



Energy research Centre of the Netherlands

# **Kostenefficiëntie van (technische) opties voor zuiniger vrachtverkeer**

**S.M. Lensink  
H.P.J. de Wilde**

ECN-E--07-003

March 2007

## Verantwoording

Dit rapport is geschreven in het kader van een bredere adviesopdracht van het ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. Deze opdracht staat bij ECN geregistreerd onder projectnummer 7.7766.

## Abstract

Several measures and technologies potentially decrease the emission of CO<sub>2</sub> in the freight transport sector. A literature survey shows an overview of CO<sub>2</sub> emission reduction options for freight transport on the road and for inland shipping. Many options are cost effective, as CO<sub>2</sub> emissions are strongly correlated to the fuel consumption. The payback time is mostly around three years. However, to have a technology implemented in the transport sector, the payback time should not be more than three years. Therefore, a certain indifference can be expected in transport companies to implement those technologies, as far as financial motives are concerned.

The collected information indicates a CO<sub>2</sub> emission reduction potential of 2% in 2010 and 15% in 2020 for the inland shipping sector in the Netherlands. The indicative potential for the road transport sector in the Netherlands is 5% to 10% in 2015. In 2015, most of the road freight vehicles will be replaced, due to the relative short life time of road freight vehicles. The reduction potentials for 2030 are estimated at 20% for inland shipping and 15% for road freight transport in the Netherlands.

More problems might arise in implementation of CO<sub>2</sub> emission reduction options, besides the length of the payback time. Other problems comprise the lack of transparency in fuel economy of new vehicles, driver preferences, the industrial structure hindering vehicle component developers in demonstrating their product in practice, and the existence of free-riders in technology development within the freight vehicles manufacturers.

# Inhoud

|  |    |
|--|----|
| Lijst van tabellen                           | 4  |
| Samenvatting                                 | 5  |
| 1. Inleiding                                 | 7  |
| 2. Besparingsopties                          | 8  |
| 2.1 Inleiding                                | 8  |
| 2.2 Volume- en structuuropties               | 8  |
| 2.3 Logistieke en strategische opties        | 8  |
| 2.4 Operationele en technologische opties    | 9  |
| 2.4.1 Efficiëntie van de transportmodaliteit | 9  |
| 2.4.2 Brandstofefficiëntie                   | 9  |
| 2.4.3 Voertuigefficiëntie                    | 10 |
| 2.4.3.1 Gedragmatige aanpassingen            | 10 |
| 2.4.3.2 Technische aanpassingen              | 11 |
| 3. Discussie en conclusie                    | 16 |
| 3.1 Barrières                                | 16 |
| 3.2 Indirecte effecten                       | 16 |
| 3.3 Realistisch potentieel                   | 17 |
| Referenties                                  | 18 |

## Lijst van tabellen

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Tabel 1.1 | <i>Brandstofkosten als percentage van operationele kosten</i>   | 7  |
| Tabel 2.1 | <i>Logistieke, strategische opties</i>  | 8  |
| Tabel 2.2 | <i>Reductieopties voor vrachtverkeer op de weg, inclusief (verwacht) introductiejaar van de technologie en de installatiekosten</i> | 13 |

## Samenvatting

Beperking van de uitstoot van CO<sub>2</sub> in het vrachtverkeer staat sterk in de belangstelling. In dit rapport wordt op basis van een literatuurstudie een overzicht gegeven van CO<sub>2</sub>-emissiereductieopties voor het vrachtverkeer op de weg en in de binnenvaart. Deze opties zijn vaak kosteneffectief, omdat de CO<sub>2</sub>-uitstoot sterk samenhangt met het brandstofgebruik en omdat het brandstofgebruik een belangrijke component is in de kosten van het vrachtvervoer. De opties hebben doorgaans een terugverdientijd van circa drie jaar. Een terugverdientijd van ten hoogste drie jaar is echter juist nodig om opties zonder aanvullend beleid geïmplementeerd te krijgen in het vrachtverkeer op de weg. Daardoor is de bedrijfseconomische prikkel om veel van deze opties toe te passen, gering.

Aan de hand van verzamelde informatie wordt het besparingspotentieel voor de binnenvaart indicatief geschat op 2% voor 2010 en 15% voor 2020. Voor het wegvrachtverkeer lijkt voor 2015 een besparing van ca. 5 tot 10% haalbaar. Tegen 2015 kunnen de meeste opties voor vrachtwagens al benut zijn. Door de korte levensduur van vrachtwagens zullen de meeste nu rijdende vrachtwagens al vervangen kunnen zijn. Het technische reductiepotentieel in 2030 komt in dit rapport uit op circa 20% voor de binnenvaart en circa 15% voor het wegvrachtverkeer.

Er zijn verschillende drempels die de implementatie van CO<sub>2</sub>-emissiereductieopties kunnen vertragen. Allereerst is er de terugverdientijd van de investeringskosten. Als er bij een bedrijf beperkt inzicht is in de brandstofefficiëntie, is de terugverdientijd bovendien moeilijk in te schatten. Daarnaast zijn er persoonlijke voorkeuren van chauffeurs, bijvoorbeeld ten aanzien van rijstijl of uitvoering. Tenslotte is er de industriële structuur, waardoor fabrikanten van zuinige voertuigcomponenten hun producten moeilijker in de praktijk kunnen demonstreren; en de moeilijkheid voor fabrikanten van zuinige technologieën om hun onderzoeksinvestering terug te kunnen verdienen.



## 1. Inleiding

In het kader van een breder onderzoek naar CO<sub>2</sub>-emissiereductie in het verkeer tot 2030, is een beknopt literatuuronderzoek uitgevoerd naar CO<sub>2</sub>-emissiereductieopties in het vrachtverkeer. De aandacht gaat vooral uit naar het vrachtverkeer over de weg en de binnenvaart, beide haast volledig met dieselmotoren uitgerust. Deze notitie richt zich voor een belangrijk deel op verbetering van de brandstofefficiency. Zoals bekend is de CO<sub>2</sub>-emissie bij een bepaalde brandstof direct evenredig met het brandstofverbruik en het energiegebruik. Een belangrijke onzekerheid in deze notitie is de penetratiegraad van kosteneffectieve verbeteringen van de brandstofefficiëntie. Gezien de beperkte winstmarges, de grote concurrentie en de dominantie van de brandstofkosten kan verwacht worden dat mogelijke efficiëntieverbeteringen snel grootschalig worden toegepast. Het kan dus zijn dat potentieel dat volgens de literatuur nog beschikbaar is in de praktijk al deels is gerealiseerd. Het aandeel van brandstofkosten in de totale vervoerskosten hangt af van het type voertuig, en ligt doorgaans tussen de 30 en 40%. Tabel 1.1 laat zien hoe dit aandeel tussen 1996 en 2000 gestegen is in het Verenigd Koninkrijk, voornamelijk door gestegen brandstofkosten (Coyle et al., 2002<sup>1</sup>); de tabel is aangevuld met meer recente cijfers. Merk op dat de literprijs voor gasolie voor de binnenvaart ca. € 0,50 bedraagt, terwijl de dieselprijs aan de pomp voor het wegverkeer ca. € 0,80 is (excl. BTW).

Tabel 1.1 *Brandstofkosten als percentage van operationele kosten*

| Jaarkilometrage                                       | 1996 (UK) | 1999 (UK) | 2000 (UK) | 2006 (UK) | Nederland |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 17 tons ongelede vrachtwagen                          |           |           |           |           |           |
| 96.000 km/jaar  | 23        | 24        | 28        | 31        | 27        |
| 128.000 km/jaar                                       | 28        | 29        | 32        | 36        | 31        |
| 160.000 km/jaar                                       | 31        | 32        | 36        | 40        | 35        |
| 192.000 km/jaar                                       | 33        | 35        | 39        | 43        | 38        |
| 32,5 tons gelede vrachtwagen                          |           |           |           |           |           |
| 192.000 km/jaar                                       | 34        | 36        | 41        | 45        | 39        |
| Binnenvaart (Europa)<br>15-20%, vrij naar (CCR, 2005) |           |           |           |           |           |

Binnen de transportsector bestaat een autonome efficiëntieverbetering in het wegvervoer van ca. 0,7% per jaar brandstofreductie per gereden voertuigkilometer<sup>2</sup>. Daarbovenop kunnen extra maatregelen genomen worden. In deze notitie worden deze extra CO<sub>2</sub>-emissiereductieopties en energie- of brandstofbesparingopties geïnventariseerd aan de hand van een literatuurstudie. Waar mogelijk worden per optie het potentieel (in reductie per voertuigkilometer of per tonkm) en de meerkosten vermeld.

<sup>1</sup> Een herberekening voor de gestegen dieselprijs is gemaakt voor de eerste helft van het jaar 2006, zowel voor het Verenigd Koninkrijk als voor Nederland ('NL'). Merk op dat de dieselprijs aan de pomp in het Verenigd Koninkrijk beduidend hoger ligt dan in Nederland, en dat eventuele andere verschillen tussen het VK en Nederland niet in de herberekening zijn meegenomen.

<sup>2</sup> Autonome ontwikkeling zoals gebruikt in het Department of Energy's National Energy Modeling System Model (Ang-Olson, 2002).

## 2. Besparingsopties

### 2.1 Inleiding

Er zijn sterk uiteenlopende mogelijkheden beschikbaar om de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de transportsector te verminderen. Ten eerste zijn er *volume- en structuuropties* die tot doel hebben de transportvraag (in ton) of transportprestatie (in tonkm) te verminderen, waardoor er minder vracht vervoerd hoeft te worden. De tweede categorie betreft *logistieke en strategische opties* die kunnen leiden tot een vermindering van de transportbehoefte (in voertuigkm/tonkm). Deze zijn vaak van logistieke aard. De derde hoofdgroep beslaat de *operationele en technologische opties*, die als doel hebben om de emissie per kilometer (in kg CO<sub>2</sub> per voertuigkm of per tonkm)<sup>3</sup> te verminderen.

### 2.2 Volume- en structuuropties

Structuuropties liggen doorgaans buiten het bereik van de vervoerder. Een betere clustering van activiteiten kan de vervoersvraag (via wijziging van de economische structuur) of de transportprestatie (via wijziging van ruimtelijke ordening en infrastructuur) verminderen. Deze opties vallen buiten het kader van de notitie.

### 2.3 Logistieke en strategische opties

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 regelmatig te maken met meerdere actoren. In (Léonardi et al., 2004; pp 6-8) is een uitgebreid overzicht te vinden van diverse strategische opties. Een beknopter en abstracter overzicht van opties staan in Tabel 2.1. Doordat vaak meerdere actoren betrokken zijn, is het niet vanzelfsprekend dat opties met positieve baten ook geïmplementeerd worden.

Tabel 2.1 *Logistieke, strategische opties*

| Logistieke opties                                       | Potentiële reductie van voertuigkm [%] | Economische baten |
|---|--|-------------------|
| Voertuig grootte 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 eigen vervoer op transportbedrijven     | - 3                                    | Pos/Neg           |
| Volledige transportrechten (in internationaal verkeer)  | - 2                                    | Positief          |
| Verbeterde routeplanning voor zware vrachtwagens        | - 2                                    | Positief          |
| Stadsdistributie  | - 1                                    | Negatief          |

Source: Bates et al., 2001

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-*

<sup>3</sup> In (Boonekamp et al., 2001) worden de begrippen volume-, structuur- en besparingseffecten in o.a. de transportsector gedefinieerd.



*in-time-delivery* geleid tot extra brandstofverbruik door inzet van kleinere voertuigen, lagere beladingsgraden en hogere snelheden (EEA, 2006).

## 2.4 Operationele en technologische opties

De operationele opties bevatten alle opties die leiden tot een vermindering van het specifieke energiegebruik (per voertuigkilometer of ladingkilometer), en kunnen gezien worden als besparingsmaatregelen in de transportsector.

### 2.4.1 Efficiëntie van de transportmodaliteit

Het is bekend dat sommige transportmodaliteiten een efficiënter brandstofverbruik kennen dan andere. Ruwweg is binnenvaart efficiënter dan railverkeer, en railverkeer efficiënter dan wegtransport (Kamp, 2003). Hierbij moet wel gewaakt worden voor grove generalisaties, omdat de efficiëntie sterk afhangt van de specifieke omstandigheden (Kreuzberger et al., 2003)<sup>4</sup>.

Ook multimodaal transport biedt mogelijkheden. Een verschuiving van weg naar gecombineerd weg-binnenvaarttransport kan een CO<sub>2</sub>-emissiebeperking tot 50% opleveren, terwijl de kosten op lange afstand tot wel 50% lager kunnen liggen - voor een specifieke rit. Een verschuiving van weg naar gecombineerd weg-railtransport kan 50% CO<sub>2</sub>-uitstoot tegen 15% lagere kosten op lange afstand opleveren - ook weer voor een specifieke rit. Deze multimodale opties worden echter pas kosteneffectief bij meer dan 200 km (weg-binnenvaart) of meer dan 500 km (weg-rail) (IPM&ET, 1995; IPM&ET, 1996). De uitkomsten zijn ook sterk afhankelijk van de gemaakte aannames over eventueel voor- en natransport bij vervoer per trein of binnenvaartschip (Schilperoord, 2004), en deze cijfers kunnen daarom slechts indicatief gebruikt worden. De wegtransportsector zelf ontraadt het streven naar het bereiken van een modal shift met enkel het doel van CO<sub>2</sub>-emissiereductie (TLN, 1999), mede op grond van de grote diversiteit aan transportgoederen en wegvoertuigen.

Hoewel de modal split in deze notitie verder niet ter sprake komt, dient wel gerealiseerd te worden dat er kruiselasitciteiten bestaan tussen modaliteiten: een brandstofbesparing in het wegverkeer kan leiden tot een modal shift door verschuivende kostenverhouding. Elasticiteiten zijn te vinden in (Oum et al., 1990). Vanwege de onzekerheden in reductiepotentieel, indirecte of vermeende meerkosten van multimodaal transport, en indirecte effecten binnen het transportsysteem, kan op basis van de geraadpleegde literatuur geen schatting van de kosteneffectiviteit van een modal shift worden gegeven.

### 2.4.2 Brandstofefficiëntie

Een overstap van de ene naar de andere brandstof kan energetisch en in termen van CO<sub>2</sub>-uitstoot voordelen opleveren. Zo is in het verleden bijvoorbeeld het gebruik van diesel aangemoedigd ten opzichte van het gebruik van benzine, vanwege een hogere verbrandingsefficiëntie. Daarnaast speelt voor de CO<sub>2</sub>-uitstoot ook het koolstofgehalte van de brandstof een rol. Een voorbeeld hiervan is de overschakeling van diesel naar aardgas of LPG, die per energie-eenheid minder koolstof bevatten. Het lagere motorrendement beperkt echter het voordeel. Inzet van aardgas in geavanceerde gasmotoren, lijkt hier echter kansen te bieden (Nonox, 2006). Deze motoren gaan qua prestaties en energie-efficiëntie richting een dieselmotor, met aanmerkelijk lagere CO<sub>2</sub>-uitstoot<sup>5</sup>.

---

<sup>4</sup> Zie voor een beschouwing en kwantificering ook (Essen et al., 2003).

<sup>5</sup> De efficiëntie van een NoNox-aardmotor ligt rond 40%, van een dieselmotor rond 42%. De CO<sub>2</sub>-uitstoot ligt 25% lager, en de motorprestaties (vermogen bij diverse snelheden) doen niet wezenlijk onder voor een dieselmotor. Dit zijn, in geraadpleegde literatuur niet tegengesproken, claims van de fabrikant.

Mede door beleidsinitiatieven vanuit de Europese Commissie (biobrandstoffenrichtlijn 2003/30/EC), is het volume aan biobrandstoffen in Nederland sterk gegroeid en zal het aandeel biobrandstoffen in de totale brandstofmix naar verwachting nog geruime tijd blijven stijgen. Het 2010 doel van Nederland is een bijdrage van 5,75% ten opzichte van diesel en benzine in het wegverkeer. Biobrandstof heeft vaak andere eigenschappen dan fossiele brandstof, zoals energiedichtheid, vloeibaarheid (viscositeit), ontstekingstemperatuur, en kan voertuigaanpassingen noodzakelijk maken. Verder dient te worden gerealiseerd dat biobrandstoffen nauwelijks effect hebben op de motorefficiëntie van het voertuig, maar vooral op de netto CO<sub>2</sub>-uitstoot. Omdat de productieketen van biobrandstof wezenlijk anders is dan van fossiele brandstof, dient - om een werkelijk goed inzicht te krijgen in effecten op CO<sub>2</sub>-uitstoot - een LCA (levens cyclus analyse) van de biobrandstoffen uitgevoerd te worden. De biobrandstoffenmarkt is echter zo sterk in ontwikkeling (neem de verwachte opkomst van 2<sup>e</sup> generatie biobrandstoffen), dat hier slechts beperkte informatie over aanwezig is. Deze notitie gaat daarom uit van blijvend gebruik van (fossiele) diesel. Voor meer informatie over de energie-efficiëntie van biobrandstoffen wordt verwezen naar de (CONCAWE, 2006).

### 2.4.3 Voertuigefficiëntie

Voor vrachtauto's is op basis van enkele literatuurbronnen (Ang-Olson et al., 2002; Bates et al., 2001; Saricks et al., 2003; Langer, 2004) een overzicht gemaakt van kosten en potentiële van enkele maatregelen die invloed hebben op de brandstofefficiëntie van vrachtauto's. Voor de binnenvaart is er, ten opzichte van de gemiddelde efficiëntie van de huidige vloot, met thans beschikbare technieken nog een potentiële besparing mogelijk die op kan lopen tot ca. 30% (CREATING, 2006; Kasifa, 2002). De besparingsopties bevatten gedragsmatige aanpassingen, technische aanpassingen aan de motor en technische aanpassingen aan de rest van het voer- of vaartuig. De laatste twee opties hebben vooral betrekking op nieuwe voer- en vaartuigen. De optie van gedragsaanpassing is ook voor de bestaande voer- en vaartuigen geschikt. Belangrijk knelpunt om een hoge brandstofbesparing te realiseren in de binnenvaart is het langzame vervangingstempo van de schepen van ca. 20 tot 30 jaar. Aangezien de levensduur van een vrachtwagen slechts vijf tot tien jaar bedraagt en dus beduidend korter is, is het vervangingstempo bij het vrachtverkeer hoger dan bij de binnenvaart. Een optie zal slechts geleidelijk penetreren in de transportsector, omdat veel opties slechts toegepast worden bij voertuigvervanging en daarbovenop niet ieder nieuw voertuig ook met de beste techniek zal worden uitgerust.

#### 2.4.3.1 Gedragsmatige aanpassingen

##### *Binnenvaart: slim langzaam varen*

Het brandstofverbruik per kilometer is ruwweg kwadratisch afhankelijk van de vaarsnelheid. Bij een verdubbeling van de vaarsnelheid neemt het brandstofverbruik ongeveer een factor 4 toe. Rekening houdend met vaaromstandigheden als stroomsnelheid, waterdiepte, brug- en sluisijden, tijdstip dat gelost of geladen kan worden etc., kan het vaarplan worden geoptimaliseerd om zo slim mogelijk langzaam te varen zonder te laat op de bestemming aan te komen. Door zo langzamer te varen kan brandstof worden bespaard. Dit kan deels door gedragsverandering (voorlichting) bij de schipper en deels met ondersteuning van elektronische hulpmiddelen. Hulpmiddelen zijn 'economizers', waarvan de prijs geschat wordt op enkele duizenden euro's, tot meer geavanceerd met uitgebreide optimalisatiesoftware ondersteunde systemen zoals de Adviserende Tempomaat met kosten die variëren van ca. € 20.000 tot € 8.000 bij grotere aantallen (BiB, 2003 en 2005). Het ministerie van Verkeer en Waterstaat verwacht met een uitgebreide voorlichtingscampagne 'Het nieuwe varen' met een overheidsinvestering van ca. € 9 mln in 2010 een brandstofbesparing in de gehele Nederlandse vloot van ca. 5% te kunnen bereiken. Los van de bovenbeschreven initiële kosten, heeft de scheepseigenaar geen extra kosten als gevolg van slim varen.

### *Wegverkeer*

Het rendement van aanpassing van het rijgedrag bedraagt volgens de geraadpleegde bronnen 3,8 of 5% (deze percentages en de hierop volgende zijn percentages CO<sub>2</sub>-besparing per voertuigkilometer). De kosten voor een cursus voor de bestuurders en het inhuren van vervangend personeel gedurende de cursus bedragen € 275 per jaar. Een verlaging van de maximumsnelheid van ca. 110 naar ca. 100 km/h levert 6% reductiepotentieel op in de Verenigde Staten. Van ca. 100 km/h naar ca. 90 km/h ligt het reductiepotentieel met ruim 7% nog hoger, omdat deze reductie in maximumsnelheid vaker limiterend is voor de werkelijke rijnsnelheid. Met andere woorden: vrachtwagens rijden niet vaak sneller dan 100 km/h, daardoor is verlaging van de maximumsnelheid tot 100 km/h minder effectief. Hier zijn geen directe kosten aan verbonden, afgezien van reistijdverlies. De Nederlandse (en Europese) situatie is anders omdat voor zware vrachtwagens de snelheid al technisch is gelimiteerd tot ca. 90 km per uur.

#### 2.4.3.2 Technische aanpassingen

##### *Binnenvaart: verbetering van de efficiëntie van voortstuwing (motor)*

De verbetering van de efficiëntie van voortstuwing valt uiteen in een motortechnisch gedeelte en een verbetering van de schroeffefficiëntie. Motortechnisch valt er in de nieuwbouw naar verwachting, bijvoorbeeld met directe inspuiting of common rail, binnen het steeds strenger wordende kader van emissienormen voor NO<sub>x</sub>, roet en koolwaterstoffen niet meer te winnen dan 5% tot 10% efficiëntieverbetering. Echter bij vervanging van oudere schepen of motoren, waarin nog geen direct ingespoten motoren zijn geplaatst, is een verhoging van de efficiëntie met circa 15% mogelijk. Gegeven de lange levensduur en daarmee trage vervanging van de vloot zal de efficiëntieverbetering van de scheepsmotoren slechts langzaam penetreren.

##### *Binnenvaart: verbetering van de efficiëntie van voortstuwing (schroef)*

Met bestaande technieken die een beperkte aanpassing van het schip vereisen (waaronder achter elkaar geplaatste contraroterende schroeven, straalbuis om de schroef of tipplaatsschroef) kan een besparing gerealiseerd worden van ca. 10% t.o.v. een conventioneel schroefstelsel. Met verdergaande concepten zoals de oppervlakteschroef, kan de besparing verder oplopen tot ca. 20%. Geavanceerde schroeven worden nu op beperkte schaal in nieuwbouw en renovatie ingezet. Vanwege de trage vervanging van de vloot zal het besparingspotentieel langzaam verzilverd worden. Op lange termijn (enkele decennia) zullen mogelijk zeer geavanceerde concepten zoals de walvisstaartaandrijving verdergaande besparingen tot 50% kunnen bewerkstelligen (Grave et al., 2006).

##### *Binnenvaart: vermindering van de scheepsrompweerstand (waaronder opschaling)*

De verbetering van de scheepsrompweerstand is voor nieuwbouw een belangrijke pijler voor besparing (orde 10%). Enerzijds kan dit worden bereikt met beter gestroomlijnde rompvormen, waarbij vooral het interferentiegedrag van belang is (onderlinge uitdoving van onder andere de door het schip opgewekte boeg- en hekgolf). Daarnaast kan een oppervlaktebehandeling van de romp (gladder, minder wervels opwekkend) enkele procenten besparing opleveren. Het is van belang dat weerstandsarme scheepsrompen ook toegepast gaan worden in de bulkscheepsbouw. Hier is mede een rol weggelegd voor kennisinstellingen zoals MARIN. Standaardisatie van efficiëntie door deskundige organisaties, zoals het MARIN geeft, 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<sup>6</sup>. Vanwege de trage vervanging van de vloot, is de verwachting dat het besparingspotentieel van 10% pas rond 2025 voor 50% zijn intrede heeft gedaan in de vloot. Op de lange termijn (enkele decennia) zullen mogelijk zeer geavanceerde concepten zoals luchtsmering verdergaande besparing door weerstandsvermindering kunnen opleveren.

---

<sup>6</sup> Persoonlijke communicatie M. van Wirdum, SenterNovem.

### *Wegverkeer*

De technische aanpassingen zijn geclassificeerd voor zware vrachtwagens (>12 ton leeg gewicht; US-class 7 en 8); middelzware vrachtwagens (7-12 ton) en kleine vrachtwagens en bestelbusjes (<7 ton). Zie Tabel 2.2, die voornamelijk gebaseerd is op Amerikaanse omstandigheden.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> De toegepaste valutaomrekening is 1 US\$ = € 1,30.

Tabel 2.2 *Reductieopties voor vrachtverkeer op de weg, inclusief (verwacht) introductiejaar van de technologie en de installatiekosten*

|  |   | Class 7+8 (>12 ton)   |            |            | Class 4-6 (ca. 7-12 ton) |           |            | Class 2B-3 (tot 7 ton) |           |            |
|--|---|---|------------|------------|--------------------------|-----------|------------|------------------------|-----------|------------|
|  |   | Reductie [%]  | Introjaar  | Kosten [€] | Reductie [%]             | Introjaar | Kosten [€] | Reductie [%]           | Introjaar | Kosten [€] |
| Aërodynamica                             | Aërodynamisch profiel van een truck/voorkant vrachtwagen  | 1.2 tot 3.5   | 2005       | 550        | 2.5                      | <2005     | 550        | -                      | -         | -          |
|  | Aërodynamische bumpers, stroomlijning overgang truck en trailer, wielloppen   | 1.3 tot 3.6   | 2005       | 1150       | 4.0                      | 2004      | 600        | 2.5                    | 2004      | 450        |
|  | Beter profiel van de hoeken van trailers en vrachtwagens  | 1.3 tot 3.8   | 2005       | 400        | 1.0                      | 2005      | 300        | -                      | -         | -          |
|  | Pneumatisch beïnvloeden van de luchtstroming  | 5.0   | 2010       | 1900       | -                        | -         | -          | -                      | -         | -          |
| Rolweerstand                             | Banden met een lage rolweerstand  | 3.0 tot 3.8   | 2005       | 400        | 2.5                      | 2005      | 200        | 205.0                  | 2005      | 150        |
|  | Automatisch bandenspanningsysteem   | 0.6   |            |            |                          |           |            |                        |           |            |
|  | Brede banden  | 2.6   | 2008       | 0 tot 550  | -                        | -         | -          | -                      | -         | -          |
|  | Pneumatisch beïnvloeden van de luchtstroming  | 1.2   | 2015       | 400        | -                        | -         | -          | -                      | -         | -          |
| Transmissie                              | Transmissie met minder slipverlies, elektronische controls en mindere weerstand   | 2.0   | 2005       | 1550       | 2.0                      | 2005      | 700        | 2.0                    | 2005      | 550        |
|  | Verminderde interne weerstand door betere smeermiddelen en verbeterde lagers  | 2.0   | 2005       | 400        | -                        | -         | -          | -                      | -         | -          |
| Motor                                    | Lage-weerstand motorolie  | 1.5   |            |            |                          |           |            |                        |           |            |
|  | Lage-weerstand smeerolie  | 1.5   |            |            |                          |           |            |                        |           |            |
|  | Vermindering stationair draaien: directe verwarming van de cabine (standkachel)   | 4.3   |            |            |                          |           |            |                        |           |            |
|  | Vermindering stationair draaien: extra verbrandingsmotor voor warmte/elektr. APU  | 8.1   |            |            |                          |           |            |                        |           |            |
|  | Vermindering stationair draaien: automatische motor-aan/uitschakelaar   | 5.6   |            |            |                          |           |            |                        |           |            |
|  | Grotere maximale cilinderdruk   | 4.0   | 2006       | 750        | -                        | -         | -          | -                      | -         | -          |
|  | Betere brandstofinjectie en efficiëntere verbranding  | 6.0   | 2007       | 1150       | -                        | -         | -          | -                      | -         | -          |
|  | Motor met lagere weerstand, betere injectoren en efficiënte verbranding   | -   | -          | -          | 8.0                      | 2008      | 1550       | 10.0                   | 2012      | 1550       |
|  | Betere warmtehuishouding en vermindering van warmteverlies via de uitlaat   | 10.0  | 2010       | 1550       | -                        | -         | -          | -                      | -         | -          |
|  | Turbo inlaatlucht compressie, directe brandstof injectie, met betere warmtehuishouding  | -   | -          | -          | 8.0                      | 2004      | 750        | 5.0                    | 2003      | 550        |
|  | Geïntegreerde startmotor/dynamo; stationair motor uit; gedeeltelijk regeneratief remmen (remmen op de dynamo)                             | -   | -          | -          | 5.0                      | 2005      | 900        | 5.0                    | 2005      | 900        |
|  | Hybride aandrijflijn (combinatie van kleinere brandstofmotor en elektromotor m.n. voor aanvullend transiënt vermogen)                     | -   | -          | -          | 40.0                     | 2010      | 6150       | 40.0                   | 2010      | 4600       |
|  | Voertuiggewicht   | Gewichtsvermindering door toepassing van sterke lichtgewichtmaterialen. | 0.4 tot 10 | 2005       | 1550                     | 5.0       | 2007       | 1550                   | 5.0       | 2010       |
| Hulpmiddelen en accessoires <sup>8</sup> | Minder elektriciteitsverbruik (airco, hydraulische pomp, ventilator voor radiator)  | 1.5   | 2005       | 400        | -                        | -         | -          | -                      | -         | -          |
|  | Elektriciteit voor o.a. airco, ventilatie en radiatorventilator uit een brandstofcelsysteem (met waterstofopwekking op de motorbrandstof) | 6.0   | 2012       | 1150       | -                        | -         | -          | -                      | -         | -          |

Bron: Ang-Olson et al., 2002; Bates et al., 2001; Saricks et al., 2003; Langer, 2004

<sup>8</sup> Niet CO<sub>2</sub>-broeikasgassen komen ook vrij bij airconditioning of gekoeld transport. Voor lekkagereductieopties, zie (Bates, 2001) Appendix 2.

### *Profielaanpassingen*

Er zijn drie sets van opties in de tabel opgenomen, die leiden tot een verlaging van de luchtweerstand. Het stroomlijnen van een truckcabine of vrachtwagen door het afronden van de profielen is al ruim aanwezig in het huidige wagenpark. Daarenboven kunnen kleinere aanpassingen worden doorgevoerd op onderdelen van het voertuig. De opties kennen enige interactie, waardoor hun potentiële niet volledig bij elkaar opgeteld kunnen worden. Mogelijke aanpassingen aan de vorm van een trailer zijn minder uitvoerig getest. Voor deze drie opties geldt dat het potentieel op korte afstanden (en dus doorgaans lagere snelheden) kleiner is (ca. 1%) dan op grote afstanden (ca. 3%). Op langere termijn zal het mogelijk worden om actief de luchtstromen rondom een voertuig te beïnvloeden d.m.v. *pneumatic blowing*.

### *Rolweerstand*

De rolweerstand kan verminderd worden door het gebruiken van banden met een lagere rolweerstand. Belangrijk is ook het rijden op de juiste bandenspanning. Voor vrachtwagens kan een systeem worden geïnstalleerd dat automatisch de bandenspanning controleert en op peil houdt. Een optie die voor nieuwe voertuigen gebruikt kan worden, is de inzet van één bredere band in plaats van twee normale banden. Hierdoor wordt tevens het voertuiggewicht verminderd met ca. 0,4 ton<sup>9</sup>.

### *Gewichtsvermindering*

Door het verminderen van de verhouding tussen ledig voertuiggewicht en het gewicht van de te vervoeren vracht, kan een brandstof bespaard worden. Allereerst kan bij transport dat gelimiteerd is door het beschikbare laadvolume, de vracht worden gecompriëerd, waardoor (bij hetzelfde volume) meer gewicht aan vracht vervoerd kan worden in dezelfde vrachtwagen. Daarnaast kan het ledig voertuiggewicht verminderd worden. Voor volumegelimiteerd transport betekent dit dat het totale voertuiggewicht (ledig voertuig plus vracht) even zoveel lager wordt. Bij gewichtgelimiteerd transport zorgt een lager ledig voertuiggewicht er voor dat meer vracht vervoerd kan worden. Het totale voertuiggewicht blijft bij deze optie dus gelijk, maar er wordt meer vracht per vrachtwagen getransporteerd.

De besparingspercentages ten gevolge van gewichtsvermindering lopen sterk uiteen van 0,4% minder CO<sub>2</sub>-uitstoot per km in de Europese studie tot 10% minder brandstofgebruik per tonkm in de Amerikaanse studie (Saricks et al., 2003; Langer, 2004). De 0,4% wordt verdedigd met argumenten dat voor zware vrachtwagens het ledig gewicht van het voertuig slechts beperkt van invloed is op het totale gewicht en dat voor zware vrachtwagens het *brutogewicht vaak limiterend is* voor transportmogelijkheden. Er is dientengevolge al geoptimaliseerd op een laag voertuiggewicht. De besparing van 10% voor zware vrachtwagens (5% voor middelzware vrachtwagens) wordt daarentegen verdedigd met het argument dat veel transport *gelimiteerd is door het beschikbare volume*, niet door de te transporteren massa. Als meest waarschijnlijke schatting kan (Ang-Olson, 2002) worden gebruikt. Daarin wordt de maximale vermindering van voertuiggewicht voor een typische truck-trailercombinatie geschat op 4,5 ton, met een realistische vermindering van 1,4 ton. Dit leidt tot een CO<sub>2</sub>-besparing van 1,8%<sup>10</sup>.

Er lopen pilotprojecten om het laadvermogen beter te kunnen benutten door compressie van daarvoor geschikte vracht. Reducties tot 40% zijn in sommige gevallen mogelijk (SenterNovem, 2006). Om tot een gemiddeld percentage te komen voor Nederland, zou moeten worden bekeken hoeveel van het vervoer met zware vrachtwagens gelimiteerd is door het brutogewicht, en hoeveel door het volume.

<sup>9</sup> Bron: <http://www.epa.gov/smartway/documents/supersingles.pdf>.

<sup>10</sup> Er wordt in (Ang-Olson, 2002) aangenomen dat de besparingsoptie van 1,8% slechts bij tweederde van de truck-trailercombinaties gerealiseerd kan worden. In koeltransporten wordt, vanwege de corrosiebestendigheid van aluminium en het toch al hoge gewicht van diepvriesproducten, al veelvuldig aluminium toegepast, terwijl tankwagens en *flatbedtrailers* niet geschikt zijn voor aluminiumtoepassingen.

### *Aangepaste motorolie*

Motorolie met een lagere viscositeit kan de interne weerstand in de motor (-1,5%) en transmissie (-1,5%) verminderen, waardoor samen 3,0% brandstof bespaard kan worden. Vaak heeft deze motorolie een synthetische basis. Zij worden 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.

### *Verminderd stationair draaien*

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. Het Argonne National Laboratory gebruikt een schatting van 1830 uur per jaar, terwijl het Environmental Protection Agency uitgaat van 2400 uur per jaar. Een *heavy-duty* dieselmotor gebruikt bij stationair draaien ca. 2,3 liter per uur, en 3,8 liter per uur inclusief airconditioning. Een standkachel gebruikt 0,53 liter per uur, en een *Auxiliary Power Unit (APU)* 0,76 liter per uur (Ang-Olson, 2002). De drie opties van Tabel 2.2 om het stationair draaien te verminderen zijn exclusief, en kunnen dus niet gecombineerd toegepast worden. Zij hebben alledrie tot doel om het stationair laten draaien van de motor ten behoeve van verwarming en elektriciteitsgebruik in de cabine, te verminderen.

### *Relevantie van Amerikaanse data*

Een Europese studie (Bates, 2001) voorziet een efficiëntieverbetering van 2,4 tot 3,7% voor aërodynamische aanpassingen, 3,8% voor rolweerstand en 5,7% voor motoraanpassingen. Deze cijfers zijn in lijn met de Amerikaanse referenties. Wel is het zo dat de huidige marktpenetratie van de opties, die in de VS meestal tussen de 0-20% ligt, in Nederland waarschijnlijk al hoger is. Hierdoor zal het totale reductiepotentieel in Nederland lager liggen dan in de VS. In de studie (Bates, 2001) geven Tabellen 3.8 en 3.9 een kosteneffectiviteit in termen van €/ton CO<sub>2</sub>. Hieruit blijkt dat in alle categorieën (motor, voertuig en transmissie) kosteneffectieve opties haalbaar zijn, maar dat enkel gewichtvermindering niet kosteneffectief is. Indien geen rekening wordt gehouden met belastingvoordelen (zoals mindere accijnsafdracht bij brandstofbesparing) is het volgen van rijstijlcursussen beperkt rendabel.

### 3. Discussie en conclusie

#### 3.1 Barrières

Ook al zijn veel besparingsopties rendabel, dan nog kunnen er praktijkbelemmeringen bestaan waardoor kosteneffectieve besparingsopties niet gerealiseerd worden. Een aantal van deze belemmeringen voor het wegverkeer worden kort omgeschreven (o.a. Elliot, 2006):

##### *Beperkt inzicht in de brandstofefficiëntie*

Transportbedrijven hebben bij aanschaf van een nieuwe truck of vrachtwagen niet altijd goed zicht op de efficiëntie van de voertuigen. Labeling van voertuigen op brandstofefficiëntie kan wellicht een deel van deze barrière slechten. Echter, de inzet van voertuigen in de bedrijfsvoering kan van bedrijf tot bedrijf sterk verschillen, waardoor enerzijds de transportbedrijven aarzelend staan tegenover de beweringen van de vrachtwagenproducenten, en anderzijds de vrachtwagenproducenten liever geen gegeneraliseerde cijfers voor brandstofefficiëntie vrijgeven.

##### *Hoge investeringskosten*

In absolute termen zijn efficiënte technologieën niet bijzonder duur. Aangezien de technologieën vaak toegepast worden in nieuwe trucks, wordt de prijs van een nieuwe truck slechts enkele duizenden euro's duurder per optie. Deze opties hebben een terugverdientijd van ca. drie jaar. Maar drie jaar is juist de maximale periode waarbinnen een efficiëntiemaatregel door een transportbedrijf terug te verdienen moet zijn (Elliott et al., 2006). Hierdoor bestaat er geen sterke bedrijfseconomische prikkel om de efficiëntie van de voertuigen te vergroten.

##### *Persoonlijke voorkeuren van chauffeurs*

Hoe krapper de arbeidsmarkt voor ervaren chauffeurs is, des te groter is de invloed van hun persoonlijke voorkeur op de mogelijkheden van efficiëntiebesparingen. Vooral als het aankomt op aanpassing van rijgedrag, vormgeving (aërodynamica) van het voertuig of afstelling van de motor, kan dit een belemmering vormen.

##### *Industriële structuur*

Vrachtwagens worden niet altijd volledig door één fabrikant geproduceerd. Hierdoor kunnen fabrikanten van efficiënte vrachtwagencomponenten hun producten niet gemakkelijk demonstreren in volledige trucks.

##### *Free-riders in technologieontwikkeling*

Het is financieel riskant voor fabrikanten om nieuwe technologie te ontwikkelen, omdat concurrerende fabrikanten vaak gebruik kunnen maken van door een marktleider ontwikkelde technologie. Sterke schommelingen in de brandstofprijs vergroten dit effect. Een technologieontwikkelaar moet zijn ontwikkelingskosten terugverdienen in de producten. Zijn innovatieve producten zijn aantrekkelijker naarmate de brandstofprijs hoger is. Bij een lage brandstofprijs zal hij zijn product nog steeds willen verkopen, en daardoor zijn winstmarge gaan beperken. Een technologievolger zal bij een lage brandstofprijs andere technologie inzetten dan bij een hoge brandstofprijs, omdat hij minder onderzoeksinvestering hoeft terug te verdienen.

#### 3.2 Indirecte effecten

Een besparing op brandstofkosten heeft vaak indirecte effecten. Door de lagere transportkosten, neemt bijvoorbeeld de vraag naar transport toe, omdat het hierdoor rendabel wordt om handel te drijven met verder weg gelegen inkoop- of afzetgebieden. Vanuit maatschappelijk oogpunt kan bij de kosteneffectiviteit ook rekening gehouden worden met indirecte effecten: rebound effect



(meer transport door lagere transportkosten) en modal shift (verschuiving van rail en binnenvaart naar weg, als wegtransport efficiënter wordt). Op korte termijn is dit elasticiteitseffect in de toename in kilometrages beperkt tot 5-15%. Op lange termijn wordt de totale omvang van dit effect geschat op 20-40% (Litman, 2005), waardoor een 10% verbetering van brandstofefficiëntie op termijn leidt tot een 2-4% stijging in voertuigkilometrage. De totale brandstofbesparing komt daardoor op 6-8%. Deze cijfers zijn overigens niet specifiek toegespitst op vrachtverkeer. De boodschap van reboundeffecten is vooral dat er indirecte effecten bestaan waardoor een technische besparing niet volledig leidt tot een evenredige reductie in totale CO<sub>2</sub>-emissie van de transportsector.

### 3.3 Realistisch potentieel

Op basis van beschreven besparingstechnieken in de binnenvaart kan een ruwe schatting gemaakt worden van het besparingspotentieel voor de gehele vloot. Deze komt uit op circa 2% voor 2010 en 15% voor 2020. Voor het wegvrachtverkeer lijkt voor 2015 een besparing van ca. 5 tot 10% haalbaar<sup>11</sup>. Door de korte levensduur van vrachtwagens zal in 2015 een groot deel van het wagenpark al vervangen kunnen zijn, waardoor in 2015 de meeste technische opties al benut kunnen zijn. Het technische reductiepotentieel in 2030 zal voor de binnenvaart naar schatting rond de 20% liggen en voor het wegverkeer rond de 15%. Opgemerkt moet worden dat veel besparingsopties invloed op elkaar hebben, waardoor het besparingspotentieel per optie niet zonder meer bij elkaar opgeteld kunnen worden.

Voor het wegverkeer lijken diverse technologische besparingsopties rendabel. In deze notitie is echter niet aangegeven in hoeverre deze besparingsopties in het wegverkeer reeds benut zijn. In de gebruikte studies zijn inzichten gegeven in de kosteneffectiviteit, maar daarbij is gebruik gemaakt van verschillende verdisconteringwaardes, tussen de 4% en de 8%, en verschillende brandstofprijzen. Literatuur stelt dat een maatregel voor een transportbedrijf interessant is als deze ruwweg een terugverdiertijd heeft van ca. 3 jaar (Elliott et al., 2006) of minder.

---

<sup>11</sup> Deze cijfers zijn zeer indicatief. Zo is het cijfer voor het wegvrachtverkeer gebaseerd op een mogelijke besparing van 9% in de Verenigde Staten in de periode 2000-2010 (Elliott, 2006).

## Referenties

- Ang-Olson, J., W. Schroeder (2002): *Energy efficiency strategies for freight trucking*. Transportation Research Record 1815, pp 11-18.
- Bates, J., C. Brand, P. Davison, N. Hill (2001): *Economic Evaluation of Sectoral Emission Reduction Objectives for Climate Change, Economic Evaluation of Emissions Reductions in the Transport Sector of the EU, updated version*. AEA Technology Environment, Culham.
- Beek, F. van, H. Flikkema, J. Francke, P. Besseling, W. Groot, H. Nijland, J. Ritsema van Eck, (2006): *Welvaart en leefomgeving (WLO) Achtergronddocument Mobiliteit*. CPB/MNP/RPB.
- Boonekamp, P.G.M., H. Mannaerts, H.H.J. Vreuls, B. Wesselink (2001): *Protocol monitoring energiebesparing*. CPB/ECN/Novem/RIVM, ECN-C--01-129, Petten.
- Bureau Innovatie Binnenvaart (BiB) (2003): *Adviserende Tempomaat (1); Efficiënt gebruik van de voortstuwingsmotor*. Rotterdam.  
[http://www.innovatie.binnenvaart.nl/download/BIB\\_tempomaat.pdf](http://www.innovatie.binnenvaart.nl/download/BIB_tempomaat.pdf)
- Bureau Innovatie Binnenvaart (BiB) (2005): *Adviserende Tempomaat (2); De resultaten*. Rotterdam. [http://www.innovatie.binnenvaart.nl/download/tempomaat\\_resultaat.pdf](http://www.innovatie.binnenvaart.nl/download/tempomaat_resultaat.pdf)
- CCR en Europese Commissie; Directoraat-generaal Energie en Vervoer (2005): *Marktobservatie voor de Europese binnenvaart, 2005-II*.
- CONCAWE (2006): *Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context*.
- Coyle, M., A.E. Whiteing, W. Murray (2002): *Fuel saving interventions: facts and fiction*. Transport and logistics research unit, University of Huddersfield.
- CREATING: *Concepts to Reduce Environmental impact and Attain optimal Transport performance by Inland Navigation*. eindrapport; December, 2006 verwacht.
- EEA (European Environmental Agency) (2006): *Transport and environment: facing a dilemma; TERM 2005: indicators tracking transport and environment in the European Union*. Report No 3/2006; ISSN 1725-9177.
- Elliott, N., T. Langer, S. Nadel (2006): *Reducing oil use through energy efficiency: opportunities beyond cars and light trucks*. American Council for an Energy-Efficient Economy, report nr. E061, Washington DC.
- Essen, H. van, O. Bello, J. Dings, R. van den Brink (2003): *To shift or not to shift*. CE Solutions for environment, economy and technology, Delft.
- Euro-CASE European Council of Applied Sciences and Engineering (2001): *Freight Logistics and Transport Systems in Europe*. Executive Summary.
- Grave, H. de, M. van Wirdum (redactie) (2006): *Brandstofbesparende en CO<sub>2</sub>-reducerende technieken in de binnenvaart*. (uitgave van het Bureau Innovatie Binnenvaart, in samenwerking met SenterNovem en gesubsidieerd door het Ministerie van Verkeer en Waterstaat).
- IPM&ET (1995): *Op weg naar schoner transport: voorstudie techniek en rijgedrag*. Integratieproject Milieu en Economie in de Transportsector, CE, KNV and TLN, Delft, The Netherlands, zoals geciteerd in (Bates et al., 2001).

- IPM&ET (1996): *Op weg naar schoner transport: eindrapport*. Integratieproject Milieu en Economie in de Transportsector, CE, KNV and TLN, Delft, The Netherlands, zoals geciteerd in (Bates et al., 2001).
- Kamp, B. (2003): *Regional Action for Logistical Integration of Shipping across Europe (REALISE)*. GTC2-2000-33032, pp 1-40.
- Kasifa, S.C. (2002): *Scheepvaart en Milieu; Mogelijkheden voor emissiereductie*. RIVM rapport 773002019/2002, RIVM, Bilthoven.
- Kreutzberger, E., C. Macharis, L. Vereecken, J. Woxenius (2003): *Is intermodal freight transport more environment friendly than all-road transport? A review*. Paper presented at the NECTAR Conference No 7, Umeå, Sweden, June 13-15, 2003.
- Langer, T. (2004): *Energy savings through increased fuel economy for heavy-duty trucks*. American council for an energy-efficient economy.
- Léonardi, J., M. Baumgartner, O. Krusch (2004): *CO<sub>2</sub>-Reduktion und Energieeffizienz im Straßengüterverkehr*. Max-Planck-Institut für Meteorologie, nr 353, Hamburg.
- Litman, T. (2005): *Efficient Vehicles Versus Efficient Transportation, Comparing Transportation Energy Conservation Strategies*. Transport Policy (12) 2, pp121-129.
- Nonox (2006): [www.nonox-bv.com](http://www.nonox-bv.com)
- Oum, T.H, W. Waters II, Jong Say Yong (1990): *A Survey of Recent Estimates of Price Elasticities of Demand for Transport.*, Worldbank rep.nr. WPS 359.
- Saricks, C., A.D. Vyas, F. Stodolsky, J.D. Maples (2003): *Potential effect of future energy efficiency and emissions improving technologies on fuel consumption of heavy trucks*. Presentation at the 82<sup>nd</sup> annual meeting of the transportation research board, paper no. 02-3647, Washington DC, 12-16 januari 2003.
- Schilperoord (2004): *Environmental performance of inland shipping*. Royal Haskoning report 9p1060/R0006/HSC/LKa, pp, 1-60.
- SenterNovem (2006):  
[http://www.senternovem.nl/transportbesparing/indepraktijk/compacte\\_luiers.asp](http://www.senternovem.nl/transportbesparing/indepraktijk/compacte_luiers.asp)
- TLN (1999): *Het vergelijken van appels met peren - Pleidooi van Transport en Logistiek Nederland voor het ontmythologiseren van de milieueffecten van een modal shift*. Zoetermeer.