaart relatief sterk en neemt ook haar klimaateffect in 2050 sterk toe - met circa een factor vier - ten opzichte van het niveau in 1992. Ook deze prognose is exclusief een mogelijk klimaateffect van door luchtvaart geïnduceerde cirrusbewolking.

- Volgens IPCC (1999) voorzien experts een verbetering van de brandstofefficiency van nieuwe vliegtuigen met 20% tussen 1997 en 2015 (is ongeveer 1% per jaar). Doordat vliegtuigen relatief lang meegaan, zal de brandstofefficiency van de vliegtuigvloot aanmerkelijk minder verbeteren. Uit het IPCC-rapport is op te maken dat dit autonome verbeteringen betreft gedreven door de prijsconcurrentie tussen de luchtvaartmaatschappijen. De verbetering van de brandstofefficiency van ongeveer 1% per jaar kan echter niet voorkomen dat de CO₂-emissies door de internationale luchtvaart de komende decennia blijven toenemen. Volgens de IPCC neemt het aantal mondiale vliegtuigpassagiers in de periode 1992-2015 namelijk met zo'n 5% per jaar toe. De CO₂-emissies in de luchtvaart zullen daarom in de periode 1992-2015 met zo'n 4% per jaar toenemen.

Maatregelen:

In het project ESCAPE heeft CE in samenwerking met de Technische Universiteit Delft en Peeters Advies een onderzoek uitgevoerd naar de kosten en effecten van verbetering van de brandstofefficiency van passagiersvliegtuigen (CE 2000). Volgens CE kan het brandstofverbruik van het huidige state of the art passagiersvliegtuig op middenlange termijn met 30% tot 40% omlaag zonder verlaging van de kruissnelheid door verbetering van het motorrendement, een verlaging van de luchtweerstand en een verlaging van het gewicht. Wanneer vliegtuigen zouden worden ontworpen op een lagere kruissnelheid, zijn nog grotere besparingen haalbaar. CE geeft als voorbeeld dat een vliegtuig voortgedreven door een high speed propeller en ontworpen op een kruissnelheid die 15% lager ligt dan de huidige kruissnelheid (800 tot 900 km/h), circa 50% minder brandstof verbruikt dan een modern turbine-aangedreven vliegtuig dat is ontworpen op de huidige kruissnelheid (VROM 2006). Over de omvang van R&D-kosten van dergelijke verbeteringen in het ontwerp is geen informatie beschikbaar.

De Europese Commissie stelt voor om de richtlijn emissiehandel van broeikasgasemissierechten (emission trading system, ETS, richtlijn 2003/87) te wijzigen zodat vanaf 2011 luchtvaartactiviteiten onder dit systeem komen te vallen. Op dit moment is in het ETS ongeveer 2000 megaton CO₂ gealloceerd. Met luchtvaart (intra-Europees en alle overige vertrekkende vluchten) komt daarbij 180 megaton bij. In 2011 wordt gestart met vluchten tussen luchthavens binnen de Europese Unie (EU). Vanaf 2012 moeten ook vluchten die vertrekken vanaf aankomen op een luchthaven in de EU onder het ETS vallen. Vanaf 2012 vallen dus ook luchtvaartmaatschappijen uit niet-EU-landen onder de reikwijdte.

Indien deze niet-EU-landen maatregelen nemen om CO₂-uitstoot tegen te gaan, kan de Commissie besluiten ze uit te zonderen van ETS luchtvaart. De Commissie bepaalt het plafond van de totale hoeveelheid luchtvaartemissierechten in de EU. Dit plafond ligt op het gemiddelde van de CO₂-emissies in de jaren 2004-2006. Voorts bepaalt de Commissie op basis van een benchmark de hoeveelheid gratis rechten voor de luchtvaartindustrie. Daarnaast wordt een door de Commissie nader vast te stellen percentage rechten geveild. Hier zal een verordening voor komen. Nieuwkomers kunnen via een veiling rechten kopen. De veilingen zullen door de lidstaten nationaal worden uitgevoerd.

Kosten/haalbaarheid:

De Commissie heeft berekend dat, uitgaande van een prijs van luchtvaartemissierechten van € 30, een prijsstijging van een retourticket met een bedrag tussen de € 5 tot € 40 is te verwachten, afhankelijk van de lengte van een vlucht. Hierbij is de Commissie uitgegaan van kosten van de rechten van 30 €/ton, dit valt binnen de range 10 tot 40 €/ton (zie bij zeeschepen).

Het is belangrijk op te merken dat vanwege de eenvoud het handelsstelsel zich beperkt tot CO₂. CE (2005) adviseert om de andere broeikas effecten van luchtvaart met flankerende maatregelen aan te pakken.

CE (2005) verwacht dat de luchtvaart bij bovengenoemde prijzen voor de emissierechten vooral gaat kopen bij andere sectoren in het ETS, omdat ze veronderstellen dat de goedkoopste mogelijkheden van emissiereductie buiten de luchtvaart liggen. Zij schatten een afname van ruwweg 25 megaton in 2012, op een totale uitstoot zonder opname in het ETS van ruwweg 180 megaton. Het gaat hierbij om een systeem waarbij alle vluchten zijn betrokken, die vertrekken van een EU25-luchthaven. Mogelijk is dit niet helmaal vergelijkbaar met het voorgesteld systeem, maar qua orde van grootte klopt het redelijk.

Instrumenten overheid:

Het belangrijkste instrument op dit moment is opname van luchtvaart in het systeem van emissiehandel.

Inschatting over reductiemogelijkheden van CO₂-emissie Internationale Luchtvaart:

De verwachte autonome brandstof-efficiency verbetering van 1% per jaar is onvoldoende om de verwachte sterke groei in de luchtvaart van 5% te compenseren.

De opname van luchtvaart in het ETS lijkt logisch en qua kosten en effecten veelbelovend. De verwachting is dat de luchtvaart bij een prijs

rond 30 €/ton vooral emissierechten gaat kopen in plaats van te investeren in technische verbeteringen.

De opname van luchtvaart in het ETS lijkt eenvoudig en een gelopen race, maar er zijn rond het precieze ontwerp en rond draagvlak nog wel onduidelijkheden, die de komende jaren uitgezocht zullen worden, bijvoorbeeld de reactie van de Verenigde Staten.

5) Internationale Zeevaart

Uitgangssituatie:

- De bijdrage van zeeschepen aan de mondiale CO₂-uitstoot bedraagt rond de 2 tot 4% (VROM 2006 en CE 2006).
- Zeeschepen stoten daarnaast andere stoffen uit die indirect een opwarmend (bijvoorbeeld NO_x) of koelend effect hebben (bijvoorbeeld SO₂). Het is onzeker of de huidige hoeveelheid en aard van de uitstoot van zeeschepen een netto opwarmend of afkoelend effect heeft. CE (2006) denkt een netto afkoelend effect, maar ze wijzen er tegelijkertijd op dat de koelende en opwarmende effecten van zeeschepen regionaal kunnen verschillen waardoor er toch klimaatverandering door zeeschepen zal optreden. Bovendien wijzen ze erop dat er steeds meer beleidsdruk is op zeeschepen om de SO₂-uitstoot te beperken, zodat op termijn zeeschepen waarschijnlijk gaan bijdragen aan de opwarming van de aarde.
- CE (2006) citeert de zogenaamde Entec-studie (2005), die momenteel wordt gezien als een bruikbare bron om zeescheep-emissies te schatten en in te delen. Ruw geschat voor het jaar 2000 geldt:
 - Totale mondiale CO₂-uitstoot van alle antropogene bronnen: ruwweg 20.000 tot 40.000 megaton;
 - Emissie zeescheepvaart hierbinnen rond de 800 megaton;
 - Bijdrage zeescheepvaart binnen de EMEP-regio⁴: 150 Megaton, exclusief visserij, inclusief veerboten;
 - Schepen met EU-vlag stoten hiervan 70 megaton uit;
 - In havens binnen het EMEP-gebied wordt 10 megaton uitgestoten;
 - In territoriale wateren 40 megaton;
 - In de 'exclusive economic zones' van de EMEP: 120 megaton.
- Ruw geschat is rond de 40% van de zeescheepvaartemissies van olietankers, 30% tot 35% van bulk carriers, 10% van algemeen vracht, 10% van containerschepen en 5% van overige schepen.

⁴ EMEP staat voor 'European Monitoring and Evaluation Programme'. Het gaat om de 'oude' EU-15 + Bulgarije, Kroatië, Cyprus, Tjechie, Estland, Hongarije, Letland, Litouwen, Malta, Polen, Slowakije en Slovenie.

Maatregelen:

Scheepsbouwers zullen zuiniger schepen bouwen als de markt daarom vraagt. Op basis van Japanse data laat CE (2006) zien dat gedurende de oliecrises van 1973 en 1976 scheepsbouwers zuiniger schepen gingen bouwen. Ruw geschat gaat het om efficiencyverbeteringen bij schepen gebouwd in 1978 en tussen 1984-1986 van 30% tot 40% (in brandstofgebruik per dag per schip). Na 1984-1986 is de trend naar energiezuinigere schepen gestopt, omdat blijkbaar andere operationele wensen belangrijker werden gevonden zoals snelheid en breedte van het schip.

Bij de scheepsmotoren merkt CE (2006) op dat hier nog wel mogelijkheden zijn tot efficiencyverbeteringen, maar ze denken dat de mogelijkheden beperkt zijn.

De scheepseigenaren en de scheepsgebruikers zijn volgens CE (2006) degenen die 'first best' verantwoordelijk zouden moeten worden gesteld voor emissiereductie. Zij hebben directe controle over manieren om zuiniger te varen en ze hebben de controle om zuiniger schepen en/of motoren aan te schaffen.

Monitoring van CO₂-uitstoot van schepen in bepaalde regio's en van vertrekpunt tot eindpunt lijkt mogelijk. Dit komt mede omdat brandstofgebruik per reis (waaraan de CO₂-emissie 'een-op-een' is gekoppeld) ook belangrijke informatie voor de vervoerder is.

In het literatuuronderzoek is één bron (CE 2006) gevonden die een drietal opties beschrijft van Europees te nemen maatregelen.

1. Eisen dat EU-vervoerders en/of EU-scheepseigenaren en/of EU-verladers voldoen aan een CO₂-emissienorm (g/tonkilometer bijvoorbeeld);
2. CO₂-emissie gedifferentieerde haventarieven;
3. opnemen van CO₂-emissie van zeeschepen in het Europese emissiehandelssysteem.

.....
Tabel 5:

Voor- en nadelen per optie voor de zeescheepvaart (CE 2005)

Optie	Nadelen	Voordeel	Nader onderzoek
1) Eisen dat EU-vervoerders en/of EU-scheeps-eigenaren en/of EU-verladers voldoen aan een CO ₂ -emissienorm (g/tonkilometer bijvoorbeeld)	Probleem is om een 'eerlijke' emissie-eis vast te stellen. Er zijn veel typen schepen en typen ladingen. Eén eis voor alle schepen is irreal. Monitoring en handhaving van de eis ingewikkeld	Zou een effectief instrument kunnen zijn. Indien de norm 'scherp' genoeg is, lokt het vervoerders en scheepseigenaren uit om uitstoot te reduceren. De kosten zouden mee kunnen vallen, omdat de mogelijke gedragsreacties breed zijn	Is een 'eerlijke' emissie-eis te ontwikkelen? De optie beperkt tot de EU, vanwege wettelijke problemen om dit mondiaal af te dwingen. Leidt dit

		(en er dus keuze mogelijk is voor de 'goedkoopste'):	tot vermijdingsgedrag (onder andere vlag dan EU gaan varen)?
		<ul style="list-style-type: none"> • Betere belading; • Transportefficiency verhogen; • Snelheid verminderen; • Zuiniger schepen en/of motoren aanschaffen 	
2) Naar CO ₂ -uitstoot gedifferentieerde haventarieven	<p>Gedifferentieerde haventarieven kunnen leiden tot marktverstoringen. Het gebruik van de ene haven blijkt veel prijsgevoeliger dan de anderen (Hamburg heeft een prijselasticiteit voor containervervoer van ruim 4; Rotterdam van 1,5).</p> <p>Havenautoriteiten bepalen nu tarieven. De EU zal deel van deze autonomie overnemen.</p>	<p>Een voordeel is dat het instrument 'haventarieven' al bestaat en in sommige landen reeds vanuit milieuoogpunt (NO_x) wordt gedifferentieerd.</p> <p>Indien de tarieven voldoende differentiëren, lokt het vervoerders en scheepseigenaren uit om uitstoot te reduceren. De kosten zouden mee kunnen vallen, omdat de mogelijke gedragsreacties breed zijn (zie hierboven).</p>	<p>Waarop moet de tariefdifferentiatie zijn gebaseerd? Theoretisch het beste zou genoemde CO₂-eis zijn. De eis zou dan een index worden. Schepen met uitstoot boven de index moeten meer betalen en beneden de index minder.</p> <p>Wat zijn de optimale niveaus van tariefdifferentiatie?</p>
3) Opnemen van CO ₂ -uitstoot van zeeschepen in het Europese emissiehandels-systeem	<p>Er zijn nog veel vragen rond een optimaal ontwerp van de opname van zeescheepvaart in het systeem. Voor welke schepen geldt opname? Wat is de geografische scope? Wie controleert het handelsysteem van de scheepvaart? Om welke klimaatimpact gaat het – alleen CO₂? Hoe worden de rechten gedistribueerd?</p>	<p>In theorie biedt dit zeescheepvaart de mogelijkheden om op de meest goedkope wijze emissies te reduceren.</p>	

De Europese Commissie zal in het najaar van 2007 een uitspraak of ook de sector zeevaart onder het ETS gebracht moet worden (ENDS 2007). De EC is tot de conclusie gekomen dat de IMO (International Maritime Organization) internationaal niet kortdaat genoeg optreedt in het terugbrengen van CO₂-emissie. De EC verwacht mogelijk voor de zeevaart een soortgelijk scenario als voor luchtvaart in te voeren (zie optie 3 hierboven).

Kosten/haalbaarheid:

De huidige kosten voor het recht om een ton CO₂ uit te stoten binnen het Europese systeem van emissiehandel (ETS) zijn laag: rond 1 euro. De meeste specialisten verwachten hogere prijzen voor de tweede ronde – 2008 tot 2012 – ruw geschat rond de 10 tot 40 €/ton (www.euractiv.com/en/sustainability/eu-co2-emissions-rise-2006/article-162960). De handel binnen ETS betreft nu ongeveer 2000 megaton. Nog onbekend is precies hoeveel de totale handel binnen het ETS zal betreffen, de meest betrouwbare schattingen liggen tussen de 2000 en 2400 megaton per jaar (Neuhoff 2006). We vermoeden dat opname van zeescheepvaart binnen ETS tot lage kostenverhogingen binnen de zeescheepvaart leidt. Bedragen van 10 tot 40 €/ton lijken 'gemakkelijk' op te vangen, want de uitstoot per tonkilometer per schip zijn relatief laag – ruwweg rond de 100 g/nautische tonkilometer (CE 2006) – waardoor de prijsverhogingen per vervoerde ton gering zijn. Of de kosten van de andere twee opties, zoals hiervoor genoemd, hoger zijn, is moeilijk aan te geven. Waarschijnlijk wel, maar er is onvoldoende informatie gevonden om dit hard te maken.

Instrumenten overheid:

Zie tabel 5.

Inschatting over reductiemogelijkheden van CO₂-emissie Internationale Zeevaart:

Het terugdringen van emissies bij de zeescheepvaart kan het beste internationaal worden aangepakt. Dat is gemakkelijker gezegd dan gedaan. Wel lijkt het mogelijk, om in navolging bij de luchtvaart, alleen Europees beleid te voeren, wat de internationale politiek draagvlakproblemen al iets kleiner maakt. De Europese Commissie zal dit najaar een besluit nemen om de emissies van zeescheepvaart mogelijk onder te brengen in het Europese systeem van emissiehandel; één van de drie veelbelovende opties. Op dit moment is de kennis naar effecten en kosten van deze optie nog redelijk dun: zie 'nadelen' en 'nader onderzoek'.

Bronnen

Arcadis 2006: *Monitoringsonderzoek vervolgproef LZV; resultaten van de vervolgproef met langere of langere en zwaardere voertuigcombinaties op de Nederlandse wegen*, Arnhem.

CE 2006: Germanischer Lloyd, MARINTEK, Det Norske Veritas: *Greenhouse Gas Emissions for Shipping and Implementation Guidance for the Marine Fuel Sulphur Directive*, CE Delft.

CE 2005: *Giving wings to emission trading. Inclusion of aviation under the European emission trading system (ETS): design and impacts, Report for the European Commission*, CE Delft.

CE 2004 (Ron Wit, Bettina Kampman and Bart Boon): *Climate impacts from international aviation and shipping State-of-the-art on climatic impacts, allocation and mitigation policies*, CE Delft.

CE 2000: *Inzet van langere en/of zwaardere vrachtauto's in het intermodaal vervoer in Nederland; effecten op de uitstoot van CO₂ en NO_x*, CE Delft.

CE ESCAPE 2000: *Economic screening of aircraft preventing emission*, CE Delft.

CPB-MNP-RPB 2006: *Welvaart en Leefomgeving; een scenariostudie voor Nederland in 2040*.

EAI European Aviation Industry 2006: *joint statement on emissions trading scheme*.

ECMT 2007: *Cutting transport emissions; what progress?* European Conference of Ministers of Transport, OECD, Parijs.

ENDS Europe Daily 2007: *Shipping will enter EU-carbon trading scheme*, ISSUE 2302 - 17 april 2007.

ECN 2007; *Project 'Schoner en zuiniger' – document sector Verkeer en Vervoer*, concept 5 mei 2007.

ECN 2006; *kostenefficiëntie van (technische) opties voor zuiniger vrachtverkeer*.

ECN/MNP 2006; *Optiedocument energie en emissies 2010/2020*.

IAE International Energy Agency 2004: *Biofuels for transport*, Parijs.

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change 1999: *Aviation and the Global Atmosphere*, Cambridge University Press.

K. Neuhoff, F. Ferrario, M. Grubb, E. Gabel, K. Keats 2006: *Emission projections 2008-2012 versus NAPs II1*, available www.climate-strategies.org.

MNP/KiM 2007: *Review beleidsdiscussie CO2-emissiereductie bij personenvervoer over de weg; achtergrondnotitie voor de Raad voor Verkeer en Waterstaat, de Algemene Energieraad en de VROM-raad*, eindconcept 8 maart 2007.

PRC 2007: *Onderzoek naar de effecten van Geforceerde Modal Shift*, Bodegraven, maart 2007.

Sausen, R., I. Isaksen, V. Grewe, D. Hauglustaine, D.S. Lee, G. Myhre, M.O. Köhler, G.Pitari, U. Schumann, F. Stordal, C. Zerefos 2005: *Aviation radiative forcing in 2000*.

Transport Research Board 2007: *Protecting the environment; key committee findings and recommendations*, Washington.

Twijnstra & Gudde 2007: *Beleidskader Energie en Klimaat*, concept 6, 17 april 2007.

UN-Energy 2007: *Sustainable Bioenergy; a framework for decisionmakers*.

VROM 2006: *CO₂-beleid verkeer en vervoer in de periode 2010-2030; ambitiedocument*, concept 8-12-2006.

