

Vervroegde introductie van schonere benzine en diesel in Nederland

Een analyse van emissiepotentieel
en kosteneffectiviteit

Rapport

Delft, oktober 2000

Opgesteld door: ir. B.E. Kampman (CE)
ir. J.M.W. Dings (CE)
ir. R. Gense (TNO-Wegtransportmiddelen)
ir. E. van de Burgwal (TNO-Wegtransportmiddelen)



Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

Kampman, ir. B.E., ir. J.M.W. Dings, ir. R. Gense (TNO-WT), ir. E. van den Burgwal (TNO-WT)

Vervroegde introductie van schonere benzine en diesel in Nederland: Een analyse van emissiepotentieel en kosteneffectiviteit

Delft : CE, 2000

Verkeer / Vervoer / Emissies / Normstelling / Zwavel / Aromatische koolwaterstoffen / Dieselolie / Benzine / Katalysatoren / Milieutechnologie / Overheidsbeleid / Beleidsinstrumenten / Effecten

Dit rapport kost f 50,= (€ 22,69) (exclusief verzendkosten).

Publicatienummer: 00.4669.24

Verspreiding van CE-publicaties gebeurt door:

Centrum voor energiebesparing en schone technologie

Oude Delft 180

2611 HH Delft

Tel: 015-2150150

Fax: 015-2150151

E-mail: publicatie@ce.nl

Opdrachtgever: Ministerie van VROM, DG Milieubeheer

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider mevrouw ir. B.E. Kampman.

© copyright, CE, Delft

CE in het kort

CE is een onafhankelijk onderzoek- en adviesbureau dat werkzaam is op het raakvlak van milieu, economie en technologie. Wij stellen ons tot doel om vernieuwende, structurele oplossingen te ontwikkelen die beleidsmatig haalbaar, praktisch uitvoerbaar en economisch verstandig zijn. Begrip van de verschillende maatschappelijke belangen is daarbij essentieel.

CE is onderverdeeld in vier sectoren die zich richten op de volgende werkvelden:

- milieu-economie
- verkeer en vervoer
- materialen en afval
- (duurzame) energie

Van elk van deze werkvelden is een publicatielijst beschikbaar. Geïnteresseerden kunnen deze opvragen bij CE. Daarnaast verschijnt er tweemaal per jaar een nieuwsbrief met daarin een overzicht van de actuele projecten. U kunt zich hierop zonder kosten abonneren (tel. 015-2150150, fax 015-2150151, E-mail: ce@ce.nl, URL: www.ce.nl)

Inhoud

Samenvatting	1
Summary	5
1 Inleiding	11
1.1 Inleiding	11
1.2 Doel	11
1.3 Afbakening	12
2 Definitie van scenario's	13
2.1 Inleiding	13
2.2 Referentiescenario's	13
2.3 Introductiescenario's	14
3 Brandstofkwaliteit en voertuigtechnologie	15
3.1 Inleiding	15
3.2 Voertuigtechnologieën en hun emissiepotentieel	15
3.3 Verwachte instroom van de technologieën in de vloot	16
3.3.1 Personenauto's op benzine	16
3.3.2 Personen- en bestelauto's op diesel	18
3.3.3 Vrachtauto's en bussen	18
4 Economische effecten van vroegere introductie	21
4.1 Inleiding	21
4.2 Meerkosten raffinage, distributie en logistiek	21
4.3 Meerkosten voertuigtechniek	22
4.4 Brandstofbesparing	23
5 Milieueffecten van vroegere introductie	25
5.1 Inleiding	25
5.2 Effecten op het bestaande wagenpark	28
5.2.1 Bij vervroegde introductie in 2001	29
5.2.2 Bij vervroegde introductie in 2003	32
5.3 Effecten door facilitering nieuwe voertuigtechnologie	33
5.3.1 Bij vervroegde introductie in 2001	33
5.3.2 Bij vervroegde introductie in 2003	35
5.4 Extra emissies bij raffinage	36
5.5 Overzicht	37
5.5.1 Bij vervroegde introductie in 2001	37
5.5.2 Bij vervroegde introductie in 2003	39
6 Kosteneffectiviteit	41
6.1 Inleiding	41
6.2 Financiële waardering van emissies	41
6.3 Vervroegde introductie van diesel	42
6.3.1 Pessimistische en optimistische schatting	42
6.3.2 Nadere detaillering	44
6.4 Vervroegde introductie van benzine	46
6.4.1 Pessimistische en optimistische varianten	46
6.4.2 Nadere detaillering	47
6.5 Verdeling van kosten en baten over actoren	50

6.6	Benzine: alleen laag zwavelgehalte?	51
7	Conclusies	53
7.1	Milieueffectiviteit	53
7.2	Kosten	54
7.3	Kosteneffectiviteit	54
	Termen en afkortingen	57
	Referenties	61
A	Overzicht brandstofdiseisen en voertuignormen	67
B	Gevolgen voor de raffinaderijen	73
C	Beschrijving introductiescenario's voor de brandstoffen	79
D	Beschrijving voertuigtechnologieën	83
E	Penetratie technologieën bij verschillende introductiescenario's	95
F	Aanpak modelsimulaties	103
G	Financiële waardering van emissies	105
H	Gedetailleerde resultaten	113

Samenvatting

Achtergrond

In 2005 worden in de Europese Unie scherpere milieueisen aan voertuigen en brandstoffen van kracht. De emissies van nieuwe personen-, bestel- en vrachtauto's moeten aan nog strengere eisen voldoen, en ook de samenstelling van benzine en diesel moet worden aangepast. Bij benzine en diesel moet dan het zwavelgehalte van respectievelijk 150 en 350 ppm ('parts per million') naar 50 worden verlaagd. Bij benzine moet daarnaast ook het aromaatgehalte worden verminderd van 42 naar 35%.

Deze aanscherping van de brandstofeisen heeft twee redenen.

Allereerst is er een 'direct effect': de schadelijke emissies van alle wegvoertuigen die deze brandstoffen tanken zullen direct dalen door een betere verbranding.

Daarnaast is er een belangrijk 'indirect effect'. De beschikbaarheid van zwavelarme brandstoffen maakt de toepassing van verschillende nieuwe technologieën voor voertuigen mogelijk. Bij benzineauto's wordt dan een nieuwe brandstofbesparende technologie, de zogenoemde 'DI lean burn motor met NO_x-absorptiekatalysator', mogelijk. Bij dieselloertuigen kunnen nieuwe katalysatortechnieken worden ingezet die met name de deeltjesemissie sterk terug kunnen brengen. Deze technologieën hebben zwavelarme brandstoffen nodig om goed te functioneren.

De schonere brandstoffen hebben op een andere gebied wel weer negatieve milieugevolgen: de productie in de raffinaderij is energie-intensiever.

Lidstaten van de Europese Unie mogen vroegtijdig de introductie van deze 'schonere' brandstoffen stimuleren. Deze studie naar de gevolgen van een vroegere invoering in Nederland is uitgevoerd om een beslissing hierover te onderbouwen.

Doel

Het doel van deze studie is om na te gaan wat de milieueffecten en de kosten zullen zijn als de brandstoffen die aan de '2005-eisen' voldoen al eerder in Nederland beschikbaar worden.

Aanpak

Er is gekeken naar twee introductietijdstippen: november 2001 en juni 2003. Er is vanuit gegaan dat de 'schonere' brandstoffen onmiddellijk 100% marktaandeel hebben. Diesel en benzine zijn apart beschouwd, aangezien een gelijktijdige invoering van beide 'schone' brandstoffen niet veel synergie met zich meebrengt.

De directe milieueffecten van de schonere brandstoffen op het bestaande wagenpark zijn berekend met een model uit het Europese Auto/Olieprogramma dat door TNO-Wegtransportmiddelen naar de laatste inzichten is aangepast. De indirecte milieueffecten zijn geraamd met behulp van gegevens uit de literatuur en expertise van TNO-Wegtransportmiddelen. De kostenschattingen zijn gebaseerd op informatie uit de olie-industrie, op de literatuur en aanvullende ramingen. Aangezien de onzekerheid van veel van deze data vrij groot is, zijn in deze gevallen zowel pessimistische als ook optimistische schattingen gebruikt. Door de milieueffecten financieel te waarderen kunnen ze worden afgezet tegen de kosten, zodat de kosteneffectiviteit van een eerdere invoering bepaald kan worden.

Directe milieueffecten

De belangrijkste directe milieueffecten van de 'schonere' benzine zijn een 3-4% verlaging van de HC- en CO-emissies en een reductie van de SO₂-emissie van het wegverkeer van 30-40%. Bij schonere diesel treedt naast een vergelijkbare reductie van de SO₂-uitstoot ook een reductie van de deeltjesuitstoot op, van ruim 10%.

Het meest relevant zijn de reducties van HC en deeltjes. HC (koolwaterstoffen) veroorzaken smog en sommige componenten zijn schadelijk voor de gezondheid, net als deeltjes (PM₁₀). De reducties van SO₂ zijn milieutechnisch minder belangrijk dan het lijkt omdat het slechts om kleine hoeveelheden gaat. Ook de reductie van CO is niet erg relevant voor de luchtkwaliteit. De directe emissiereducties treden op vanaf het vervroegde introductietijdstip tot aan de verplichte invoering van de schonere brandstoffen, in 2005.

Indirecte milieueffecten

Vroegtijdige introductie van 'schonere' benzine en diesel kan daarnaast nog indirect de emissies van het wegverkeer verminderen doordat het toepassing van geavanceerde motor- en katalysatortechniek mogelijk maakt. De effecten hiervan zijn langer merkbaar, tot ongeveer 2020, omdat de voertuigen die de komende jaren op de markt komen dan pas zullen worden afgedankt.

Dit indirecte milieueffect zal bij benzinevoertuigen vrij beperkt zijn. De nieuwe 'DI lean burn' motoren zullen naar verwachting niet snel massaal in de markt worden ingevoerd omdat dit teveel risico's met zich meebrengt. Daardoor kan een vroeger beschikbaarheid van 'schonere' benzine de CO₂-uitstoot van het wegverkeer maar met ongeveer 0,1% doen dalen.

De facilitering van nieuwe technologieën voor emissiereducties bij dieselmotoren leidt tot een afname van de NO_x-emissies van ca 0,5%, de deeltjesemissies zullen nog eens 0,8-1,8% afnemen. Hierbij moet worden opgemerkt dat ongeveer de helft van deze deeltjesreductie het gevolg is van een fiscaal gestimuleerde instroom van roetfilters in het vrachtautosegment bij een eenmalige subsidie van 9 miljoen Euro. Waarschijnlijk kan de instroom van deze technologieën, en daarmee het milieueffect, verder verhoogd worden door versterking van deze stimulering.

Raffinage en distributie van de brandstoffen

Bij de productie van de schonere brandstoffen voor een relatief kleine markt als de Nederlandse zal allereerst zoveel mogelijk gebruik worden gemaakt van de in de markt beschikbare laagzwavelige componenten en bestaande installaties. Pas als dit onvoldoende soelaas biedt, al dan niet doordat de vraag naar zwavelarme brandstoffen in andere Europese landen toeneemt, zullen investeringen in nieuwe procesapparatuur worden gedaan. De extra kosten van de vervroegde invoering van 2005 specificaties voor benzine en diesel worden voor beide geschat op ca 1,4 tot 3,5 eurocent per liter. De meerkosten voor benzine met alléén een lager zwavelgehalte wordt geschat op ca 0,6 tot 2,3 eurocent per liter. Vooral de distributiekosten komen hierbij lager uit in verband met harmonisatie met de Duitse vervroegde invoering.

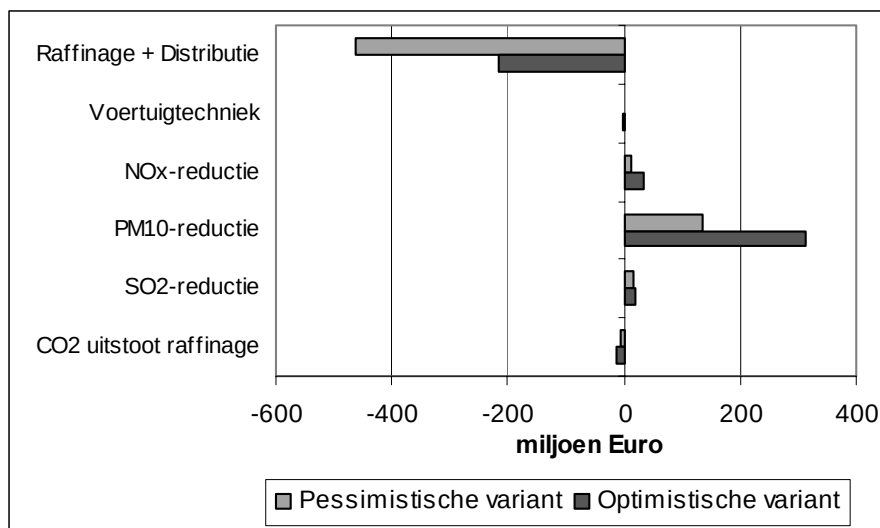
Kosteneffectiviteit

Naast het milieueffect is ook de kosteneffectiviteit van vroegtijdige introductie van belang. De kosteneffectiviteit is gedefinieerd als de milieubaten gedeeld door de economische kosten. De financiële waardering van de milieubaten zijn vastgesteld aan de hand van studies naar de schade die de emissies veroorzaken of naar de kosten van andere maatregelen die de emissies reduceren. Omdat de onzekerheidsmarges in de schattingen van zowel milieubaten als economische kosten aanzienlijk blijken te zijn, zijn twee extreme

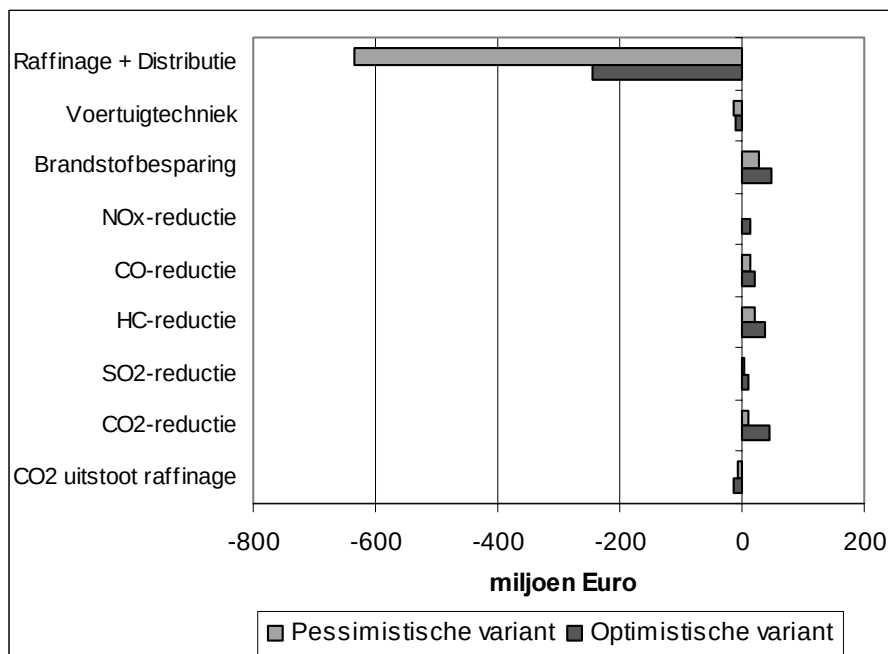
varianten voor de kosteneffectiviteit gepresenteerd: een optimistische en een pessimistische.

In de onderstaande figuren staan allereerst de berekende kosten en baten van deze varianten overzichtelijk bij elkaar. De resultaten zijn hier gegeven voor introductie in november 2001, bij latere introductie zijn de totale kosten en baten uiteraard lager. Voor de kosteneffectiviteit blijkt het introductietijd-
stip echter niet veel uit te maken.

Figuur 1 De kosten en baten van introductie van schonere diesel in november 2001



Figuur 2 De kosten en baten van introductie van schonere benzine in november 2001



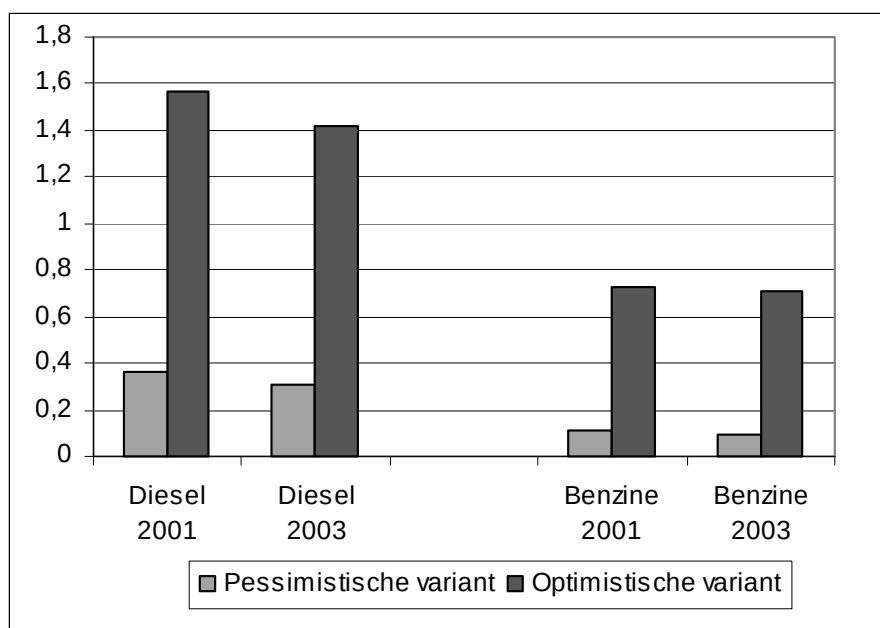
De kosteneffectiviteit van vroegere invoering is gegeven in de volgende figuur.

Vroegere introductie van *diesel* blijkt de hoogste kosteneffectiviteit te hebben: tussen 0,4 en 1,6. De milieubaten kunnen dus hoger of lager uitpakken dan de economische kosten, afhankelijk van de aannamen. De baten bestaan voornamelijk uit minder gezondheidsschade door de lagere deeltjes-uitstoot, de kosten worden veroorzaakt door de duurdere raffinage en distributie.

De kosteneffectiviteit van vroegere introductie van schonere' *benzine* ligt aanzienlijk lager, tussen 0,1 en 0,7. Onafhankelijk van de aannamen zijn de milieubaten dus lager dan de economische kosten. Ook hier worden de kosten veroorzaakt door raffinage en distributie, de baten ontstaan uit de brandstofbesparing en een reductie van de HC-, CO₂-, CO- en SO₂-emissies.

De kosteneffectiviteit pakt waarschijnlijk ongeveer twee keer zo hoog uit als benzine met alléén een lager zwavelgehalte vroegtijdig wordt geïntroduceerd, zoals in Duitsland het geval zal zijn. Mogelijkerwijs is dit dus wel een kosteneffectieve maatregel. Dit komt doordat de verlaging van het *aromaat*-gehalte waarschijnlijk weinig extra milieubaten met zich meebrengt maar wel flinke extra raffinage- en distributiekosten.

Figuur 3 Kosteneffectiviteit van introductie van de schonere brandstoffen in november 2001 of juni 2003



Summary

Background

In 2005 the European Union is to introduce tighter environmental standards for road vehicle fuels. The emissions of new passenger vehicles, delivery vans and heavy good vehicles will then have to satisfy even more stringent criteria, as will petrol and diesel fuel composition, the sulphur content of which must then be down from respectively 150 and 350 parts per million to 50 ppm. In the case of petrol, the maximum permitted aromatics content is also to be reduced, from 42% to 35%.

There are two motives for introducing tighter environmental criteria for vehicle fuels. In the first place it will have the *direct effect* of immediately reducing the noxious emissions of all road vehicles running on these fuels, because of improvements to the combustion process. In addition, there will also be a significant *indirect effect*. Availability of low-sulphur fuels opens the door for several new vehicle technologies. In the case of petrol vehicles it permits introduction of direct-injection (DI) lean-burn engines with catalytic NO_x absorption. In diesel vehicles new types of catalytic systems can be introduced, including 'particle traps' to reduce PM₁₀ emissions. These technologies require low-sulphur fuels to be effective. An environmental downside of these cleaner fuels is that refinery production is more energy-intensive.

EU member states are free to support implementation of these 'cleaner' fuels at an earlier date if they so desire. The objective of the present study is to provide background data for a possible decision on accelerated introduction of these fuels in the Netherlands.

Aim

The aim of this study is to investigate the environmental effects and economic costs of accelerated introduction in the Netherlands of 'cleaner' fuels satisfying the EU's '2005 standards'.

Scope and method

Two possible dates have been considered for earlier implementation: November 2001 and June 2003. November 2001 has been taken because this is when Germany will be introducing a tax incentive for low-sulphur petrol and diesel fuels. June 2003 lies exactly halfway between this date and January 2005.

It has been assumed that the 'cleaner' fuels will immediately capture 100% of the market. Diesel and petrol have been examined separately, given the fact that little synergy will be created through simultaneous introduction of the two 'clean' fuels.

The direct environmental effects of these fuels on the existing vehicle fleet have been calculated using a model for the European Auto-Oil programme updated by the TNO Road Vehicles Research Unit to account for the most recent developments. The indirect environmental effects have been estimated using literature data and TNO expertise. The cost estimates are based on information provided by the oil industry and from the literature, augmented where necessary by our own calculations. Given the substantial uncertainties surrounding much of this data, in relevant cases we have made both pessimistic and optimistic estimates. By assigning a monetary value to the

environmental effects these can be compared with costs, enabling the cost-effectiveness of accelerated introduction to be calculated.

Direct environmental effects

The principal direct environmental effects of the 'cleaner' petrol are a 3-4% reduction in HC and CO emissions and a 30-40% reduction in road vehicle SO₂ emissions. In the case of 'cleaner' diesel, besides a similar cut in SO₂ emissions there will also be a reduction in emissions of particulates (PM₁₀) by over 10%.

The main emission reductions are for hydrocarbons and PM₁₀. Hydrocarbon (HC) emissions give rise to photochemical smog and some components of HC 'cocktails' pose a health hazard. The latter also holds for PM₁₀. In environmental terms the SO₂ emissions reduction is of less relevance, because the quantities involved prove to be only minor. Likewise, the anticipated reductions in CO emissions have little relevance for ambient air quality.

These direct environmental effects will be immediately apparent, from earlier introduction until compulsory introduction of the fuels, in 2005.

Indirect environmental effects

Because accelerated introduction of 'cleaner' petrol and diesel permits introduction of advanced engine and catalysis technologies, there will also be an indirect reduction of road vehicle emissions. These effects will be apparent for a longer period of time, up to about 2020, because it is only then that the vehicles coming onto the market at present will reach the scrapyard.

In the case of petrol vehicles, these indirect effects will be fairly limited. Mass market introduction of the new DI lean-burn engines is not anticipated to be rapid, because this would involve too great a risk for manufacturers. For this reason, earlier availability of 'cleaner' petrol will lead to a mere 0.1% reduction in road traffic CO₂ emissions.

Penetration of new technologies for reducing diesel engine emissions will lead to a reduction of about 0.5% in NO_x emissions and a further reduction of 0.8-1.8% in particulate emissions. It should be noted here that about half this latter reduction is due to tax-driven introduction of particle traps for heavy good vehicles (a one-off subsidy of 9 million euro). By increasing this incentive, greater penetration of these technologies would be achieved and thus additional environmental benefits.

Fuel refinery and distribution

Given that 'cleaner' fuel production would be for the relatively small Dutch market, at first use would be made as far as possible of low-sulphur feedstocks already on the market and existing refinery plants. Only when this capacity proves insufficient, possibly because of growing demand for low-sulphur fuels in other European countries, would investments in new processing plant follow. The additional cost of earlier introduction of the 2005 petrol and diesel specifications is estimated to be about 1.4 to 3.5 euro cent per litre. Petrol with only a lower sulphur content is estimated to cost 0.6 to 2.3 ct/l more, the difference being that it is here mainly the distribution costs that will be lower, owing to 'harmonisation' with earlier German introduction.

Cost-effectiveness

It is not only the environmental benefits of earlier introduction that are important but also the cost-effectiveness of such a move. Cost-effectiveness is defined as the ratio between environmental benefits and economic costs. The monetary value of the former has been calculated on the basis of damage studies for the emissions in question or from the cost of alternative emission abatement measures. Because of the substantial uncertainties in the estimates of both environmental benefits and economic costs, two ex-

treme variants have been elaborated for cost-effectiveness: optimistic and pessimistic.

The following figures present the calculated costs and benefits of these variants in a single, comprehensive format. The results shown are for introduction in November 2001; later introduction will obviously be accompanied by lower costs as well as benefits. The date of introduction will have little or no effect on cost-effectiveness, however.

Figure 4 Costs and benefits of introduction of cleaner diesel in November 2001

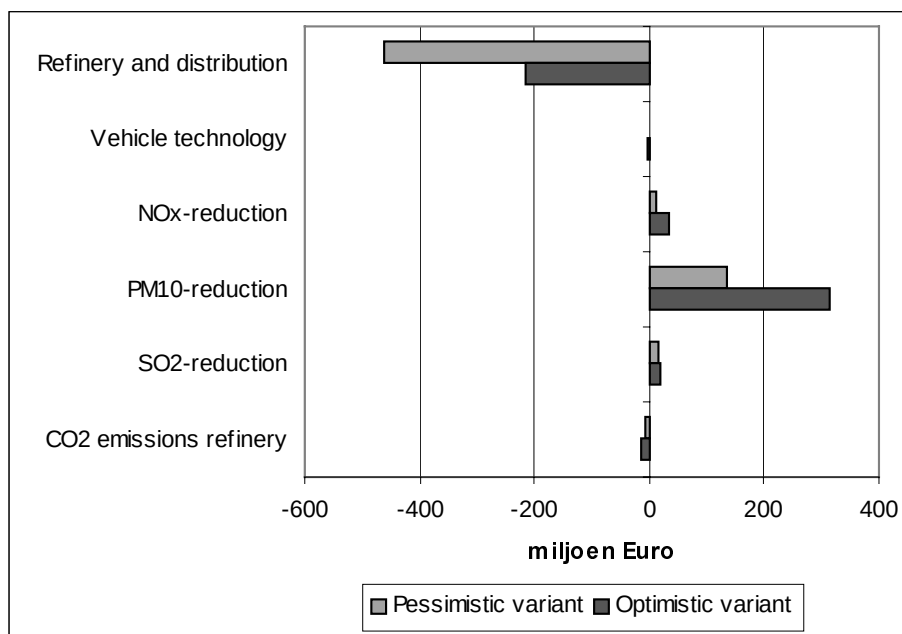
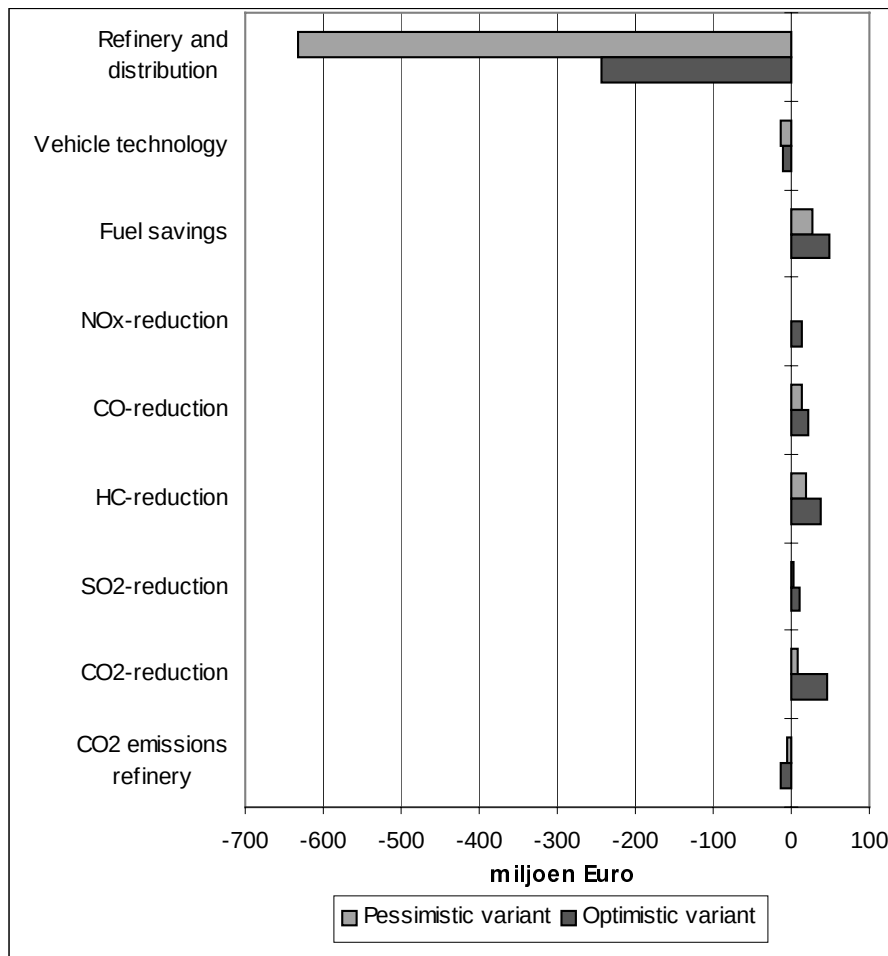
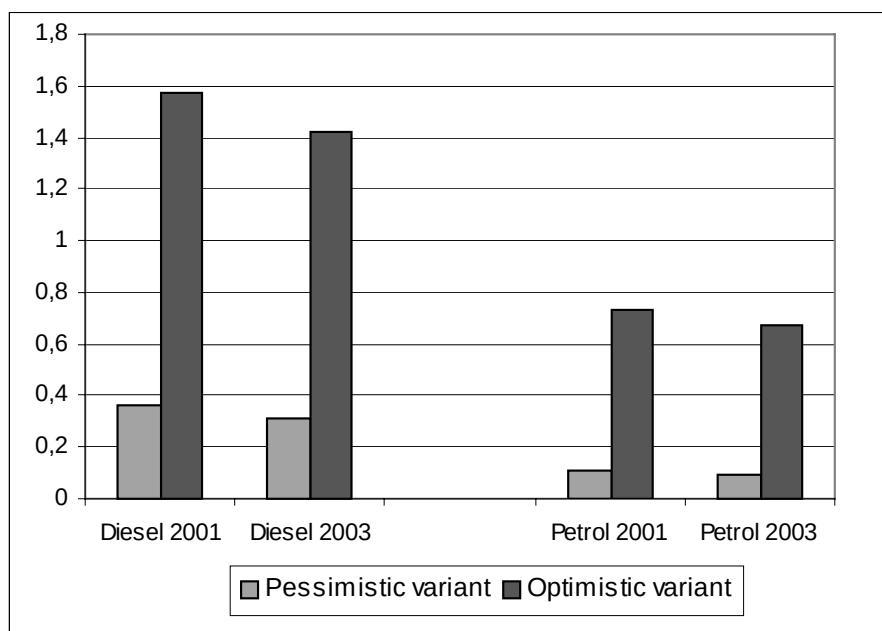


Figure 5 Costs and benefits of introduction of cleaner petrol in November 2001



The cost-effectiveness of accelerated introduction is shown in Figure 6. Earlier introduction of *diesel* has the greatest cost-effectiveness: between 0.4 and 1.6. In other words the environmental benefits may be either greater than the economic costs or less. The benefits consist mainly of reduced health damage due to lower particulate (PM_{10}) emissions, with costs accruing from the additional expense of refinery and distribution. Earlier introduction of cleaner *petrol* is considerably less cost-effective: 0.1 to 0.7. Regardless of the assumptions made, the environmental benefits are thus lower than the economic costs. Again, the costs are due mainly to more expensive refinery and distribution, with benefits due to fuel savings and reductions in HC, CO_2 , CO and SO_2 emissions. It should be noted, though, that the cost-effectiveness will in all probability be about twice as high if petrol with only a lower *sulphur* content is introduced at an earlier date, as will be the case in Germany. This may therefore well be a cost-effective measure. This is because reduction of the *aromatics* content is not likely to lead to any additional environmental benefits, only (substantial) extra refinery and distribution costs.

Figure 6 Cost effectiveness of introduction of cleaner fuels in November 2001 or June 2003





1 Inleiding

1.1 Inleiding

In 1998 zijn in de Europese Unie nieuwe milieueisen voor wegvoertuigen en hun brandstoffen, benzine en diesel, afgesproken. Het betreft een tweetraps aanscherping, per 2000 en 2005, van de emissie-eisen voor nieuwe personenauto's, bestelauto's en vrachtautomotoren en van de eisen voor de samenstelling van benzine en diesel.

Inmiddels is in een aantal landen in de EU een vervroegde introductie van benzine en diesel die voldoen aan de '2005'-specificaties in discussie of reeds in gang gezet. Ook Nederland overweegt een dergelijke stap.

Introductie van de 'schonere' brandstoffen heeft twee voordelen:

- 1 De brandstoffen veroorzaken een *directe* emissiereductie van NO_x, HC en PM₁₀ doordat ze schoner verbranden in de bestaande voertuigen.
- 2 De brandstoffen kunnen een *indirecte* emissiereductie van CO₂, NO_x of PM₁₀ veroorzaken doordat ze de introductie van geavanceerde schonere en/of zuinigere voertuigtechnologieën kunnen faciliteren. Enkele veelbelovende motor- en katalysatortechnologieën functioneren immers niet of slecht met brandstoffen volgens de '2000' specificaties. Met name het zwavelgehalte van benzine en diesel van '2000' specificaties is een probleem.

De introductie heeft echter ook twee nadelen. Ten eerste kost het geld, ten tweede stijgen de emissies van raffinaderijen doordat zij meer energie nodig hebben voor de productie van de brandstoffen.

Daarnaast brengt een vervroegde introductie in Nederland een aantal onzekerheden met zich mee. Zo kan het indirecte milieueffect van vervroegde introductie tegenvallen omdat de Nederlandse markt te klein is voor de voertuigfabrikanten om schonere voertuigtechnologie te introduceren. Verder kan de fiscale prikkel die nodig is voor vroegtijdige introductie in Nederland hoger blijken te zijn dan de meerkosten van raffinage van deze brandstoffen doet vermoeden.

Tegen deze achtergrond heeft het Ministerie van VROM CE en TNO-WT verzocht om een vervroegde introductie van benzine en diesel conform de '2005' specificaties te onderzoeken op emissiepotentieel en kosteneffectiviteit.

1.2 Doel

Het doel van dit onderzoek is om het emissiepotentieel en de kosteneffectiviteit aan te geven van een vervroegde introductie van benzine en diesel volgens 'EU 2005'-specificaties, en om aan te geven op welke wijze deze vervroegde introductie het meest (kosten)effectief kan plaatsvinden.

1.3

Afbakening

Dit onderzoek kent de volgende afbakeningen:

- alleen benzine en dieselbrandstof worden beschouwd;
- het onderzoek beperkt zich tot de voertuigcategorieën personenauto's, bestelauto's, vrachtauto's en bussen;
- als introductietijdstippen worden gehanteerd 1 november 2001 (gelijktijdig met Duitsland) en 1 juni 2003 (halverwege 1 november 2001 en 1 januari 2005);
- de milieueffecten worden vastgesteld voor de jaren 2001 t/m 2010;
- de milieueffecten worden uitgesplitst naar effecten op de emissies van de componenten CO₂, NO_x, PM₁₀, HC, CO en SO₂. De effecten zullen worden uitgesplitst naar binnen en buiten de bebouwde kom.



2 Definitie van scenario's

2.1 Inleiding

Voor een zinvolle uitvoering van milieu- en kosteneffectiviteitsberekeningen is een zorgvuldige definitie van referentie- en introductiescenario's van het grootste belang. De scenario's moeten daarvoor rekening houden met de belangrijkste invloedfactoren en onzekerheden. Dit zijn:

- de introductiedatum;
- de vraag of de stimulering van laagzwavelige benzine en diesel in Duitsland al dan niet doorgaat en succesvol is;
- de mate waarin vervroegde introductie van de schonere benzine en diesel daadwerkelijk leidt tot een eerdere introductie van schone voertuigtechnologie.

De voor dit project relevante Europese eisen voor benzine en diesel per 2000 en 2005 zijn gegeven in Tabel 1. Voor een uitgebreidere beschrijving van de Europese voertuig- en brandstofeisen zie Bijlage A.

Tabel 1 Voor dit project relevante Europese brandstofeisen per 2000 en 2005

	Benzine		Diesel	
	2000	2005	2000	2005
zwavel (mg/kg)	150	50	350	50
aromaten (vol%)	42%	35%		

We zien dat de belangrijkste wijziging in de specificaties tussen 2000 en 2005 het zwavelgehalte is. Bij benzine wordt daarnaast ook het aromaatgehalte verlaagd.

2.2 Referentiescenario's

Omdat ons grootste buurland, Duitsland, plannen heeft om in november 2001 laagzwavelige benzine en diesel fiscaal te gaan stimuleren is het nodig om twee referentiescenario's te definiëren.

In het eerste referentiescenario, '**NL2005 Dopt**', introduceert Duitsland succesvol laagzwavelige benzine en diesel vanaf november 2001. Nederland voert geen specifiek beleid voor vroegere introductie van '2005' brandstoffen.

In het tweede referentiescenario, '**NL2005 Dpress**', introduceert Duitsland geen laagzwavelige brandstoffen, doordat ofwel de stimulering wordt afgeblazen, of doordat de fiscale stimulans onvoldoende blijkt te zijn. Ook hier voert Nederland geen specifiek beleid.

Overigens wil Duitsland niet stimuleren op basis van de '2005' specificaties, maar puur op basis van zwavelgehalte. Voor deze afwijking van de Europese regels heeft Duitsland een derogatie aangevraagd en verkregen. Vooralsnog gaan we er in dit project vanuit dat Nederland wél brandstoffen conform de '2005' specificaties wil introduceren, dus niet alleen met een lager zwavelgehalte.

Doordat de brandstoffen van Duitsland en Nederland voor een groot deel in dezelfde raffinaderijen worden geproduceerd, zal de brandstofsamenstelling in Nederland afhangen van de ontwikkelingen in Duitsland. Als in Duitsland laagzwavelige brandstoffen een groot marktaandeel verwerven (scenario NL2005 Dopt), zullen de oliemaatschappijen wijzigingen in de raffinageprocessen aanbrengen om aan de toenemende vraag te voldoen. Één van de maatregelen zal zijn om zwavelarme grondstoffen (ruwe olie en andere componenten) te splitsen van grondstoffen met hoger zwavelgehalte. Het gevolg hiervan zal een stijging van het zwavelgehalte van de 'gewone' brandstoffen zijn, zover de normen dat toelaten. Vooral bij benzine kan dat een significant effect zijn, omdat daar de 'give-away', het verschil tussen het market-average zwavelgehalte en de norm, het grootst is.

2.3 Introductiescenario's

Verder hanteren we voor zowel benzine als diesel vier mogelijke introductiescenario's.

Het eerste is '**NL 2001 pess**'. Nederland introduceert in november 2001, gelijktijdig met Duitsland, benzine en diesel die voldoet aan de '2005' specificaties. De introductie in Nederland leidt slechts tot een zeer beperkte instroom van schonere en zuinigere voertuigtechnologie.

Het tweede is '**NL 2001 opt**'. Nederland introduceert in november 2001, gelijktijdig met Duitsland, benzine en diesel die voldoet aan de '2005' specificaties. De introductie in Nederland leidt tot een forse instroom van schonere en zuinigere voertuigtechnologie.

Het derde is '**NL 2003 pess**'. Nederland introduceert in juni 2003 benzine en diesel die voldoet aan de '2005' specificaties. De introductie in Nederland leidt slechts tot een zeer beperkte instroom van schonere en zuinigere voertuigtechnologie.

Het vierde is '**NL 2003 opt**'. Nederland introduceert in juni 2003 benzine en diesel die voldoet aan de '2005' specificaties. De introductie in Nederland leidt tot een forse instroom van schonere en zuinigere voertuigtechnologie.

Overigens zijn de twee referentiescenario's en vier introductiescenario's onderling niet geheel onafhankelijk. Als Duitsland niet succesvol is in de introductie van laagzwavelige brandstoffen, is de kans dat in Nederland de laagzwavelige brandstof schonere en zuinigere voertuigtechnologie faciliteert kleiner. Bij het scenario 'NL2005 Dpess' is de kans daarom groot dat de pessimistische introductiescenario's optreden, terwijl 'NL2005 Dopt' redelijkerwijs zal samengaan met de optimistische inschatting van technologiefacilitering.

Een gedetailleerde beschrijving van de scenario's, en de ontwikkelingen in brandstofsamenstelling die bij de verschillende scenario's zijn aangenomen, is gegeven in Bijlage C.



3 Brandstofkwaliteit en voertuigtechnologie

3.1 Inleiding

Zoals reeds in hoofdstuk 1 gememoreerd zijn er twee redenen om de brandstoffen met de '2005' kwaliteit vervroegd te introduceren.

De eerste is het directe effect op de emissies van NO_x, HC, CO, PM₁₀ en SO₂ van bestaande voertuigen.

De tweede reden is echter minstens zo belangrijk en betreft het feit dat enkele veelbelovende voertuigtechnologieën niet of slecht functioneren met brandstoffen met een hoog zwavelgehalte in de brandstof. Zonder beschikbaarheid van de laagzwavelige '2005'-brandstoffen kunnen deze technologieën niet worden geïntroduceerd.

Daarom beschrijven we in dit hoofdstuk de verschillende voertuigtechnologieën waarvan het succes afhangt van de brandstofkwaliteit. Met deze inzichten kunnen pessimistische en optimistische introductiescenario's voor de voertuigtechnologie worden vastgesteld.

3.2 Voertuigtechnologieën en hun emissiepotentieel

Onder invloed van de steeds belangrijker wordende emissiebeperking en brandstofverbruiksverlaging van verbrandingsmotoren, worden op dit moment op grote schaal nieuwe technologieën ontwikkeld. Omwille van een verlaging van het brandstofverbruik, zullen direct ingespoten motoren op steeds grotere schaal in het wagenpark penetreren.

Voor dieselmotoren bestaat de verkoop van nieuwe voertuigen (zowel LD als HD¹) al vrijwel uitsluitend uit voertuigen met direct ingespoten motoren. HD motoren zijn altijd al direct ingespoten geweest, omdat het geluidsccomfort voordeel van voorkamerinspuiting hier niet van toepassing was.

Auto's met benzinemotor met directe brandstofinjectie staan op dit moment op het punt om op grote schaal geïntroduceerd te worden. Deze motoren werken met een combinatie van directe injectie met 'lean burn'² om tot een verdere reductie van het brandstofverbruik te komen.

Naast verlaging van het brandstofverbruik, dienen (onder druk van internationale wetgeving) de emissies van CO, HC, NO_x en deeltjes verlaagd te worden. Echter juist de introductie van directe injectie (voor LD in combinatie met lean burn) heeft nadelige consequenties voor de mogelijkheden om deze emissies te beperken. Door het arme mengsel is namelijk toepassing van driewegkatalysatoren op benzinemotoren niet meer mogelijk. Een vergelijkbaar probleem doet zich voor bij dieselmotoren, die per definitie een lean burn verbranding toepassen. Vooral door het ontbreken van een geschikte nabehandelingstechniek is met name de NO_x-uitstoot van dieselmotoren relatief hoog. Daarnaast is de uitstoot van deeltjes bij dieselmotoren een probleem.

¹ LD: Light Duty (personen- en bestelauto's), HD: Heavy Duty vrachtauto's en bussen.

² Lean burn: arme verbranding. Verbranding met een overmaat aan lucht in tegenstelling tot de conventionele benzinemotoren die met een stoichiometrische verbranding werken waarbij precies voldoende lucht aanwezig is om de aanwezige brandstof te verbranden.

Om aan de huidige en de toekomstige emissie- en brandstofverbruikseisen tegemoet te komen kunnen diverse technologieën toegepast worden, welke in meer of mindere mate beïnvloed worden door het zwavelgehalte in de brandstof. Hierbij worden de volgende nieuwe technologieën, onderscheiden naar verbrandingsprincipe, als meest kansrijk gezien:

benzine-auto's: Direct geïnjecteerde 'lean burn' motoren in combinatie met NO_x-opslagkatalysatoren

Dieselmotoren: Deeltjesfilters

NO_x-opslagkatalysatoren

DeNO_x-katalysatoren (HC-SCR en NH₃-SCR)³

In Bijlage D worden deze technologieën in meer detail besproken.

In dit onderzoek hebben wij ons beperkt tot de Tabel 2 aangegeven technieken. De geschatte effecten op brandstofverbruik en emissies die in de emissieberekeningen gebruikt zijn, zijn ook in deze tabel aangegeven.

Tabel 2 Verwachte effecten op brandstofverbruik en emissies van nieuwe voertuigtechnologieën (zie Bijlage D voor een nadere toelichting)

Technologie	Toegepast op	Brandstof-verbruik / CO ₂	NO _x	PM ₁₀	HC / CO
DI stoichiometrisch (benzine-auto's)	Euro 3 en 4 benzine-auto's	-3%	Onveranderd	Onveranderd	Onveranderd
DI lean burn (benzine-auto's)	Euro 3 en 4 benzine-auto's	-13%	+20%	Onveranderd	Onveranderd
deeltjesfilter (HD dieselmotoren)	HD Euro 3/4/5 Dieselmotoren	Onveranderd	Onveranderd	-80%	Onveranderd

3.3 Verwachte instroom van de technologieën in de vloot

In deze paragraaf zal kort de penetratie (instroom) van de verschillende technologieën in de Nederlandse voertuigvloot worden geschetst. Voor een uitgebreidere beschrijving van de verwachte penetratie van voertuigtechnologieën verwijzen we naar Bijlage E.

3.3.1 Personenauto's op benzine

De gehanteerde technologiescenario's voor benzine-personenauto's zijn gebaseerd op de introductie van direct geïnjecteerde motoren, al dan niet in combinatie met lean burn en een NO_x-opslagkatalysator. Er bestaat de algemene verwachting dat het marktaandeel van deze technologie voor nieuw verkochte personenauto's in de periode tot 2010 zal groeien naar 85%. Elke grote autofabrikant is momenteel druk bezig met de ontwikkeling van dergelijke motoren en momenteel zijn de eerste typen al op de markt.

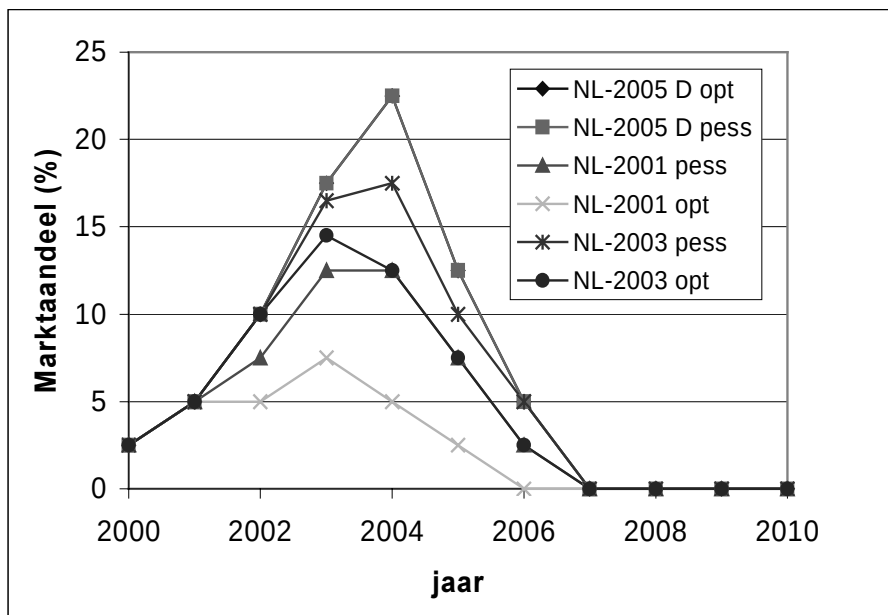
De volgende figuren geven het marktaandeel nieuw verkochte benzinepersonenauto's weer voor zowel DI stoichiometrische motoren als DI lean met een NO_x-opslagkatalysator. In alle scenario's is het marktaandeel van DI stoichiometrisch plus het marktaandeel van DI lean gelijk. Dit omdat de in-

³ HC-SCR: HydroCarbon Selective Catalytic Reduction, een DeNO_x-katalysator die werkt met verdampte brandstof als reagens, NH₃-SCR: Ammonia Selective Catalytic Reduction, een systeem dat werkt met extern toegevoegd ureum als reagens.

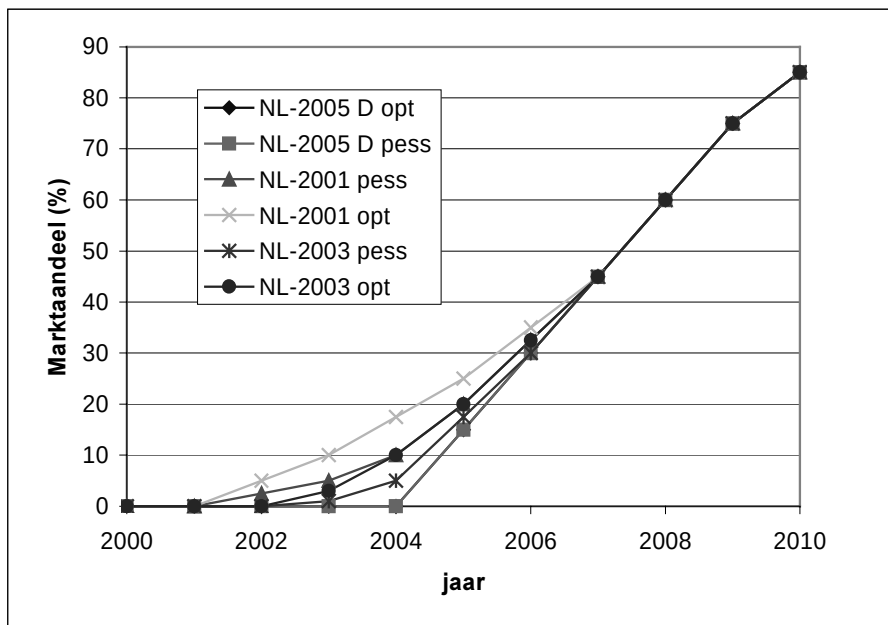


troductie van DI-motoren als een autonome ontwikkeling kan worden beschouwd (vooral bepaald door de ontwikkelingen in Duitsland en Japan), en Nederlandse beslissingen betreffende de brandstofkwaliteit alleen invloed hebben op de 'trade-off' tussen DI stoichiometrisch en DI lean in het Nederlandse wagenpark.

Figuur 7 Marktaandeel stoichiometrische DI-motoren in de nieuwverkoop van benzine-personenauto's zoals aangenomen in de verschillende scenario's



Figuur 8 Marktaandeel van lean burn DI-motoren in nieuwverkoop benzine-personenauto's zoals aangenomen in de verschillende scenario's

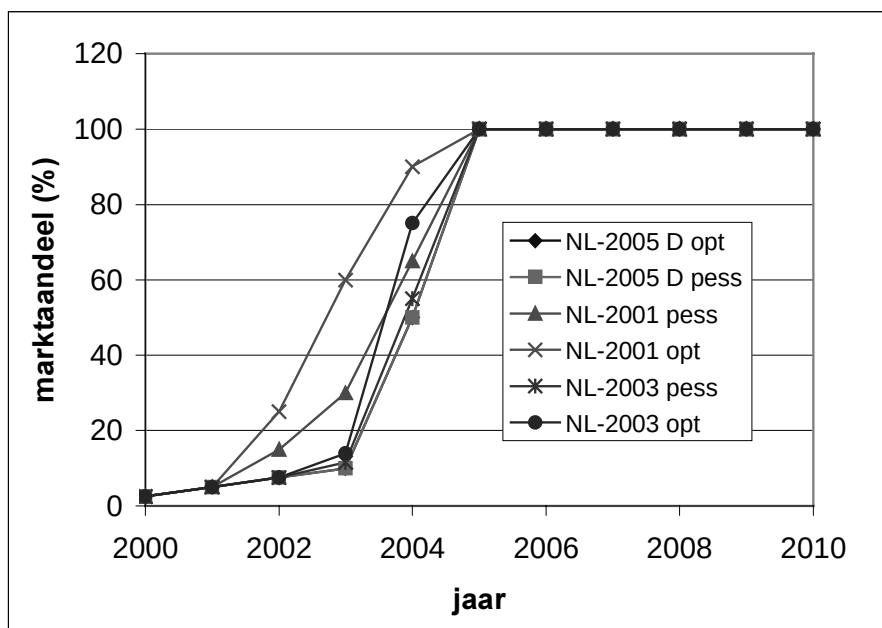


3.3.2 Personen- en bestelauto's op diesel

Bij dieselmotoren zijn de technologieën die door 2005 brandstofkwaliteit kunnen worden gefaciliteerd bedoeld om emissies van met name NO_x en deeltjes te beperken. Anders dan bij benzine-auto's is er voor de consument geen direct brandstofverbruiksvoordeel merkbaar bij de introductie van deze nieuwe technologieën. Maar verschillende overheden kennen reeds stimuleringsregelingen voor 'Euro 4'-technologie, hoewel deze technologie nog niet op de markt is. Zo heft de Duitse overheid een zeer laag MRB-tarief voor 'Euro 4'-voertuigen. In Nederland zijn per 1 april 2000 de BPM-tarieven voor nieuwe dieselpersonenauto's gewijzigd, waardoor de Euro 4 dieselauto een voordeel van f 800,- hebben gekregen: het tarief voor Euro 2- en 3-auto's is met f 2.000,- verhoogd, voor Euro 4 met f 1.200,-.

De laagzwavelige diesel maakt het voor de fabrikanten gemakkelijker om al vóór 2005 Euro 4-dieselauto's op de markt te brengen. Een forse verlaging van het zwavelgehalte leidt namelijk direct tot een forse verlaging van de (sulfaat)deeltjesemissie, die in de oxidatiekatalysator wordt gemaakt. Vervroegde introductie van 2005 brandstofkwaliteit faciliteert dus een vervroegde introductie van Euro 4-dieselauto's. De door TNO gehanteerde scenario's voor de modelberekeningen voor aldus gefaciliteerde dieselpersonenauto's zien er uit als getoond in Figuur 9.

Figuur 9 Marktaandeel van Euro 4-technologie in nieuw verkochte dieselpersonen- en bestelauto's zoals aangenomen in de verschillende scenario's



3.3.3 Vrachtauto's en bussen

Voor Heavy Duty (HD) toepassingen is laagzwavelige diesel voornamelijk een voorwaarde voor toepassing van bepaalde typen deeltjesfilters en SCR De NO_x -katalysatoren. Ook hier zijn er geen directe financiële voordelen te behalen voor de gebruikers. Sterker nog: er kan een geringe toename van het brandstofverbruik optreden, terwijl de bedrijfszekerheid mogelijk minder wordt door de introductie van geavanceerde additionele componenten. Daarnaast zijn de bedoelde technieken relatief kostbaar. Omdat brandstof-

verbruik en bedrijfszekerheid de belangrijkste criteria zijn voor een HD voertuig, zullen gebruikers niet eerder dan wettelijk noodzakelijk overgaan tot de aanschaf en het gebruik van deze technologieën: de fabrikanten zullen in de loop van 2004 met Euro IV voertuigen op de markt komen, ter vervangingen van hun Euro III typen. Er gaat dus in principe geen faciliterende werking uit van vervroegde introductie van 2005 brandstofkwaliteit voor HD.

Echter, indien de Nederlandse overheid besluit om via stimuleringsregelingen transportbedrijven er toe te bewegen eerder dan wettelijk verplicht met Euro IV technologie te gaan rijden, dan bestaat de kans op een beperkte voortijdige introductie, waarbij vooral het deeltjes filter van het type CRT⁴ als meest kansrijk kan worden beschouwd. Teneinde de effecten hiervan te kunnen berekenen zijn een aantal scenario's doorgerekend. Aangenomen is dat in de optimistische scenario's maximaal 10% (eind 2004) van de voertuigkilometers met CRT uitgeruste voertuigen wordt gereden, zie onderstaande tabel.

Tabel 3 Aantal Heavy Duty dieselveertuigen (% van het totaal) met CRT via incentives (af fabriek en retrofit)

jaar	NL2005 D-pess	NL2005 D-opt	NL2001 pess.	NL2001 opt.	NL2003 pess.	NL2003 opt.
2000	0	0	0	0	0	0
2001	0	0	0	0	0	0
2002	0	0	0	5	0	0
2003	0	0	0	7.5	0	2.5
2004	0	0	0	10	0	7.5

⁴ CRT: Continuously Regenerating Trap, deeltjesfilter dat zichzelf continu 'regeneert' ofwel schoonmaakt



4 Economische effecten van vroegere introductie

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de economische effecten van en vroegere introductie van '2005' brandstoffen beschreven. De effecten bestaan uit:

- meerkosten bij de raffinage van de brandstoffen;
- meerkosten bij de distributie van de brandstoffen;
- meerkosten van de 'schone' voertuigtechniek;
- baten van een eventuele brandstofbesparing als gevolg van de schonere voertuigtechniek.

Deze vier posten komen in de volgende paragrafen aan de orde.

4.2 Meerkosten raffinage, distributie en logistiek

Om de Nederlandse markt te voorzien van brandstoffen die aan 2005 specificaties voldoen, moeten door de olie-industrie meer kosten worden gemaakt dan voor de 2000 brandstoffen. De oliemaatschappijen kunnen kiezen uit een aantal verschillende opties:

- 1 Optimaal gebruik van zwavelarme en, bij benzine, laag-aromatische componenten.
- 2 Intensiever gebruik van bestaande procesapparatuur.
- 3 Investerings in nieuwe procesapparatuur.

De mogelijkheden van de twee eerste opties zijn beperkt, terwijl met name bij de derde optie rekening gehouden moet worden met een termijn van een aantal jaren. Aan elk van deze opties zijn kosten verbonden die afhangen van de beschikbaarheid van de juiste grondstoffen op de markt en specifieke mogelijkheden van raffinaderijen. Daarnaast zal de vraag naar laagzwavelige ruwe olie en andere specifieke componenten toenemen, waardoor de prijzen hiervan stijgen. Een nadere uitleg over de verwachte ontwikkelingen en kosten bij de raffinage en distributie is te vinden in Bijlage B.

In Bijlage B.4 zijn de meerkosten van vroegere introductie van de schonere brandstoffen in Nederland geschat. Deze schattingen zijn gebaseerd op twee rapporten, een studie van Arthur D. Little [AD Little, 1997], en een CONCAWE studie [CONCAWE, 1999]. In beide studies zijn de gevolgen en kosten voor de raffinagemarkt berekend, voor de situatie dat schonere brandstoffen in de hele Europese Unie zijn geïntroduceerd. Hierbij is rekening gehouden met de drie opties die hierboven zijn beschreven, en is een optimum gezocht waarbij aan de EU vraag naar 2005 brandstoffen kan worden voldaan tegen zo laag mogelijke kosten. De uitgangspunten van beide studies verschillen echter, waardoor de AD Little studie tot een veel lagere inschatting van de kosten komt dan de CONCAWE-studie. Belangrijk hierbij is bijvoorbeeld de herkomst van de ruwe olie. Ten tijde van de CONCAWE-studie was ruwe olie goedkoop, waardoor in deze studie een groot aandeel van, relatief zwavelrijke, Arabische olie is verondersteld dan bij de ADL-studie. Hierdoor vallen de ontwavelingskosten veel hoger uit.

De situatie die in deze twee studies is doorgerekend, gelijktijdige en volledige introductie in 12 resp. 15 EU-lidstaten, is niet direct te vergelijken met de

situatie die in dit rapport wordt beschouwd. Bij vroegere introductie van deze brandstoffen in een beperkt deel van de Europese Unie kan meer gebruik gemaakt worden van de eerste twee opties. Met optimaal gebruik van beschikbare laagzwavelige grondstoffen kan dan al aan een flink deel van de vraag worden voldaan. Daarom heeft de Verenigde Nederlandse Petroleum Industrie (VNPI) op basis van het CONCAWE-rapport een lagere schatting van de kosten voor de beschouwde situatie gegeven. Deze VNPI-inschatting zal in dit rapport worden gebruikt als 'hoge' schatting van de kosten. Voor een 'lage' schatting van de kosten voor schonere diesel hebben wij de resultaten van de AD Little-studie, ongecorrigeerd, overgenomen. Voor benzine is het AD Little-onderzoek niet direct toepasbaar, aangezien deze studie alleen zwavelreductie beschouwt. De extra kosten van aromaatreductie zijn afgeleid uit de verhouding tussen aromaat- en zwavelreductiekosten in de VNPI schatting.

De meerkosten die bij de distributie van de schonere brandstoffen gemaakt moeten worden, hangen sterk af van wat er in Duitsland gebeurt, en of er gedurende langere tijd twee verschillende soorten van één brandstof in omloop zullen zijn. De distributiekosten zullen vrijwel verwaarloosbaar zijn als in Nederland dezelfde soorten brandstof verkocht worden als in Duitsland, omdat de distributie van deze landen grotendeels samengevoegd is. Als de brandstof in Nederland een andere samenstelling heeft dan in Duitsland, zullen de meerkosten oplopen.

De meerkosten voor raffinage en distributie die in deze studie zijn gebruikt zijn gegeven in Tabel 4. In deze tabel zijn ook de kostenschattingen van alleen zwavelreductie (van benzine) opgenomen, aangezien deze opvallend veel lager zijn dan de kosten voor zwavel- én aromaatreductie. Niet alleen de raffinagekosten zijn dan lager, ook de distributie wordt goedkoper omdat Nederland dan dezelfde brandstofkwaliteit heeft als Duitsland.

Tabel 4 De geschatte meerkosten van raffinage van 2005 brandstoffen, zoals gebruikt in deze studie, in euroct/liter

brandstof	Component	verandering van norm	meerkosten in euroct/liter			
			Raffinage		Distributie	
			'laag'	'hoog'	'laag'	'hoog'
benzine	alleen zwavel	150 → 50 ppm	0,4	1,8	0,25	0,5
	plus aromaten	42% → 35%	0,6	2,0	0,75	1,5
diesel	Zwavel	350 → 50 ppm	1,4	3,0	0,25	0,5

4.3 Meerkosten voertuigtechniek

De introductie van eerder genoemde nieuwe mengselbereidingstechnieken (DI) en uitlaatgasnabehandelingstechnieken (DeNO_x, deeltjesfilters) brengt meerkosten met zich mee. Deze meerkosten zijn onder te verdelen in ontwikkelingskosten, productiekosten en autonome kosten. In het onderhavige onderzoek zijn hiervan alleen de productiekosten meegenomen, die gemaakt moeten worden wanneer de technieken als bewezen technologie kunnen worden gezien. Overweging hierbij is dat de ontwikkelingskosten niet worden veroorzaakt door de vroegere invoering van de schonere brandstoffen, en ook niet significant hoger zullen zijn dan in het referentiescenario. Voor de introductie van DI benzine technologie is niet met meerkosten gerekend, omdat deze technologieontwikkeling als autonoom moet worden gezien, en dus bij een eventuele facilitering kostenmatig geen rol speelt. De gehanteerde meerkosten voor de gefaciliteerde technieken zijn gegeven in



Tabel 5. Ook hier is het moeilijk om de precieze meerkosten in te schatten, en hebben we gekozen voor een hoge en een lage variant.

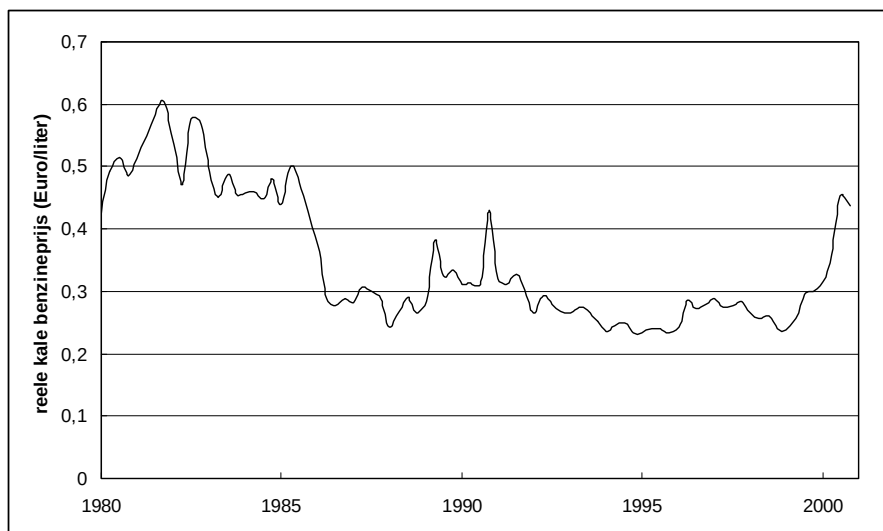
Tabel 5 Meerkosten van de gefaciliteerde voertuigtechnieken

Type gefaciliteerde techniek		Meerkosten (Euro/voertuig)	
		Laag	hoog
DI benzine	Euro 3 benzineauto	0	0
NO _x -opslagkatalysator	Euro 3 benzineauto	250	500
Continu regenererend deeltjesfilter	Euro 4/5 HD diesel	2.500	5.000

4.4 Brandstofbesparing

In hoofdstuk 3 werd beschreven hoe de vervroegde introductie van zwavel-arme *benzine* een brandstofbesparing tot gevolg kan hebben doordat DI benzinemotoren met 'lean burn' verbranding toegepast kunnen worden. Bij deze motoren is het verbruik ruim 10% minder dan bij de huidige stoichiometrische benzinemotoren. Deze brandstofbesparing levert de maatschappij een directe kostenbesparing op, die in de financiële berekeningen moet worden meegenomen. In een macro-economische kostenberekening zoals in deze studie wordt uitgevoerd, moet echter niet de brandstofprijs 'aan de pomp' worden gebruikt maar de kale brandstofprijs, zonder accijns en BTW. Het historische gemiddelde van de kale benzineprijs tussen 1980 en 2000 ligt wat onder de 40 euroct/liter, zie Figuur 10. Omdat de bespaarde benzine zwavelarmer is zal hij gemiddeld wat duurder zijn dan de trends uit het verleden. Daarom schatten we de bespaarde kosten per liter op 40 eurocent.

Figuur 10 Kale benzineprijs, gecorrigeerd voor inflatie, over de afgelopen 20 jaar



Invoering van zwavelarme *diesel* biedt geen verbruiksvoordeel. Zoals eerder aangegeven zal door het lage zwavelgehalte wel een aantal schadelijke emissies verminderen.



5 Milieueffecten van vroegere introductie

5.1 Inleiding

Om de milieueffecten van de verschillende scenario's van vroegere introductie van de schonere brandstoffen te bepalen, zijn modelberekeningen uitgevoerd met TNO's emissiemodellen. Deze berekeningen hebben geleid tot resultaten voor de totale emissies en het totale brandstofverbruik van het wagenpark, opgesplitst in

- de voertuigcategorieën personenauto's, bestelauto's en vrachtauto's;
- de brandstofsoorten benzine en diesel;
- binnen de bebouwde kom, buitenweg en snelweg.

Bij elk introductiescenario's zijn de berekeningen twee keer uitgevoerd: éénmaal zonder enige technologiefacilitering, zodat de directe milieueffecten op het ongewijzigde wagenpark kunnen worden bepaald, en éénmaal met de technologiefacilitering die bij dat scenario hoort. Hieruit konden dan zowel de directe emissiereducties worden bepaald, als ook de extra emissiereducties ten gevolge van de facilitering.

Ten behoeve van het uitvoeren van de emissieberekeningen is gebruik gemaakt van actuele data t/m 1999, die voor de daaropvolgende jaren zijn geëxtrapoleerd op basis van een groei in de mobiliteit conform het European Coordination scenario [Bron CBS].

De effecten van schonere benzine en diesel zijn onafhankelijk van elkaar, ook wat betreft de raffinage en distributie. Omdat het daarom goed mogelijk is om ze niet tegelijkertijd in te voeren, zullen we deze twee brandstoffen los van elkaar bespreken. De emissiereducties en ook de kosteneffectiviteiten zullen van elkaar verschillen, en kunnen onafhankelijk van elkaar worden beschouwd.

Een compleet overzicht van de uitkomsten van deze berekeningen is te vinden in Bijlage H. In deze bijlage zijn zowel de emissies van de diesel- en benzinevoertuigen in het referentiescenario gegeven (voor de jaren 2001 t/m 2010), als ook de behaalde emissiereducties bij de verschillende scenario's. Deze resultaten zijn gegeven voor de verschillende voertuigcategorieën en wegtypen, gesplitst naar diesel en benzine. In dit hoofdstuk is een selectie van de resultaten opgenomen en voornamelijk grafisch weergegeven.

Omwille van de leesbaarheid zijn de emissiereducties die in dit hoofdstuk worden gepresenteerd, gegeven als percentage van de totale emissies van benzine- en dieselveertuigen. De resultaten hangen natuurlijk af van het referentiescenario dat wordt gebruikt, 'NL2005 Dopt' of 'NL2005 Dpress' (zie hoofdstuk 2). We zullen alle resultaten in het vervolg van dit hoofdstuk geven ten opzicht van één referentiescenario, namelijk 'NL2005 Dopt'. Dit referentiescenario gaat uit van een zwavelverhoging bij de 'gewone' brandstoffen zodra Duitsland overgaat tot stimulering van de zwavelarme brandstoffen. De zwavelgehalten zullen dan dicht tegen de norm aan liggen. Introductie van de schonere brandstoffen levert dan de grootste zwavelverlaging, en dus de meeste milieuwinst op. Als we daarentegen uitgaan van het referentiescenario 'NL2005 Dpress' is de zwavelverlaging vooral bij benzine nog maar zeer beperkt, en zal van rond de 70 ppm naar 40 ppm afnemen. De milieuwinst van de schonere brandstoffen is dan minder.

De totale emissies en het gedeelte binnen de bebouwde kom zijn gegeven in Tabel 6 en Tabel 7.

Tabel 6 Totale jaarlijkse emissies en brandstofverbruik van het wegverkeer dat door benzine en diesel wordt aangedreven, in het referentiescenario 'NL2005 Dopt'

jaar	CO ₂ [kton]	NO _x [kton]	HC [kton]	CO [kton]	PM ₁₀ [kton]	SO ₂ [kton]	diesel [kton]	benzine [kton]
2001	25.339	136	70	528	4,77	3,40	3.718	4.489
2002	25.809	132	69	518	4,47	4,56	3.766	4.573
2003	26.155	127	66	497	4,21	4,63	3.815	4.614
2004	26.256	122	63	475	3,97	4,46	3.798	4.646
2005	25.890	117	60	453	3,62	0,63	3.681	4.633
2006	25.850	111	57	434	3,33	0,68	3.581	4.702
2007	25.722	106	54	413	3,04	0,71	3.501	4.725
2008	25.618	101	52	397	2,80	0,77	3.448	4.731
2009	25.732	89	42	343	2,63	0,79	3.415	4.755
2010	25.796	80	33	298	2,50	0,81	3.376	4.775

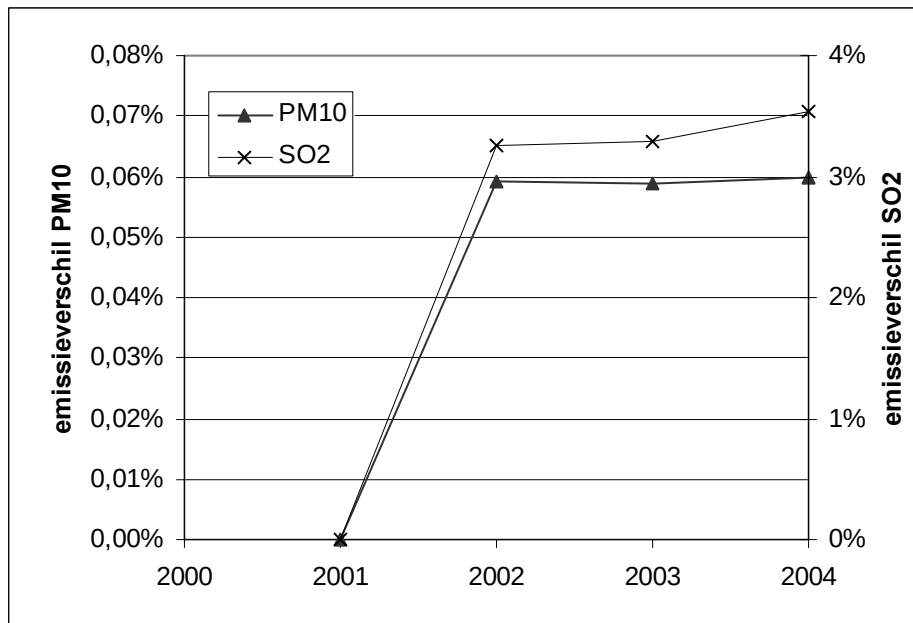
Tabel 7 Jaarlijkse emissies en brandstofverbruik *binnen de bebouwde kom* van het wegverkeer dat door benzine en diesel wordt aangedreven, in het referentiescenario 'NL2005 Dopt'

jaar	CO ₂ [kton]	NO _x [kton]	HC [kton]	CO [kton]	PM ₁₀ [kton]	SO ₂ [kton]	Diesel [kton]	Benzine [kton]
2001	9.579	37	50	372	1,84	1,13	1.198	2.004
2002	9.778	36	49	368	1,73	1,62	1.210	2.045
2003	9.921	35	47	356	1,63	1,64	1.223	2.067
2004	9.972	34	45	342	1,53	1,57	1.209	2.086
2005	9.819	33	43	327	1,41	0,22	1.156	2.084
2006	9.826	32	41	315	1,31	0,24	1.109	2.122
2007	9.798	30	39	302	1,20	0,25	1.069	2.143
2008	9.780	29	38	291	1,12	0,28	1.040	2.158
2009	9.874	27	32	271	1,06	0,28	1.020	2.189
2010	9.942	25	27	252	1,02	0,29	996	2.215

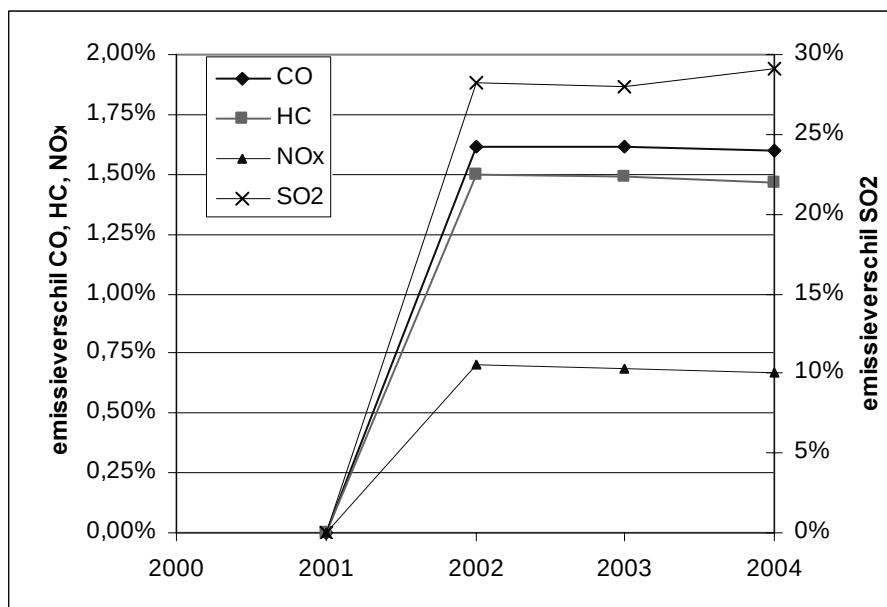
De verschillen in emissies tussen de twee referentiescenario's zijn gegeven in Figuur 11 en Figuur 12, voor diesel en benzine respectievelijk. Door het hogere zwavelgehalte neemt de SO₂-uitstoot toe met bijna 25%, terwijl de CO, HC en NO_x-emissies volgens de modellen met 1 á 1,5% toenemen. De resultaten in het vervolg van dit hoofdstuk kunnen dan worden gecorrigeerd naar het referentiescenario 'NL2005 Dpress' door de resultaten met de percentages uit deze grafiek te verminderen.



Figuur 11 Dieselwegverkeer: verschillen in emissies tussen de twee referentiescenario's 'NL2005 Dpress' en 'NL2005 Dopt'. De emissies zijn het hoogst bij 'NL2005 Dopt', percentages zijn gegeven t.o.v. de totale emissies van het benzine- en dieselwegverkeer in het scenario 'NL2005 Dpress'



Figuur 12 Benzinewegverkeer: verschillen in emissies tussen de twee referentiescenario's 'NL2005 Dpress' en 'NL2005 Dopt'. De emissies zijn het hoogst bij 'NL2005 Dopt', percentages zijn gegeven t.o.v. de totale emissies van het benzine- en dieselwegverkeer in het scenario 'NL2005 Dpress'



Zoals reeds gememoreerd in hoofdstuk 1 bestaan de milieueffecten van de vroegtijdige introductie van de schonere benzine en diesel uit drie elementen:

- een directe emissiereductie van NO_x, PM₁₀, HC en SO₂ van het bestaande voertuigpark;

- een indirecte emissiereductie van CO₂, NO_x en PM₁₀ als gevolg van de vroegere introductie van schonere en/of zuinigere voertuigen;
- een directe toename van emissies in de raffinagefase doordat extra energie nodig is en daardoor extra CO₂ wordt geëmitteerd.

Deze drie elementen komen in de volgende drie paragrafen aan de orde.

5.2 Effecten op het bestaande wagenpark

Wanneer de samenstelling van een brandstof verandert, zullen de verbrandingsemissies van de motoren waarin deze worden verbrand eveneens veranderen. Dit wordt veroorzaakt doordat bepaalde componenten in de brandstof verantwoordelijk zijn voor het ontstaan van bepaalde componenten bij de verbranding. Ook de reacties die plaatsvinden in de katalysator worden beïnvloed door brandstofsamenstelling. Daarnaast kan ook het brandstofverbruik wijzigen door veranderingen in de verbrandingswaarde van de brandstof. Deze effecten worden in onderhavig project als directe effecten omschreven, omdat deze effecten op alle voertuigen optreden direct na het tanken van de andere brandstof.

De directe effecten van een andere brandstofsamenstelling op het verbruik en de emissies van alle voertuigen kunnen worden bepaald met behulp van vergelijkingen die in het EPEFE⁵-onderzoeksprogramma zijn opgesteld. Dit programma was een onderdeel van het Auto-Oil I programma van de Europese Commissie, waarin de interacties tussen brandstofsamenstellingen en uitlaatgasemissies werden onderzocht. EPEFE leverde vergelijkingen op die de verandering van voertuigemissies beschrijven als gevolg van veranderingen in brandstofsamenstelling. Alhoewel EPEFE grotendeels met Euro 1 en vroege Euro 2 voertuigtechnologie is uitgevoerd, gaan we er in onderhavig onderzoek, bij gebrek aan beter materiaal, ervan uit dat deze vergelijkingen ook toepasbaar zijn op Euro 3 voertuigen. Deze aanname is te rechtvaardigen omdat de voertuigen technologisch redelijk vergelijkbaar zijn met de voertuigen waarvoor de EPEFE vergelijkingen zijn afgeleid⁶.

Een effect dat in EPEFE, en derhalve ook in dit onderzoek, niet kon worden meegenomen maar waarschijnlijk wel relevant is, is de geringere 'veroudering' van driefwegkatalysatoren door het lagere zwavelgehalte. Hierdoor zullen de emissies gedurende de levensduur van een voertuig minder toenemen dan bij toepassing van hoogzwavelige brandstof. Wellicht zijn daarom de directe emissiereducties door verlaging van het zwavelgehalte van benzine iets te laag ingeschat.

De EPEFE-vergelijkingen zijn niet toegepast op de toekomstige Euro 4 voertuigen, aangezien de fabrikanten deze generatie voertuigen zal calibreren op de '2005' brandstofsamenstelling die dan in heel Europa verkrijgbaar is.

Daarnaast heeft recente literatuur duidelijke aanwijzingen geleverd, dat de EPEFE voorspellingen met betrekking tot de reductie van de deeltjesuitstoot bij LD dieselveertuigen⁷ met oxicat, ten gevolge van een lager zwavelgehalte

⁵ EPEFE: European Programme on Emissions, Fuels, and Engine Technologies.

⁶ Het betreft hier in vrijwel alle gevallen voertuigen uitgerust met een geregelde driefwegkatalysator (benzine) of dieselmotoren met oxi-kat (LD) of zonder enige vorm van uitlaatgasbehandeling (HD). De verschillen tussen de verschillende bouwjaar betreffen vrijwel altijd enkel evoluties van bestaande technologieën.

⁷ LD: Light duty, dwz. personenauto's en bestelwagens.



te, veel te laag zijn⁸. Voor deze studie is daarom uitgegaan van reductiepercentages die uit de literatuur zijn afgeleid.

We zien in Tabel 8 dat in het geval dat Duitsland het zwavelgehalte van zijn brandstoffen voortijdig verlaagt en Nederland niets doet, Nederland te maken krijgt met hogere NO_x-, HC- en CO-emissies omdat de drijwegkatalysatoren van benzine-auto's minder goed werken, en dat dieselauto's wat meer deeltjes gaan uitstoten.

In Tabel 9 zijn de effecten van de '2005' brandstofsamenstellingen gegeven. Hieruit blijkt dat de invoering van de '2005'-brandstofsamenstellingen vooral emissiereducties van deeltjes, HC en CO met zich meebrengt.

Tabel 8 Het directe milieueffect dat optreedt als de brandstofsamenstelling verandert van de gemiddelde huidige (2000) samenstelling naar de samenstelling met *hogere zwavelgehalte* (t.g.v. ontwikkelingen in Duitsland)

EPEFE effecten		verschil in emissies per km (%)			
type brandstof		benzine	diesel	Diesel	Diesel
type voertuig		personenauto	LD zonder oxi cat	LD met oxi cat	HD zonder oxi cat
HC		1,7	n.b.	n.b.	n.b.
CO		1,7	n.b.	n.b.	n.b.
NO _x		2,0	n.b.	n.b.	n.b.
CO ₂		0,0	n.b.	n.b.	n.b.
PM ₁₀		0,0	0,0	3	0,2
brandstof		0,0	n.b.	n.b.	n.b.
n.b.= niet berekend					

Tabel 9 Het directe milieueffect dat optreedt als de brandstofsamenstelling verandert van de gemiddelde huidige (2000) samenstelling naar de *gemiddelde '2005'* samenstelling

EPEFE effecten		verschil in emissies per km (%)			
type brandstof		benzine	diesel	diesel	Diesel
type voertuig		personenauto	LD zonder oxi cat	LD met oxi cat	HD zonder oxi cat
HC		-1,8	n.b.	n.b.	n.b.
CO		-2,4	n.b.	n.b.	n.b.
NO _x		-0,1	n.b.	n.b.	n.b.
CO ₂		-0,4	n.b.	n.b.	n.b.
PM		0,0	-0,4	-40	-2,3
FC		0,0	n.b.	n.b.	n.b.
n.b.= niet berekend					

Wat deze effecten op voertuigniveau betekenen voor de emissies van het gehele Nederlandse wagenpark, wordt in de volgende paragrafen besproken.

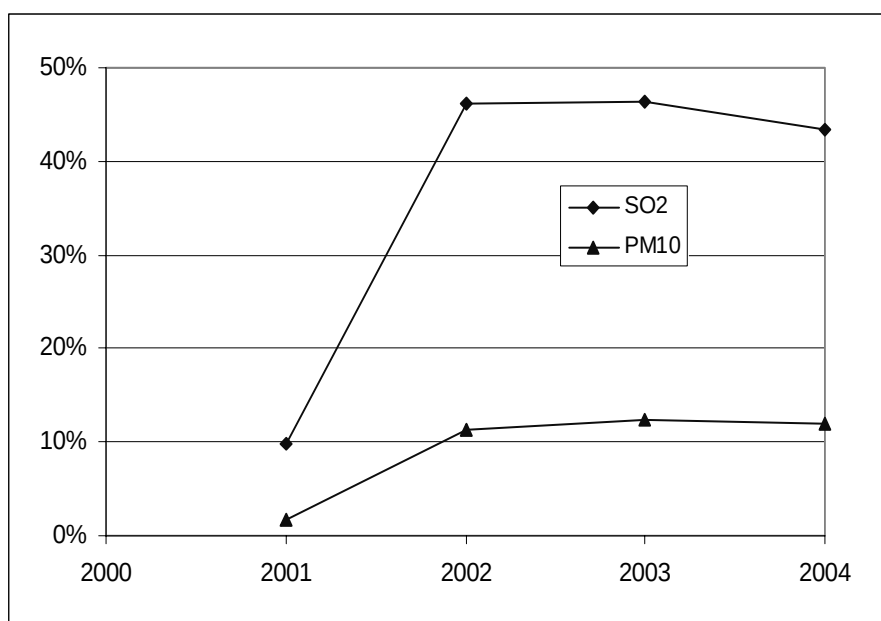
5.2.1 Bij vervroegde introductie in 2001

Als de schonere brandstoffen in november 2001 geïntroduceerd zouden worden, levert de andere samenstelling al meteen een emissiereductie op, zoals blijkt uit Tabel 8 en Tabel 9 hierboven. Deze directe effecten van de

⁸ |Fortschritt-Bericht VDI 21, deel 2:4; Diesel Emission Control, 1999; MECA, 1999.]

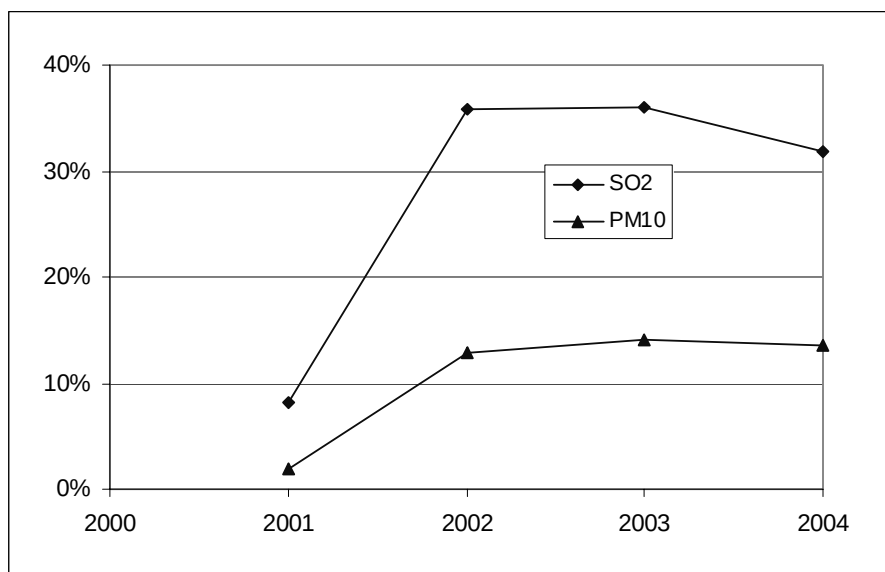
schonere brandstoffen beperken zich bij diesel tot een reductie van de SO₂-en deeltjesemissie, zoals zijn te zien in Figuur 13. Procentueel gezien is de SO₂-reductie aanzienlijk, maar aangezien het huidige niveau van SO₂-concentraties en van SO₂-emissies van het wegverkeer over het algemeen niet meer tot gezondheids- resp. milieuschade leidt, is dit van weinig belang. Deeltjesemissie echter veroorzaakt een groot gezondheidsprobleem (zie Bijlage G), zodat de 8% reductie een belangrijke verbetering van de luchtkwaliteit kan veroorzaken. In hoofdstuk 6 zal blijken dat dit resulteert in een hoge financiële waardering van deze emissies, zodat deze reductie een aanzienlijk voordeel oplevert.

Figuur 13 Directe emissiereductie bij het bestaande wagenpark als gevolg van introductie van schonere diesel in 2001, als percentage van de emissie van het gehele wegverkeer



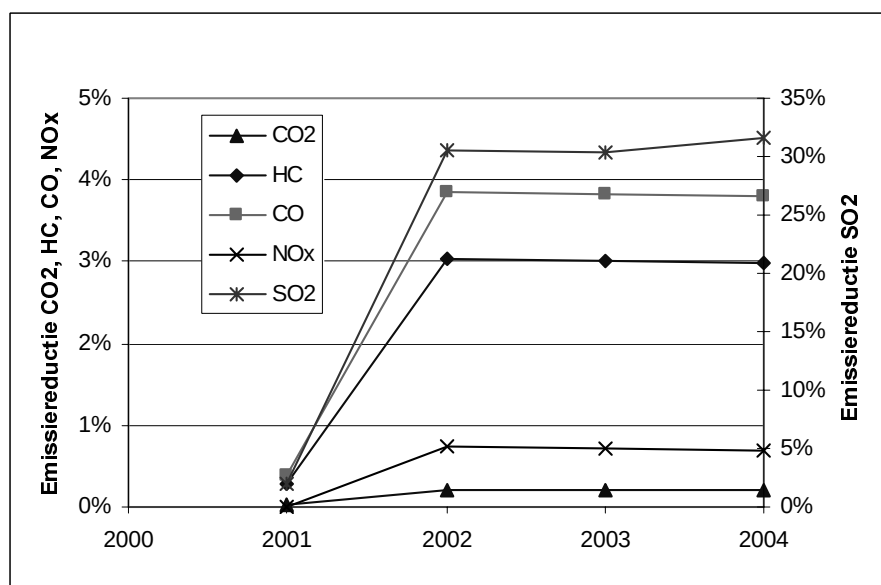
Deeltjesemissie binnen de bebouwde kom levert een veel groter gezondheidsrisico op dan buiten de bebouwde kom. De reductie die daar behaald kan worden is daarom belangrijker dan de totale emissiereductie. In Figuur 14 is de directe emissiereductie binnen de bebouwde kom gegeven.

Figuur 14 Directe emissiereductie binnen de bebouwde kom bij het bestaande wagenpark als gevolg van introductie van schonere diesel in 2001, als percentage van de emissie van het gehele wegverkeer binnen de bebouwde kom



Vroegere invoering van '2005'-benzine zal de uitstoot van SO₂ aanzienlijk beperken, het directe effect op de andere emissies is echter vrij klein, zoals in Figuur 15 te zien is. Door de verlaging van het aromaatgehalte neemt de CO₂-uitstoot iets af (bij gelijkblijvend brandstofverbruik), daarnaast wordt de uitstoot van HC, CO en NO_x met een paar procent verlaagd. In hoofdstuk 6 zal blijken dat deze emissiereducties financieel aanzienlijk minder baten oplevert dan de deeltjesreductie bij diesel.

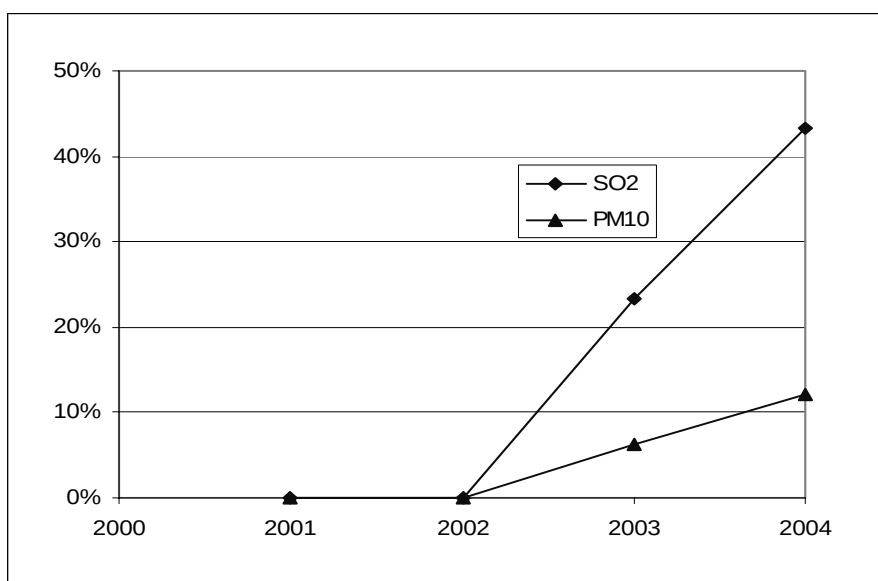
Figuur 15 Directe emissiereductie bij het bestaande wagenpark als gevolg van introductie van schonere benzine in 2001, als percentage van de emissie van het gehele wegverkeer. Let op: gebruik de rechteras voor de SO₂-reductie



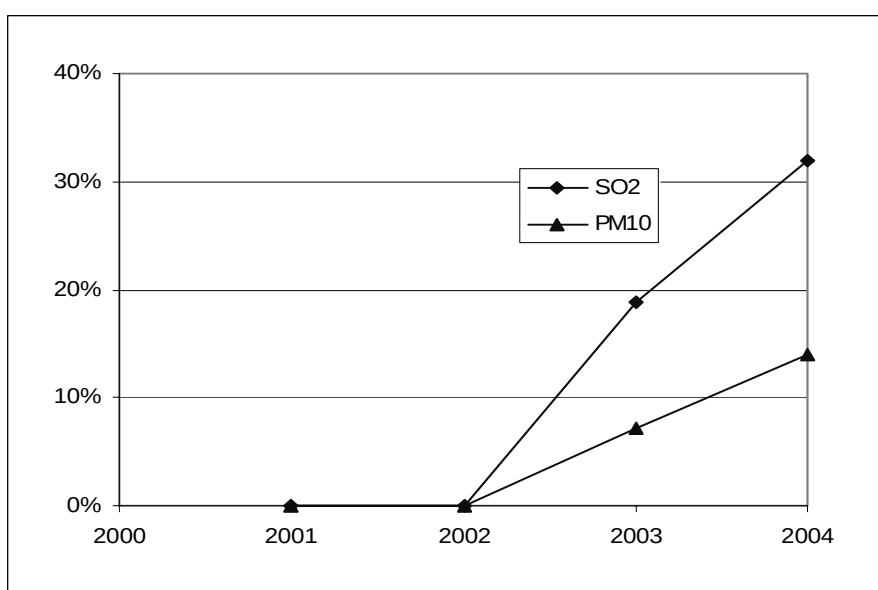
5.2.2 Bij vervroegde introductie in 2003

Als de schonere brandstoffen in juni 2003 worden ingevoerd, zullen de directe emissiereducties ook pas vanaf dat moment optreden. De jaarlijkse emissiereducties zijn vergelijkbaar met die bij introductie in 2001, maar de cumulatieve effecten zijn uiteraard minder. De resultaten voor diesel zijn gegeven in Figuur 16 (gehele wegverkeer) en Figuur 17 (alleen emissies binnen de bebouwde kom). Voor benzine zijn de directe emissiereducties te vinden in Figuur 18.

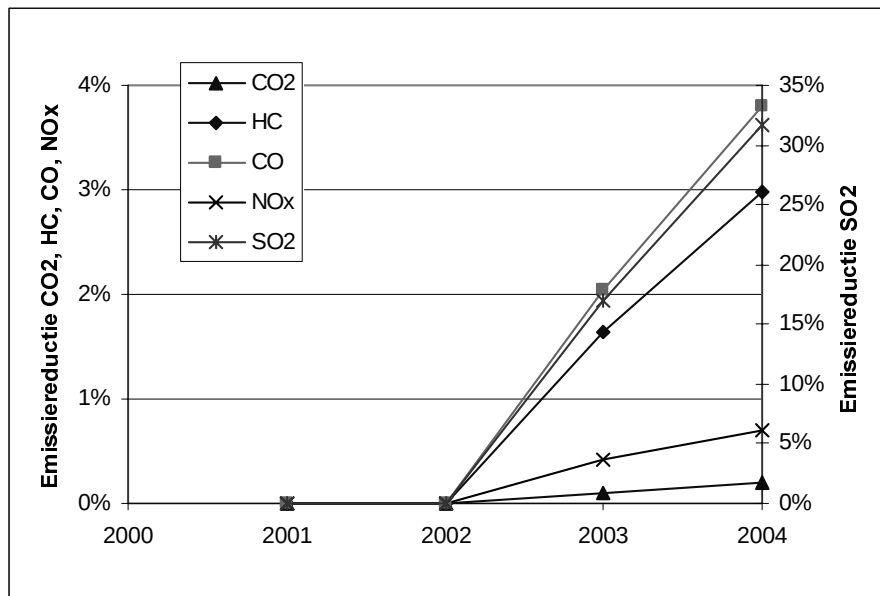
Figuur 16 Directe emissiereductie bij het bestaande wagenpark als gevolg van introductie van schonere diesel in 2003, als percentage van de emissie van het gehele wegverkeer



Figuur 17 Directe emissiereductie bij het bestaande wagenpark binnen de bebouwde kom als gevolg van introductie van schonere diesel in 2003, als percentage van de emissie van het wegverkeer binnen de bebouwde kom



Figuur 18 Directe emissiereductie bij het bestaande wagenpark als gevolg van introductie van schonere benzine in 2003, als percentage van de emissie van het gehele wegverkeer. Let op: gebruik de rechteras voor de SO₂-reductie



5.3 Effecten door facilitering nieuwe voertuigtechnologie

Tot nu toe hebben we alleen de directe effecten van de schonere brandstoffen bekeken, waarbij we uitgingen van een wagenpark in Nederland dat ongewijzigd was ten opzichte van de referentiescenario's. Introductie van de zwavelarme brandstoffen zal ook de toepassing van bepaalde schonere motor- en nabehandelingstechnieken mogelijk maken, zoals beschreven in hoofdstuk 3. De milieueffecten van deze technologiefacilitering, dus zonder de directe effecten uit de vorige paragraaf, zullen in het volgende worden gepresenteerd. De resultaten zullen zowel voor de pessimistische variant als ook voor de optimistische variant worden gegeven.

5.3.1 Bij vervroegde introductie in 2001

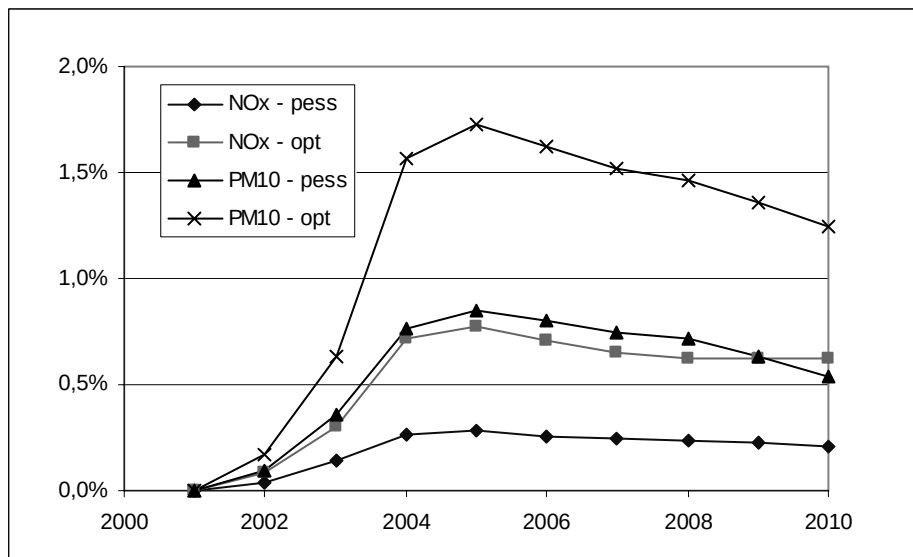
Diesel

Als de schonere diesel in 2001 wordt ingevoerd, zal dit een faciliterend effect hebben op Euro 4 voertuigen, die een lagere NO_x- en PM₁₀-uitstoot hebben dan Euro 3 voertuigen. In het optimistische scenario, 'NL2001 opt', wordt daarnaast aangenomen dat een aantal HD voertuigen deeltjesfilters krijgt ingebouwd, wat een verdere reductie van deeltjesemissie tot gevolg zal hebben. De resultaten van de berekeningen voor deze dieselveertuigen zijn gegeven in Figuur 19. Hierin is te zien dat de deeltjesemissie met nog eens rond de 1,5% gereduceerd zal worden in de periode 2004-2008. De verwachte instroom van Euro 4 voertuigen in het wagenpark leidt daarnaast ook tot een jaarlijkse vermindering van de NO_x-uitstoot.

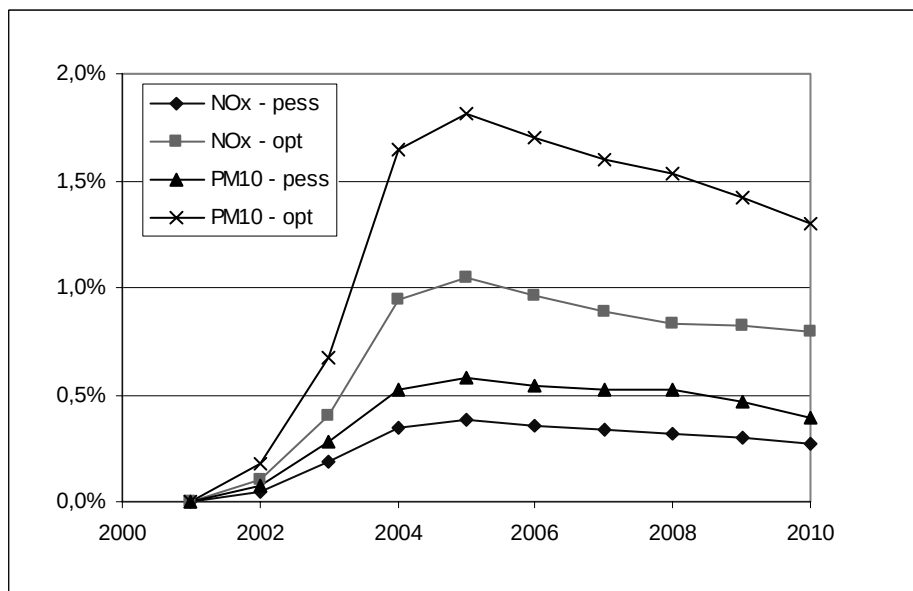
In figuur 19 is duidelijk te zien dat het effect van technologiefacilitering ook na 2005 nog blijft bestaan, de schonere voertuigen blijven nog een aantal jaren rijden en leveren zo ook in latere jaren voordeel op. Hoewel de exacte emissiereducties na 2010 niet met de modellen zijn berekend, is wel een schatting van het verloop tussen 2011 en 2020 gemaakt. Deze schatting is

vervolgens wel meegenomen in de berekeningen van de kosteneffectiviteit (hoofdstuk 6).

Figuur 19 Indirecte emissiereductie door technologiefacilitering als gevolg van introductie van schonere diesel in 2001, als percentage van de emissies van het gehele wegverkeer



Figuur 20 Indirecte emissiereductie door technologiefacilitering als gevolg van introductie van schonere diesel in 2001, binnen de bebouwde kom, als percentage van de totale emissies binnen de bebouwde kom



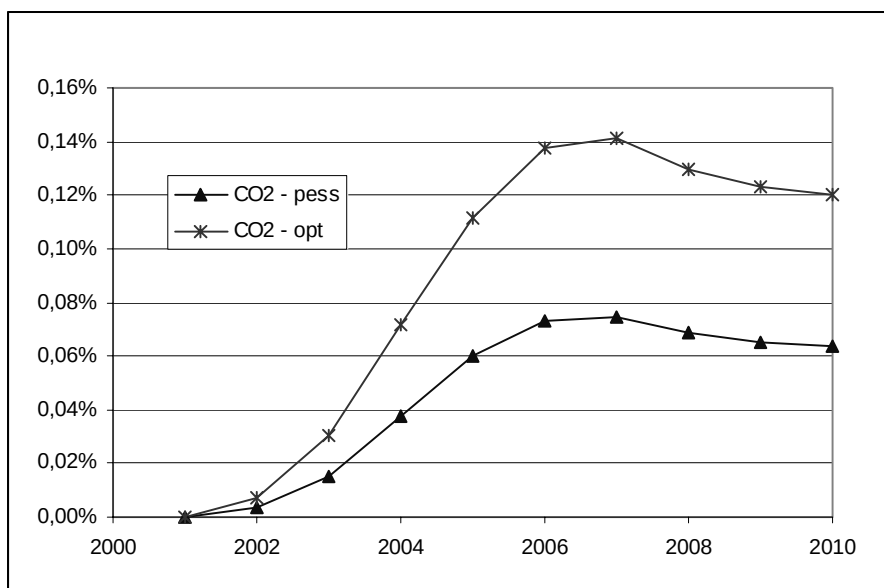
Benzine

Bij benzinevoertuigen is de verwachting dat door schonere benzine voertuigen met lean burn motoren op de markt zullen komen. Deze motoren zijn aanzienlijk zuiniger dan de huidige stoichiometrische motoren, maar leveren geen emissiewinst op – ze zullen ook aan de Euro 3 eisen voldoen. De

milieuwinst blijft dus beperkt tot een CO₂-besparing, zoals te zien in Figuur 21 voor de scenario's NL2001 pess en NL2001 opt.

Ook hier is duidelijk te zien dat de CO₂-reductie niet in 2010 ophoudt maar gedurende de gehele levensduur van de gefaciliteerde auto's winst oplevert. Net als bij de dieselemisssiereductie zijn daarom deze cijfers geëxtrapoleerd naar de periode 2011-2020, waarbij een gemiddelde levensduur van 14 jaar is aangenomen.

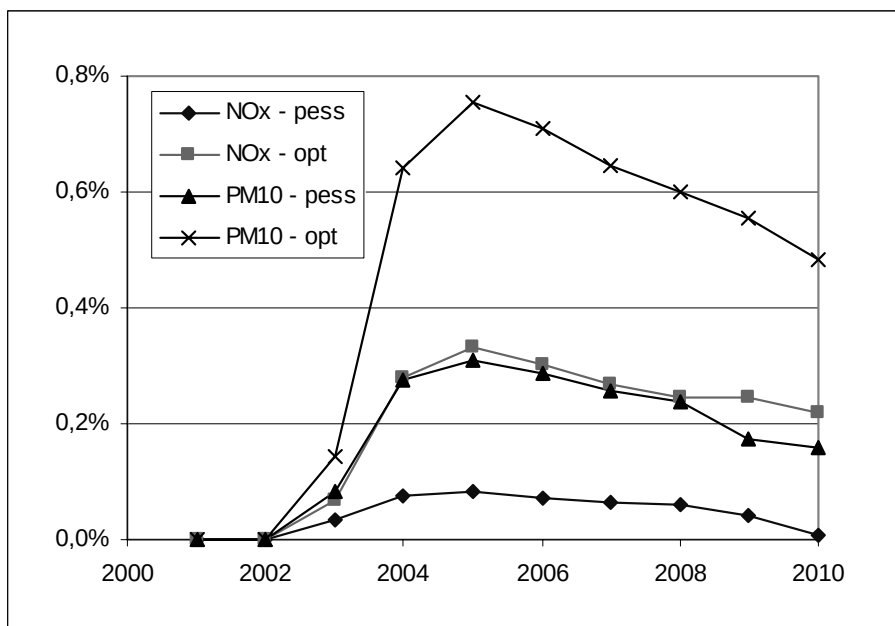
Figuur 21 Indirecte emissiereductie door technologiefacilitering als gevolg van introductie van schonere benzine in 2001, als percentage van de emissies van het gehele wegverkeer



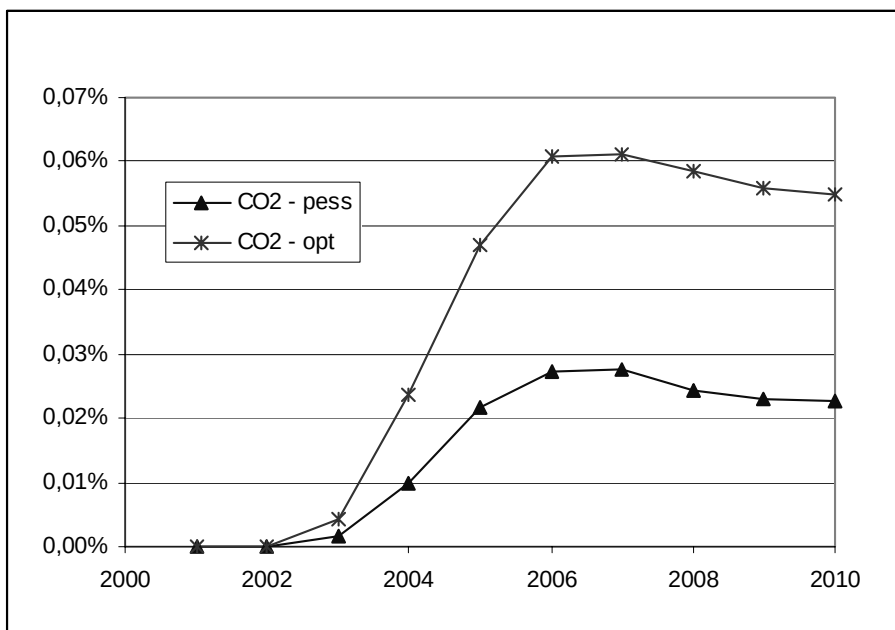
5.3.2 Bij vervroegde introductie in 2003

Technologiefacilitering kan uiteraard pas in 2003 beginnen de schonere brandstoffen pas in dat jaar beschikbaar komen. Doordat de technologie dan wel al wat verder is ontwikkeld, en bijvoorbeeld is uitgetest op de markt in landen waar al eerder zwavelarme brandstof op de markt is gekomen, kunnen we wel een wat snellere introductie hiervan verwachten. Het aantal gefaciliteerde voertuigen zal echter toch duidelijk minder zijn dan in de 2001-scenario's. De emissiereducties bij de pessimistische en optimistische scenario's zijn gegeven in Figuur 22 (diesel) en Figuur 23 (benzine).

Figuur 22 Indirecte emissiereductie door technologiefacilitering als gevolg van introductie van schonere diesel in 2003, als percentage van de emissie van het gehele wegverkeer



Figuur 23 Indirecte emissiereductie door technologiefacilitering als gevolg van introductie van schonere benzine in 2003, als percentage van de emissie van het gehele wegverkeer



5.4 Extra emissies bij raffinage

Het ontzwavelen en ontaromatiseren van brandstoffen kost energie, en zorgt daardoor voor extra CO₂-uitstoot. In het rapport van [CONCAWE 1999], waarin de gevolgen van de strengere brandstofnormen voor de olie-industrie



zijn beschreven en berekend, is ook met dit aspect rekening gehouden. Hierbij zijn, volgens het rapport, de extra emissies bij raffinage en bij de externe leveranciers van componenten meegenomen. Het CONCAWE rapport gaat echter uit van de situatie na 2005, als de hele Europese Unie overgegaan is op zwavelarme brandstoffen. Dit zal de komende jaren nog niet gebeuren, we gaan er daarom vanuit dat een voordeliger gebruik van componenten mogelijk is (zie Bijlage B). De inschatting van VNPI is dat hierdoor bij benzineraffinage zo'n 30% CO₂-uitstoot bespaard kan worden, bij diesel zo'n 10%. Als lagere schatting hebben we gekozen voor 50% van uitstoot die door CONCAWE is berekend. De schattingen die we in deze studie gebruiken voor de CO₂-emissies bij raffinage zijn gegeven in Tabel 10.

Tabel 10 Extra CO₂-emissies bij de raffinaderijen, zoals gebruikt in deze studie. Resultaten zijn gegeven in ton CO₂/ton brandstof

		lage schatting	hoge schatting
Benzine	Zwavel: 150 ppm → 50 ppm Aromaten: 42% → 35%	0,010	0,014
Diesel	Zwavel: 350 ppm → 50 ppm	0,013	0,017

Ook zullen enkele andere emissies, zoals NO_x en SO₂, van de raffinaderijen stijgen. Eerdere ervaringen van CE wijzen er echter op dat het belang van deze emissies in vergelijking met dat van de extra CO₂ relatief beperkt is. Daarom nemen we ze in deze studie niet mee.

5.5 Overzicht

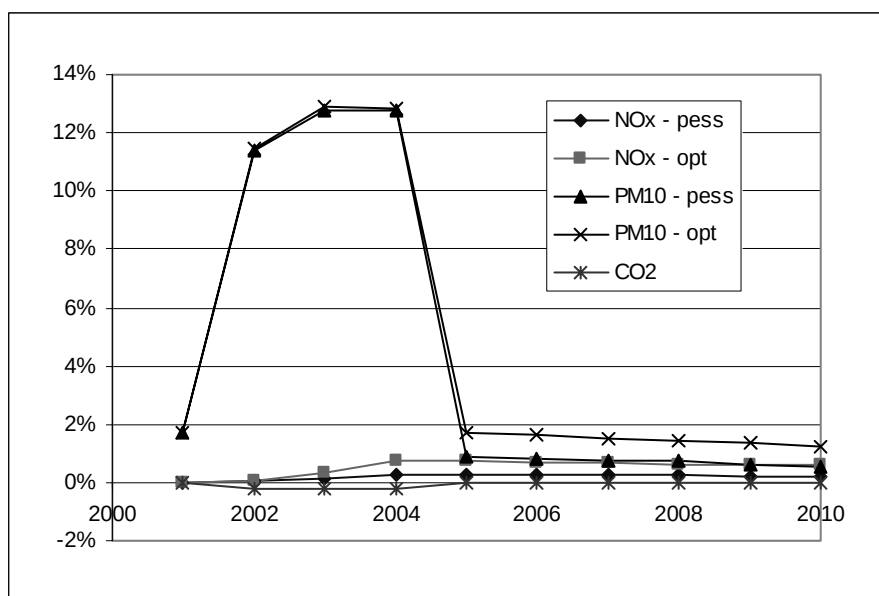
Met de voorafgaande resultaten is het nu mogelijk om het totale milieueffect van de vroegere introductie van schonere brandstoffen te berekenen. We zijn daarbij gekomen tot een pessimistische inschatting door de resultaten van het directe effect op te tellen bij de pessimistische schatting van het indirecte effect, verminderd met de hoge inschatting van de extra CO₂-uitstoot bij raffinage. De optimistische inschatting daarentegen maakt gebruik van de optimistische faciliteringsscenario's en de lage inschatting van de CO₂-uitstoot bij raffinage.

5.5.1 Bij vervroegde introductie in 2001

Zwavelarme *diesel* zal vooral de deeltjesemissie reduceren en wel met name in de periode 2002-2004, zoals blijkt uit Figuur 24 waarin de totale emissiereducties zijn gegeven. In deze periode treden de directe milieueffecten op. De indirecte milieueffecten die ontstaan doordat in die jaren schonere voertuig- of nabehandelingstechnologieën kunnen worden toegepast die de zwavelarme diesel nodig hebben, blijven ook in de jaren daarna meetellen - gedurende de gehele levensduur van deze voertuigen. Het gaat hierbij om een reductie van de deeltjes en NO_x-emissies.

In de periode 2002-2004 zal de CO₂-uitstoot iets toenemen omdat de raffinage van de zwavelarme diesel energie-intensiever is dan van de huidige kwaliteit diesel.

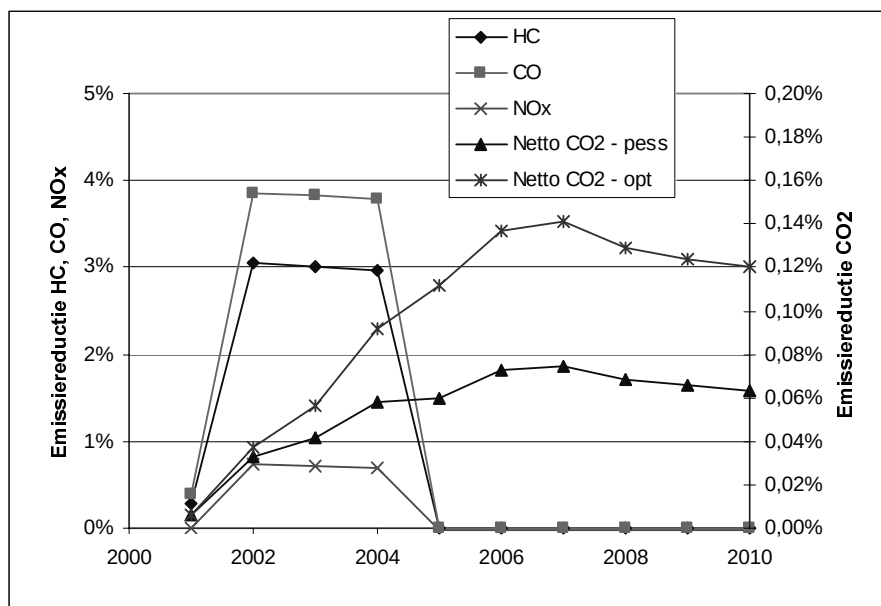
Figuur 24 Totale emissiereducties bij invoering van schonere diesel in 2001



De SO₂-reductie bedraagt ruim 45% in de jaren 2002-2004, maar is niet opgenomen in de figuur omdat zij milieutechnisch relatief weinig relevant is.

In Figuur 25 is het totaaloverzicht gegeven van de potentiële emissiereductie bij invoering van de schonere *benzine* in 2001. De schonere benzine zal vooral de HC- en CO-emissie reduceren, in de periode 2002-2004. De NO_x wordt in beperkte mate gereduceerd. Na 2005 blijft er nog een, zeer beperkte, CO₂-reductie zichtbaar omdat de 'gefaciliteerde' DI lean burn-auto's nog rondrijden. Uit deze figuur blijkt dat de extra CO₂-emissie die bij de raffinage optreedt, voldoende wordt gecompenseerd door de reductie van de CO₂-uitstoot in het wagenpark.

Figuur 25 Totale emissiereducties bij invoering van schonere benzine in 2001. Let op: gebruik de rechter as voor de CO₂-emissies



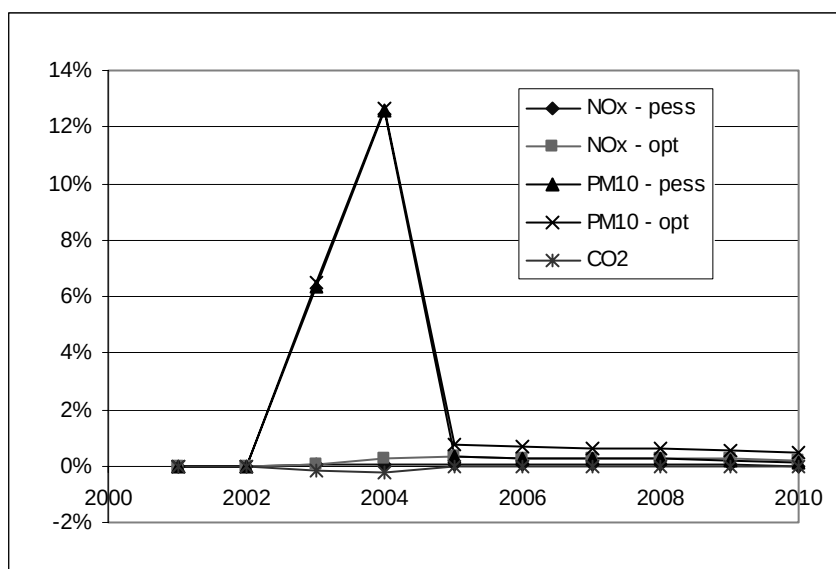
De zwavelreductie bedraagt zo'n 30% in de jaren 2002-2004, maar is niet opgenomen in de figuur omdat zij milieutechnisch relatief weinig relevant is.

5.5.2 Bij vervroegde introductie in 2003

Een vergelijkbaar beeld ontstaat als we de totale emissiereducties bekijken die bereikt kunnen worden als de schonere brandstoffen in juni 2003 worden ingevoerd.

We zien in Figuur 26 dat de zwavelarme diesel ook in dit geval vooral de deeltjesemissie reduceert, al blijft het effect beperkt tot de periode 2003-2004. De NO_x-reductie blijft zeer beperkt. Na 2005 blijft er nog een milieueffect zichtbaar omdat de 'gefaciliteerde' voortijdige Euro 4-voertuigen nog rondrijden, het effect is echter kleiner dan bij eerdere introductie van de schonere diesel omdat er een kleiner aantal voertuigen wordt gefaciliteerd. De raffinage van de zwavelarme brandstoffen zal een kleine toename van de CO₂-uitstoot in de jaren 2003 en 2004 veroorzaken.

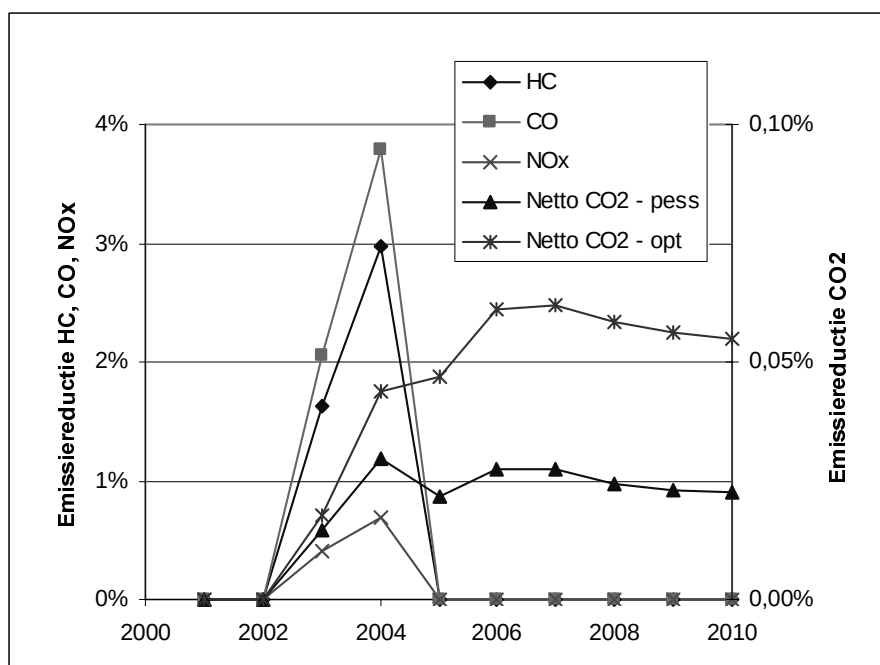
Figuur 26 Totale emissiereducties bij invoering van schonere diesel in 2003



De SO₂-reductie bedraagt ruim 45% in 2004, maar is niet opgenomen in de figuur omdat zij milieutechnisch relatief weinig relevant is.

Uit Figuur 27 blijkt, dat de schonere benzine weer vooral de HC- en CO-emissie reduceert, in de periode 2003-2004. De NO_x wordt in beperkte mate gereduceerd. Na 2005 blijft er nog een zeer beperkte CO₂-reductie zichtbaar omdat de 'gefaciliteerde' DI lean burn-auto's nog rondrijden.

Figuur 27 Totale emissiereducties bij invoering van schonere benzine in 2003. Let op: gebruik de rechter as voor de CO₂-emissies



De SO₂-reductie bedraagt zo'n 30% in 2004, maar is niet opgenomen in de figuur omdat zij milieutechnisch relatief weinig relevant is.



6 Kosteneffectiviteit

6.1 Inleiding

De kosteneffectiviteit van een milieumaatregel is gedefinieerd als de verhouding tussen het milieueffect van een maatregel en de kosten ervan. Hoe hoger deze verhouding, dus hoe hoger de kosteneffectiviteit, hoe meer milieuwinst per gulden wordt verkregen en hoe gemakkelijker een economische groei en groei van milieudruk ontkoppeld kunnen worden.

Bij de bepaling van de kosteneffectiviteit is het noodzakelijk om de verschillende emissies onder één noemer te brengen. We kunnen dan de vier beschouwde scenario's onderling *vergelijken* op kosteneffectiviteit, en ook zeggen of stimulering van benzine kosteneffectiever is dan van diesel of andersom.

Daarnaast is het handig om de emissies uit te drukken in de noemer geld. Zo kunnen verschillende maatregelen in verschillende sectoren voor verschillende milieuproblemen onderling worden vergeleken. Als de emissies financieel juist zijn gewaardeerd, kunnen maatregelen niet alleen op kosteneffectiviteit worden *vergeleken* maar ook worden *beoordeeld*: zijn de baten hoger dan de kosten of niet? Als de verhouding tussen baten en kosten groter dan 1 is, is de maatregel kosteneffectief, invoering van de maatregel levert dan meer baten (voor de maatschappij) op dan dat ze kost. Als de verhouding tussen baten en kosten kleiner is dan 1, is de maatregel niet kosteneffectief. Er kunnen dan nog wel andere redenen zijn om toch tot uitvoering over te gaan. De maatregel heeft bijvoorbeeld een groot draagvlak bij het publiek of in de politiek, het kan bijdragen aan bewustwording bij het publiek of alvast inspelen op de verwachting dat de schaduwprizen in de toekomst zullen toenemen. In sommige gevallen wordt voor een duurdere maatregel in één sector gekozen in plaats van een goedkopere (kosteneffectievere) maatregel in een andere sector waar al veel andere maatregelen worden ingevoerd. Zo kan de last gespreid worden over verschillende segmenten in de maatschappij.

In de volgende analyse worden de kosten en baten verrekend naar het jaar 2000, volgens de annuïteitenmethode. Hierbij is een (maatschappelijke) discontovoet van 4% gebruikt. Ter vergelijking wordt ook de kosteneffectiviteit gegeven bij een discontovoet van 15%, een waarde die in de industrie vaak wordt gebruikt.

6.2 Financiële waardering van emissies

Het waarderen van emissies in geld kan op verschillende manieren gebeuren.

Soms kan de financiële waardering van milieueffecten worden gebaseerd op een raming van de extra schade (welvaartsvermindering) die door een extra hoeveelheid emissies wordt veroorzaakt. Voor milieuproblemen die sterk zijn gerelateerd aan leefbaarheid of gezondheid kan deze methode vaak vrij goed worden toegepast.

Echter voor complexere en meer aan duurzaamheid gerelateerde milieuproblemen is het vaak onmogelijk een adequate raming van de extra schade-

kosten als gevolg van een extra hoeveelheid emissie te maken. Een goed voorbeeld is de CO₂-emissie in relatie tot klimaatverandering, maar ook voor verzuring schiet directe expliciete schadewaardering al snel tekort. Toch heeft de maatschappij voor deze milieuproblemen impliciet, veelal op basis van het voorzorgsprincipe, een schadewaardering voor deze emissies vastgesteld, omdat zij heeft besloten bepaalde reductiedoelstellingen te willen halen. Door analyse van de kosten van maatregelen die nodig zijn om de doelen te halen kan deze impliciete maatschappelijke voorkeur expliciet worden gemaakt. De waardering is in dit geval gebaseerd op zogenoemde preventiekosten.

Tabel 11 Overzicht financiële waarderingen in deze studie voor emissies naar lucht binnen en buiten de bebouwde kom, in € per kg (CO₂ in € per ton)

stof		waardering emissie bubk	waardering emissie bibk
CO ₂	lage variant	30	30
	hoge variant	100	100
PM ₁₀	lage variant	35	150
	hoge variant	70	300
NO _x		5	7
HC		5	7
SO ₂		3	3
CO		0,1	0,5

6.3 Vervroegde introductie van diesel

Zoals al eerder gezegd, kunnen we de beide brandstoffen apart en onafhankelijk van elkaar beschouwen. Allereerst zullen we de kosteneffectiviteit van diesel behandelen, benzine zal hierna aan bod komen.

6.3.1 Pessimistische en optimistische schatting

Bij de berekening van de kosteneffectiviteit zijn een groot aantal onzekerheden die het resultaat sterk beïnvloeden. Dit zijn voor diesel bijvoorbeeld:

- de financiële waardering van PM₁₀, en in mindere mate van CO₂;
- de geschatte kosten van raffinage en distributie;
- de mate van technologiefacilitering.

Het is ondoenlijk en weinig zinvol om de resultaten van alle mogelijke combinaties hier weer te geven. We hebben ons daarom beperkt tot het presenteren van 2 uitersten:

- 1 Een zeer pessimistische variant, waar alles tegen zit:
 - een referentiescenario waarin de zwavelarme diesel in Duitsland geen succes wordt (NL 2005 Dpess);
 - pessimistische inschatting van technologiefacilitering in de introductiescenario's (NL 2001 pess en NL 2003 pess);
 - een lage waardering van deeltjes (PM₁₀);
 - hoge kostenschatting voor raffinage en distributie schonere brandstoffen;
 - hoge inschatting van de kosten van deeltjesfilters.
- 2 Een zeer optimistische variant waarin alles juist mee zit, het omgekeerde van de eerste variant.



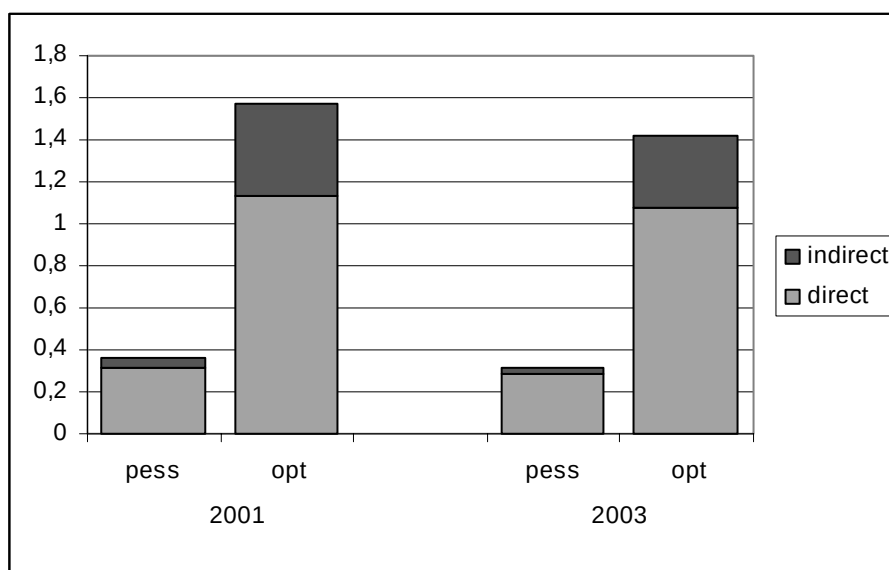
Met deze twee uitersten kunnen wij een bandbreedte aangeven waar de werkelijkheid naar onze inschatting tussen zal liggen. Het is, gezien de onzekerheden, niet mogelijk nauwkeurigere uitspraken te maken.

De resultaten hiervan zijn te zien in Figuur 28, waar de kosteneffectiviteiten van deze uitersten zijn aangegeven. Het betreft hier de resultaten voor vroegere invoering van schonere diesel, in het 2001 scenario en het 2003 scenario. De bandbreedte voor de kosteneffectiviteit blijkt niet erg af te hangen van het introductietijdstip, al lijkt een eerdere invoering kosteneffectiever te zijn dan een latere invoering. Bij introductie eind 2001, ligt de kosteneffectiviteit ongeveer tussen 0,4 en 1,6.

Een aanzienlijk deel van de kosteneffectiviteit wordt veroorzaakt door de emissiereductie van het bestaande wagenpark, het directe milieueffect. Vooral bij een pessimistische inschatting van de facilitering van nieuwe, schonere technologie, is het indirecte effect zeer beperkt. In het optimistische scenario is dit aandeel aanzienlijk groter.

Daarbij moet worden opgemerkt, dat ongeveer de helft van het indirecte effect in het optimistische scenario het gevolg is van de aanname dat roetfilters in het vrachtautosegment worden geïntroduceerd d.m.v. een fiscale stimulering van 9 miljoen Euro. Waarschijnlijk kan de instroom van deze technologieën, en daarmee het milieueffect, verder verhoogd worden door versterking van deze stimulering.

Figuur 28 Kosteneffectiviteit van vroegere introductie van schonere diesel, berekend voor 2001 en 2003, en voor het meest pessimistische en optimistische scenario

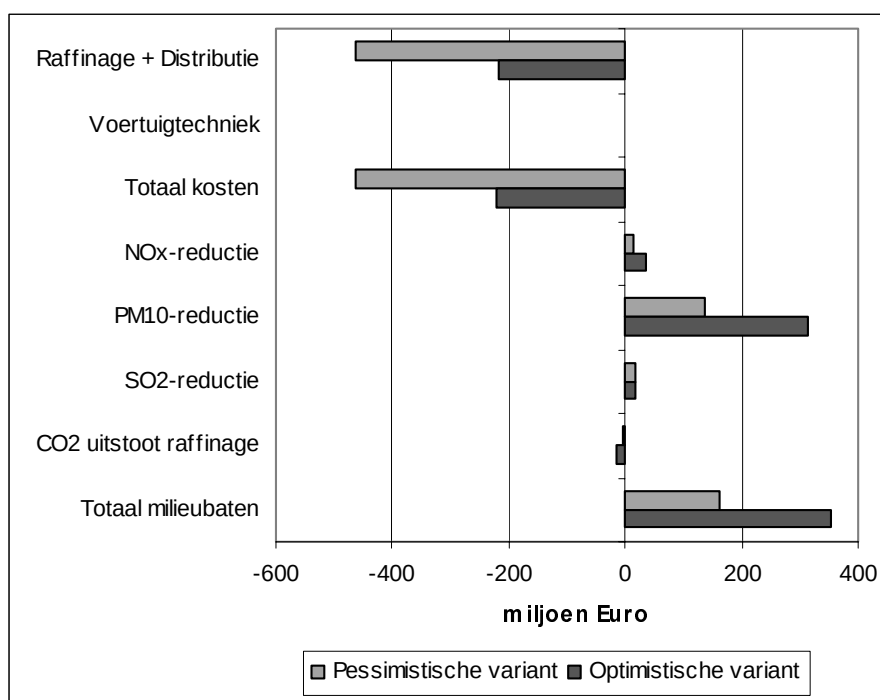


De keuze voor de discontovoet blijkt weinig invloed op de kosteneffectiviteit te hebben: bij een discontovoet van 15% (in plaats van 4%) nemen de bovenstaande kosteneffectiviteiten met maximaal 0,1 af. Dit verschil is zo beperkt omdat zowel de kosten als ook het grootste deel van de baten tegelijkertijd optreden, tussen 2002 en 2004.

6.3.2 Nadere detaillering

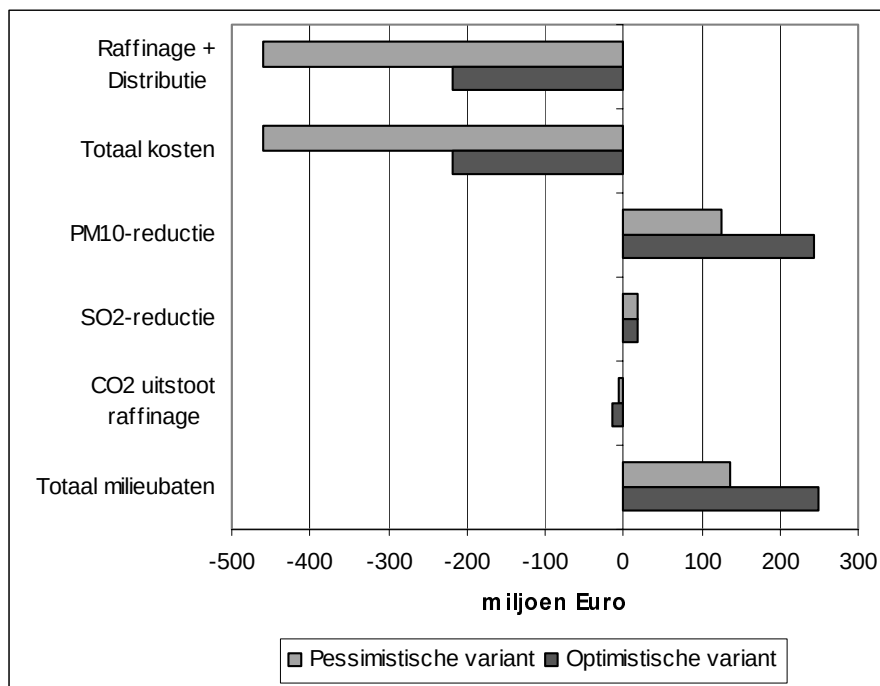
Deze kosteneffectiviteiten worden vooral bepaald door de kosten van raffinage en distributie aan de ene kant, en de baten van de reductie van de deeltjesemissie. Dit is duidelijk te zien in Figuur 29, waar de afzonderlijke kosten- en batenposten gepresenteerd zijn voor het geval dat schonere diesel in 2001 wordt geïntroduceerd. De resultaten zijn zowel voor de meest pessimistische variant als ook voor de meest optimistische variant gegeven. De kosten worden gedomineerd door de raffinage- en distributiekosten, de meerkosten van de voertuigtechniek zijn voor de berekening van de totale kosten(effectiviteit) verwaarloosbaar. De baten worden vooral bepaald door een sterke reductie van de deeltjesuitstoot, wat een grote besparing aan milieukosten tot gevolg heeft. Uit deze figuren blijken ook de oorzaken van de grote bandbreedte in de kosteneffectiviteit: de grote onzekerheid in raffinage- en distributiekosten, en in de financiële waardering van deeltjes.

Figuur 29 De meerkosten en milieubaten van introductie van schonere diesel in 2001, in miljoen Euro (NCW), voor het meest pessimistische en optimistische scenario



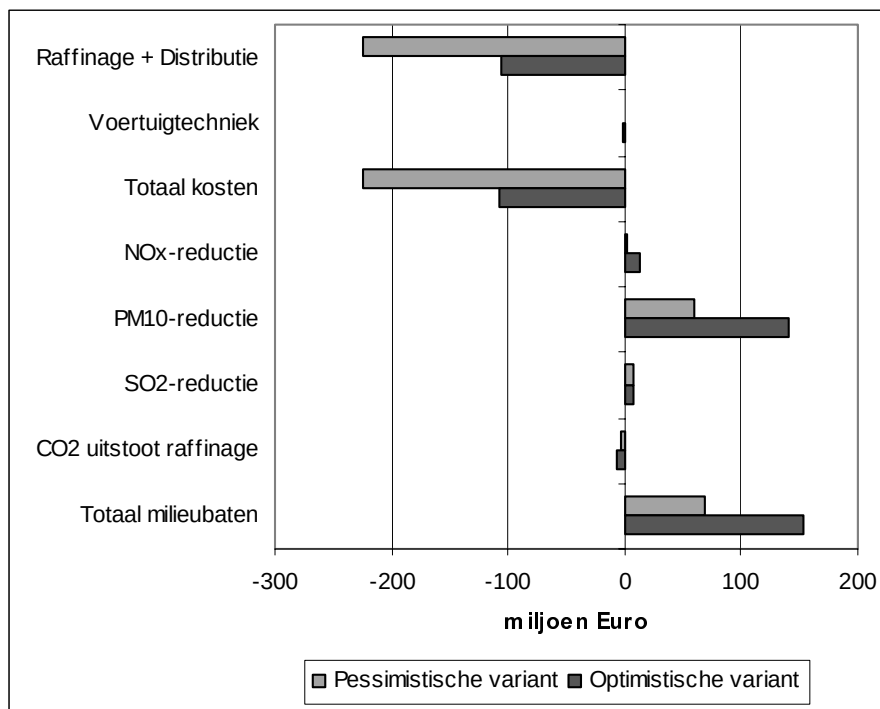
Het kosten- en batenoverzicht van alleen de *directe effecten*, zonder technologiefacilitering, is gegeven in Figuur 30. In dat geval blijven de raffinage- en distributiekosten, de CO₂-uitstoot bij de raffinage en de reductie van de SO₂-emissie ongewijzigd, maar vervallen de (zeer beperkte) kosten voor schonere technologie en verminderd de reductie van de PM₁₀-uitstoot. De technologiefacilitering bereikt daardoor een toename van de milieubaten van zo'n 25 – 100 miljoen Euro, terwijl de meerkosten tussen 0 en 2 miljoen Euro bedragen.

Figuur 30 De meerkosten en milieubaten van introductie van schonere benzine in 2001, in miljoen Euro (NCW), waarbij alleen het *directe effect* is meegenomen



Als de schonere diesel pas in 2003 op de markt komt, zijn zowel de kosten als ook de baten aanzienlijk minder, zoals blijkt uit Figuur 31. De verhouding tussen de diverse kosten- en batenposten is echter vrijwel hetzelfde als bij een introductie in 2001.

Figuur 31 De meerkosten en milieubaten van introductie van schonere diesel in 2003, in miljoen Euro (NCW), voor het meest pessimistische en optimistische scenario



6.4 Vervroegde introductie van benzine

6.4.1 Pessimistische en optimistische varianten

Ook bij de berekening van benzine zijn wij, vanwege het grote aantal onzekerheden, uitgegaan van een zeer pessimistische en een zeer optimistische variant. De pessimistische variant gebruikt de volgende aannamen:

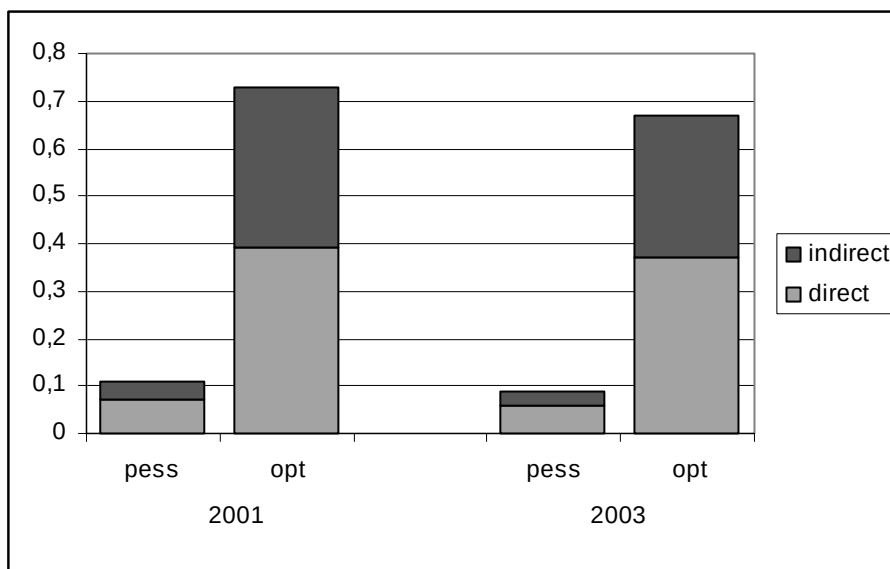
- een referentiescenario waarin de zwavelarme diesel in Duitsland geen succes wordt (NL 2005 Dpress);
- pessimistische inschatting van de technologiefacilitering in de introductiescenario's (NL 2001 pess en NL 2003 pess);
- een lage waardering van alle emissies;
- hoge kostenschatting voor raffinage en distributie;
- hoge inschatting van de kosten van DeNO_x-katalysatoren.

De zeer optimistische variant is weer het tegenovergestelde.

De resultaten hiervan zijn te zien in Figuur 32. De kosteneffectiviteit van vroegere introductie van benzine blijkt aanzienlijk lager te zijn dan van diesel, en ligt tussen 0,1 en 0,8. Ook hier is de kosteneffectiviteit niet erg afhankelijk van het introductietijdstip. Het aandeel van de technologiefacilitering in de totale kosteneffectiviteit is bij benzine groter dan bij diesel, het indirecte effect maakt tussen 30-50% van de kosteneffectiviteit uit.

De conclusie hier is duidelijk: met de door ons gebruikte aannames zijn de kosten van vroegere introductie van benzine hoger dan de baten.

Figuur 32 Kosteneffectiviteit van vroegere introductie van schonere benzine, berekend voor 2001 en 2003, en voor het meest pessimistische en optimistische scenario

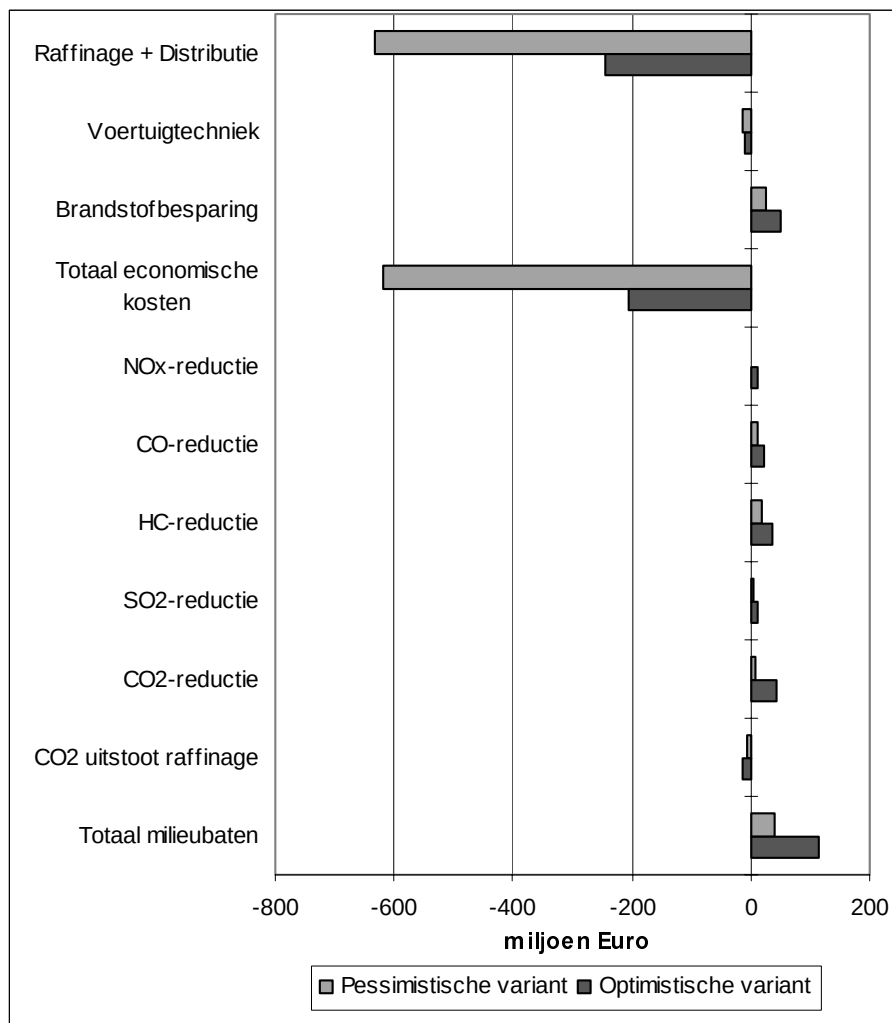


Als we een discontovoet van 15% toepassen in plaats van 4%, blijven de kosteneffectiviteiten van de pessimistische schattingen vrijwel ongewijzigd, in de optimistische schatting nemen ze af met ca. 0,15. Dit laatste wordt veroorzaakt doordat de gefaciliteerde voertuigen (DI lean burn-personenauto's) een vrij groot deel van de baten veroorzaken. De brandstofbesparing en de reductie van CO₂-uitstoot worden behaald over de totale levensduur van de auto's, gemiddeld zo'n 14 jaar. Bij een hogere discontovoet nemen de baten (uitgedrukt in NCW) daardoor af.

6.4.2 Nadere detaillering

Hoe deze kosteneffectiviteiten tot stand komen is te zien in de volgende figuren, waarin de precieze verdeling van kosten en baten over de verschillende posten is te zien. Figuur 33 geeft de resultaten bij introductie van de schonere benzine in 2001. Ook hier zijn de kosten van raffinage en distributie veruit dominant, in de pessimistische schatting zelfs aanzienlijk groter dan de mogelijke baten. De milieubaten hangen sterk af van de schaduwprijs die voor CO₂-uitstoot wordt gehanteerd, terwijl ook het directe milieueffect, met name de reductie van de HC- en CO-emissies, voor een aanzienlijk deel van de baten zorgt. Het netto-effect van de CO₂-uitstoot is waarschijnlijk positief, dwz. de besparing die behaald wordt door de introductie van zuinige lean burn-motoren is groter dan de extra CO₂-uitstoot bij raffinage. Het vrij grote verschil tussen de overige emissies in de meest optimistische en meest pessimistische variant is toe te schrijven aan de verschillende referentiescenario's die in beide gevallen worden gebruikt. In het meest optimistische scenario is als referentie 'NL2005 Dopt' gebruikt. We gaan dus uit van een verlaging van het zwavelgehalte van 130 ppm naar 40 ppm, en dit levert een groot direct effect op. In het pessimistische scenario gaat het zwavelgehalte van het huidige gemiddelde niveau, 70 ppm (NL2005 Dpess), naar gemiddeld 40 ppm, het directe effect is daardoor uiteraard veel minder.

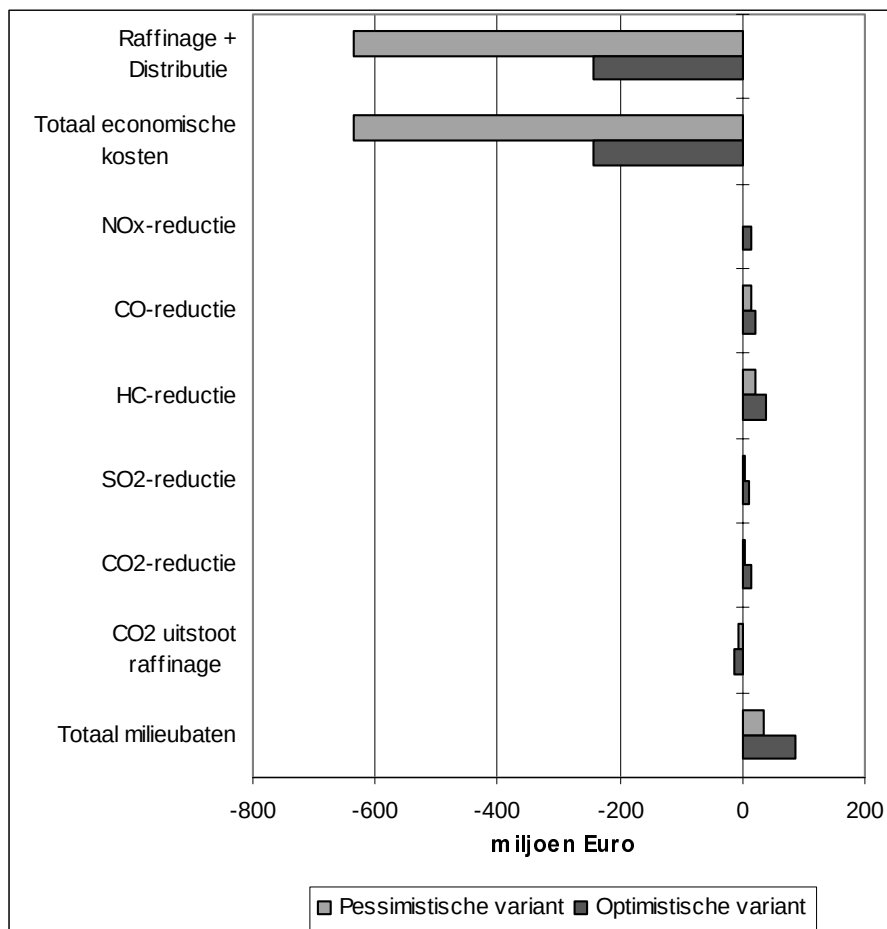
Figuur 33 De meerkosten en milieubaten van introductie van schonere benzine in 2003, in miljoen Euro (NCW), voor het meest pessimistische en optimistische scenario



In Figuur 34 zijn de kosten en baten van introductie van schonere benzine in 2001 gegeven, echter alleen voor het *directe effect*. In dat geval vervallen de kosten voor voertuigtechniek, de baten van brandstofbesparing en een deel van de CO₂-reductie ten gevolge van de zuinigere lean burn-auto's.

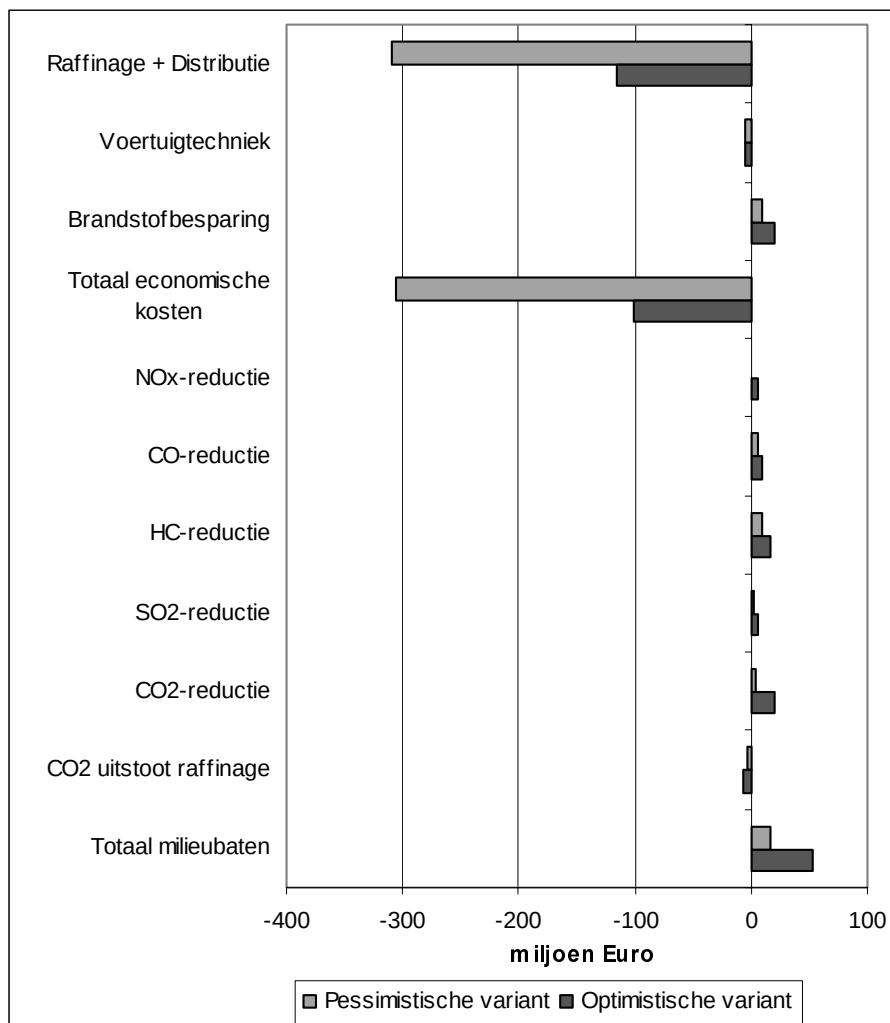


Figuur 34 De meerkosten en milieubaten van introductie van schonere benzine in 2001, in miljoen Euro (NCW), waarbij alleen het *directe effect* is meegenomen.



Bij introductie van schonere benzine in 2003 zijn de totale kosten en baten ongeveer met een zelfde factor verminderd, zie Figuur 35. Doordat de technologiefacilitering in dit geval niet meer zo effectief is, is het aandeel van de CO₂-emissiereductie iets afgenomen ten opzichte van de andere emissiereducties.

Figuur 35 De meerkosten en milieubaten van introductie van schonere benzine in 2003, in miljoen Euro (NCW), voor het meest pessimistische en optimistische scenario



6.5 Verdeling van kosten en baten over actoren

De in de voorgaande paragraaf beschreven kosteneffectiviteit is een maat voor de economische efficiency van de maatregel 'voortijdige introductie van schonere benzine en diesel in Nederland'. Naast inzicht in de economische efficiency is echter ook inzicht in de verdeling van kosten en baten van belang voor beleidsbepaling.

Bij de verdeling van kosten en baten kan onderscheid worden gemaakt naar type instrument en naar economische actor.

Als hoofdtypen van instrumenten kunnen onderscheiden worden een accijnskorting, een budgetneutrale accijnsdifferentiatie, en een wettelijke verplichting.

Als belangrijkste economische actoren kunnen onderscheiden worden de oliemaatschappij (brandstofproducent), de brandstofconsument, de overheid c.q. belastingbetaler en, last but not least, het buitenland.

Het buitenland is van belang omdat bij invoering van schonere brandstoffen in Nederland op de Europese markt een relatieve schaarste aan schone brandstof en een relatief overschot aan vuile brandstof zal ontstaan. Daar-

door zal het prijsverschil tussen schone en vuile brandstof waarschijnlijk groter zijn dan de zuivere meerkosten van productie van de schone brandstof. Via een lagere prijs voor de 'vuile' brandstof ontvangt het buitenland daarmee economische baten. Zie voor dit mechanisme bijlage B.

De prijsprikkel die noodzakelijk is om de schonere brandstof in Nederland in te voeren zal daarom altijd en stuk hoger moeten zijn dan de netto-meerkosten van invoering in Nederland.

Tabel 12 Indicatie van verdeling van de economische kosten bij verschillende instrumenten voor introductie van schonere brandstoffen (miljoenen euro)

instrument	overheid / belastingbetaler ^a	brandstof- consumenten ^b	buitenland ^c
diesel			ca -40 tot ca -80
accijnskorting voor 'schone' brandstof	ca 250 tot ca 500	ca -40 tot ca -80	ca -40 tot ca -80
budgetneutrale accijnsdifferentiatie 'schoon' en 'vuil' of wettelijke verplichting	0	ca 210 tot ca 420	ca -40 tot ca -80
benzine			
accijnskorting voor 'schone' brandstof	ca 400 tot ca 1.000	ca -130 tot ca -300	ca -60 tot ca -160
budgetneutrale accijnsdifferentiatie 'schoon' en 'vuil' of wettelijke verplichting	ca 50 tot ca 75	ca 200 tot ca 900	ca -60 tot ca -160

De bedragen zijn netto contante waarden in 2000, gecalculeerd op basis van de volgende veronderstellingen:

- introductie van de schonere brandstoffen in november 2001. Verondersteld is verder dat een eventuele accijnskorting per 1-1-2005 vervalt;
- overheidsuitgaven worden op de langere termijn door belastingen opgebracht;
- het Nederlandse beleid maakt buitenlandse zwavelrijkere brandstof licht goedkoper;
- mede daarom ervan uitgaande dat een accijnsprikkel in Nederland door dit mechanisme 50% hoger moet zijn dan de Nederlandse meerkosten; 25% is de 'overbrugging': de schonere brandstof moet voor de consument echt goedkoper zijn, 25% is de hobbels in verband met de goedkopere brandstof in het buitenland;
- bij benzine is inbegrepen het effect dat de consument brandstofkosten bespaart en de overheid daardoor accijnsinkomsten misloopt. De voertuigen worden niet gesubsidieerd.

6.6 Benzine: alleen laag zwavelgehalte?

Bij een andere beschouwing van de rekenresultaten is aan de hand van de EPEFE-resultaten en de technologiefacilitering in te zien dat de reductie van zwavel in benzine kosteneffectiever zal zijn dan de gelijktijdige reductie van zwavel en aromaten. Hier zijn de volgende redenen voor aan te dragen:

- Duitsland gaat alleen stimuleren op een laag zwavelgehalte; wanneer Nederland zou afwijken van deze koers betekent dit in de Nederlands/Duitse benzinemarkt een extra grade moet gaan voeren, met aanzienlijke distributiekosten tot gevolg;
- verlaging van het gehalte aromaten leidt tot aanzienlijke raffinagekosten;
- verlaging van het aromatengehalte is aanzienlijk veel minder milieueffectief dan vermindering van het zwavelgehalte.

Kortom, alleen stimuleren op zwavel omdat Duitsland dat ook doet scheelt 30-50% (zie Tabel 4) van de kosten en maar heel weinig in de milieueffecten. Bij een optimistische inschatting zou de kosteneffectiviteit dan boven de 1 kunnen uitkomen.



7 Conclusies

7.1 Milieueffectiviteit

Voortijdige (november 2001, gelijk met Duitsland) introductie van 'schonere' benzine heeft de volgende milieueffecten (gerelateerd aan de totale emissies van de in Nederland rijdende voertuigen op benzine en diesel):

- een reductie van HC- en CO-emissies van 2-3% in de periode 2002-2004;
- een reductie van NO_x-emissie in deze periode met ca 0,5%;
- een reductie van CO₂-emissie van het Nederlandse wegverkeer gedurende een langere tijd (ca 2004-2015) in de orde van 0,1%. Dit is het saldo van de gevolgen van introductie van zuiniger voertuigen die mogelijk wordt door het lage zwavelgehalte van de benzine enerzijds en de extra CO₂-emissie in de raffinage anderzijds.

Financieel gewaardeerd en netto contant gemaakt naar 2000 bedragen de totale milieubaten ongeveer 40 tot 110 miljoen euro. De baten bestaan vooral uit de lagere HC-emissies en de lagere CO₂-emissies.

Overigens zullen de milieubaten slechts weinig lager uitvallen als de voortijdig geïntroduceerde benzine alleen maar een verlaagd zwavelgehalte heeft, en dus een 'normaal' aromatengehalte.

Voortijdige (november 2001, gelijk met Duitsland) introductie van 'schonere' diesel heeft de volgende milieueffecten (gerelateerd aan de totale emissies van de in Nederland rijdende voertuigen op benzine en diesel):

- een reductie van PM₁₀-emissie van ca 10-12% in de periode 2002-2004, gevolgd door een reductie van 1-2% in de periode 2005-2015;
- een reductie van NO_x-emissie in de orde van 0,5% in de periode 2002-2015;
- een toename van CO₂-emissie van enkele tienden procenten in de periode 2002-2004 als gevolg van het extra energiegebruik in de raffinagefase.

Financieel gewaardeerd en netto contant gemaakt naar 2000 bedragen de totale milieubaten ongeveer 160 tot 350 miljoen euro. De baten bestaan voor het overgrote deel uit lagere PM₁₀-emissies.

De onzekerheidsmarge in de cijfers is aanzienlijk; dit wordt veroorzaakt door:

- onzekerheid over het succes van de plannen in Duitsland, die een aanzienlijke invloed hebben op de in Nederland verkrijgbare brandstofkwaliteit;
- onzekerheden in de validiteit van de relaties tussen brandstofsamenstelling en emissies, aangezien de best beschikbare gegevens relatief oud zijn;
- onzekerheden over de mate waarin de lagere zwavelgehalten in de in Nederland verkrijgbare benzine en diesel daadwerkelijk vroegere toepassing van schonere en zuinigere voertuigtechnologie in Nederland zullen uitlokken;
- daarnaast is er bij de financiële waardering onzekerheid over de hoogte van de schaduw prijzen voor emissies, met name die van PM₁₀.

De milieueffecten nemen ongeveer lineair af naarmate het invoeringstijdstip verder richting 2005 wordt uitgesteld.

De milieueffecten van de schonere benzine en de schonere diesel zijn onderling onafhankelijk

7.2 Kosten

Voortijdige introductie van schonere *benzine* (lager zwavelgehalte *plus* *lager aromatengehalte*) kost ca 1,3 – 3,5 eurocent per liter. Om daadwerkelijk invoering van deze brandstoffen te forceren zullen echter wellicht een iets grotere accijnsverschillen nodig zijn.

De kosten om *alleen laagzwavelige* benzine in Nederland te introduceren zullen een stuk lager zijn, vooral als de Duitse plannen voor voortijdige (november 2001) introductie van een dergelijke benzine succesvol zijn (ca 0,6 tot 2,3 eurocent per liter).

Daarnaast kan voortijdige introductie van laagzwavelige benzine economische baten opleveren. Deze benzine maakt immers toepassing van zuiniger voertuigtechnologie mogelijk. Overigens zal de consument de meerkosten van deze zuiniger voertuigen terugverdienen middels de brandstofbesparingen.

Netto contant gemaakt naar 2000 liggen de macro-economische meerkosten van introductie van schonere benzine in de orde van 200-600 miljoen euro. Dit bedrag kan worden gereduceerd naar de orde van 100-350 miljoen euro als besloten wordt om samen met Duitsland alleen een zwaveleis aan de benzine te stellen.

Voortijdige introductie van schonere *diesel* (lager zwavelgehalte) kost ca 1,6 – 3,5 eurocent per liter. Er zijn geen economische baten verbonden aan deze maatregel omdat wel schonere maar geen zuinigere voertuigen uitlokt, in tegenstelling tot benzine.

Netto contant gemaakt naar 2000 liggen de macro-economische meerkosten van introductie van schonere diesel in de orde van 160-250 miljoen euro.

De spreiding van kosten geeft de onzekerheidsmarges aan, die voornamelijk worden veroorzaakt door onzekerheden in de extra raffinagekosten.

De kosten van de schonere benzine en de schonere diesel zijn onderling vrijwel onafhankelijk.

7.3 Kosteneffectiviteit

Als gevolg van de onzekerheden in de schatting van zowel milieueffecten als kosten kan de schatting van de kosteneffectiviteit niet anders geschieden dan in zeer grote bandbreedten.

De kosteneffectiviteit van vroegtijdige introductie van 'schonere' benzine ligt in de bandbreedte van 0,1 tot 0,8. De onzekerheid zit hem vooral in de raffinagekosten en in de mate waarin zuiniger voertuigtechnologie (benzine-auto's met DI lean burn-motoren) wordt uitgelokt met de benzine.

In vergelijking met andere mogelijke maatregelen om de reductiedoelen voor (met name) HC- en CO₂-emissies te halen is deze maatregel daarmee dus vrij duur.

Wel stellen we hier dat een voortijdige introductie van benzine met *alleen een lager zwavelgehalte* deze kosteneffectiviteit maximaal kan verdubbelen.

De kosteneffectiviteit van vroegtijdige introductie van 'schonere' diesel ligt in de bandbreedte van 0,4 tot 1,6. De onzekerheid zit vooral in de raffinagekosten en de financiële waardering van PM₁₀-emissie. Deze is in het bijzon-



der onzeker doordat niet alle soorten PM₁₀ worden gereduceerd. In vergelijking met andere mogelijke maatregelen om de reductiedoelen voor (met name) HC- en CO₂-emissies te halen is deze maatregel daarmee dus vrij duur.

De kosteneffectiviteit is niet sterk afhankelijk van het introductietijdstip; vroegere en latere introductie scoren vrijwel gelijk.



Termen en afkortingen

%m/m	Massaprocenten.
%v/v	Volumepercenten.
AOP	In deze samenvatting de afkorting voor Auto Oil Programme ofwel het Europese Auto/Olieprogramma.
aromaten	Verzamelnaam voor een groep koolwaterstoffen met een ringstructuur. Een relatief groot gedeelte van de aromaten is schadelijk voor de gezondheid (benzeen, toluen, xyleen, PAK).
B	Benzine.
BA	Bestelauto, voertuig bestemd voor het vervoer van goederen met een maximum toelaatbaar totaalgewicht van 3,5 ton
benzeen	Eén van de aromatische koolwaterstoffen. Schadelijk voor de gezondheid.
BPM	Belasting op Personenauto's en Motorrijwielen, belasting op de aankoop
CO	Koolmonoxide, giftig uitlaatgas. Ontstaat door onvolledige verbranding van fossiele brandstoffen. Was jarenlang een van de voornaamste luchtkwaliteitsproblemen, maar neemt in belang snel af door effectieve regelgeving.
CO ₂	Kooldioxide, voornaamste broeikasgas. Ontstaat onvermijdelijk bij (volledige) verbranding van fossiele brandstoffen.
CRT	Continuously Regenerating Trap, type deeltjesfilter dat zichzelf continu regenereert (schoonmaakt)
D	Diesel
deeltjes	vaste uitlaatgasdeeltjes, in het algemeen met een diameter < 10 micrometer
DeNO _x	Algemene naam voor katalysatorsystemen om NO _x -emissie te verminderen. Verschillende varianten mogelijk.
DI	Directe Injectie, inspuitsmethode die al lang wordt gebruikt bij vrachtautomotoren en tegenwoordig bijna standaard is bij nieuwe dieselpersonenauto's en naar verwachting de komende jaren zijn intree zal doen bij benzinepersonenauto's. Maakt bij diesels de voorkamer en bij benzine de smoorklep overbodig, met rendementswinst als gevolg
direct effect	met het directe milieueffect bedoelden we dat introductie van een schonere brandstof onmiddellijk de emissies van het bestaande voertuigpark vermindert doordat de motoren 'schoner branden', in tegenstelling tot het indirect effect
E100/150	Geeft in deze samenvatting aan welk gedeelte van de brandstof verdampt is bij een temperatuur van 100 resp. 150 graden Celsius.
EC	Europese Commissie, Europees ambtenarenapparaat.
ECE	(United Nations) Economic Commission for Europe.
EGR	Exhaust Gas Recirculation, uitlaatgasrecirculatie, methode om NO _x -emissie van verbrandingsmotoren te verlagen. Wordt op vrijwel alle nieuwe benzine- en dieselmotoren voor personen- en bestelauto's toegepast.

EP	Europees Parlement
EPEFE	European Programme on Emissions, Fuels and Engine Technologies, het experimentele gedeelte van het AOP. Binnen het EPEFE is zeer uitgebreid de relatie tussen de brandstofsamenstelling en de emissies van voertuigen die voorzien zijn van 'Euro 2' technologieën onderzocht.
ETBE	EthylTertiairButylEther, octaangetalverhogend oxyge-naat. (zuurstofhoudende component) van benzine, ver-hoogt acetaldehyde-emissies.
EU	Europese Unie (België, Denemarken, Duitsland, Finland, Frankrijk, Griekenland, Ierland, Italië, Luxemburg, Ne-derland, Oostenrijk, Portugal, Spanje, Verenigd Konink-rijk, Zweden).
Euro	Europese munteenheid
Euro I-V	Staat voor Europese emissie-eisen aan nieuwe perso-nen- en bestelauto's en bus- en vrachtautomotoren. Fase I, II, III IV en V werden resp. worden rond 1993, 1996, 2000, 2005 en 2009 van kracht.
faciliteren	hiermee bedoelen we dat een schonere (m.n. zwavelar-mere) benzine of diesel toepassing van bepaalde voer-tuigtechnologieën uitlokt. Het gaat dus om een indirect milieueffect van de schonere brandstof. Zie ook 'indirect effect' en 'direct effect'
HC	Hydro Carbons, koolwaterstoffen. Komen vrij door on-volledige verbranding en door verdamping van fossiele brandstoffen. Veroorzaakt (samen met NO _x) fotochemi-sche oxydantvorming (ozon). Tevens zijn diverse HC's schadelijk voor de gezondheid (benzeen/tolueen/xyleen, PAK).
HD	Heavy Duty, het 'zware' segment van het wegverkeer dus bussen en vrachtverkeer
IDI	InDirecte Injectie (bij dieselmotoren), ontbranding is in feite tweetraps, nl. eerst in een voorkamer of wervelka-mer. Hierdoor lagere maximumtemperatuur, daardoor la-ger rendement en lagere NO _x -emissies. Zie ook DI.
indirect effect	hiermee bedoelen we dat introductie van een schonere brandstof op termijn de emissies van het voertuigpark kan reduceren doordat toepassing van geavanceerde voertuigtechnologieën wordt gefaciliteerd', zie ook 'direct effect' en 'faciliteren'
kWh	kiloWattuur = 3,6 MJ.
laagzwavelig	brandstof met een maximaal zwavelgehalte van 50 ppm
LD	Light Duty, het 'lichte' segment van het wegverkeer dus personen- en bestelauto's
lean burn	arme verbranding. Verbranding met een overmaat aan lucht in tegenstelling tot de conventionele benzinemoto-ren die met een stoichiometrische verbranding;
LPG	Liquefied Petroleum Gas ('autogas').
mg	milligram
MON	Motor Octane Number
MRB	MotorRijtuigenBelasting, belasting op bezit
MTBE	MethylTertiairButylEther, octaangetalverhogend oxyge-naat (zuurstofhoudende component) van benzine, ver-oorzaakt formaldehyde-emissies.
NCW	Netto Contante Waarde. In deze studie zijn alle kosten en baten teruggerekend naar NCW van 2000, met een discontovoet van 4%



NL 2001 pess.	eerste introductiescenario, Nederland introduceert in november 2001, gelijktijdig met Duitsland, benzine en diesel die voldoet aan de '2005' specificaties. De introductie in Nederland leidt slechts tot een zeer beperkte instroom van schonere en zuinigere voertuigtechnologie
NL 2001 opt.	tweede introductiescenario, Nederland introduceert in november 2001, gelijktijdig met Duitsland, benzine en diesel die voldoet aan de '2005' specificaties. De introductie in Nederland leidt tot een forse instroom van schonere en zuinigere voertuigtechnologie.
NL 2003 pess.	derde introductiescenario, Nederland introduceert in juni 2003 benzine en diesel die voldoet aan de '2005' specificaties. De introductie in Nederland leidt slechts tot een zeer beperkte instroom van schonere en zuinigere voertuigtechnologie.
NL 2003 opt.	vierde introductiescenario, Nederland introduceert in juni 2003 benzine en diesel die voldoet aan de '2005' specificaties. De introductie in Nederland leidt tot een forse instroom van schonere en zuinigere voertuigtechnologie.
NL 2005 Dopt.	eerste referentiescenario, Duitsland succesvol laagzwavelige benzine en diesel vanaf november 2001. Nederland voert geen specifiek beleid voor vroegere introductie van '2005' brandstoffen.
NL 2005 Dpress	tweede referentiescenario, Duitsland introduceert geen laagzwavelige brandstoffen, doordat ofwel de stimulering wordt afgeblazen, of doordat de fiscale stimulans onvoldoende blijkt te zijn. Nederland voert geen specifiek beleid voor vroegere introductie van '2005' brandstoffen.
NO _x	Stikstofoxiden, verzamelnaam voor NO, NO ₂ en NO ₃ . Zure regen, zomersmog en broeikaseffect en ademhalingsproblemen veroorzakende uitlaatgassen.
opt	pessimistische kosteneffectiviteitsberekening waarin voor alle kosten de laagste variant is aangenomen en voor alle positieve milieueffecten de positieve variant
ottomotor	motor met vonkontsteking (bijv. benzine, LPG- of aardgasmotor), in tegenstelling tot dieselmotor die met compressieontsteking werkt
PA	Personenauto.
PAK	Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen, kankerverwekkend veronderstelde koolwaterstoffen.
pess	pessimistische kosteneffectiviteitsberekening waarin voor alle kosten de hoogste variant is aangenomen en voor alle positieve milieueffecten de negatieve variant.
PM ₁₀	deeltjes met een diameter < 10 µm.
RON	Research Octane Number, octaangetal
schaduwprijs	een geconstrueerde prijs voor een goed waarvoor geen markt is. In dit rapport gebruikte term voor de 'prijs' van luchtverontreinigende emissies, bij gebrek aan een markt voor schone lucht. Gebaseerd op schade- dan wel preventiekostenramingen
SCR	Selective Catalytic Reduction, katalysatorsysteem om NO _x -emissie van dieselmotoren te verminderen. Werkt ofwel met een extern toegevoegd reagens zoals ureum (NH ₃ -SCR ofwel met verdampte brandstof, HC-SCR.

stoichiometrisch	verbranding waarbij precies voldoende lucht aanwezig is om de aanwezige brandstof te verbranden.
T90/95	Temperatuur waarbij 90 resp. 95%v/v van de brandstof verdampt is, manier van uitdrukken vluchtigheid brandstof naast bijv. E100 of RVP.
zwavelarm	brandstof met een maximaal zwavelgehalte van 50 ppm



Referenties

Arthur D Little, 'Sulphur in transport fuels', Stockholm, Februari 1997

Brunekreef, B., van Vliet, P., Aarts, F., Janssen, N., Meliefste, K., de Wind, S., 'Luchtwegaandoeningen bij kinderen wonend nabij snelwegen (LUCHTWEG-II)', 1999

CBS, 2000a, 'Kwartaalbericht Milieustatistiek, 2000-I'

CBS, 2000b, 'Milieucompendium 1999 – Het milieu in cijfers'

CONCAWE, 'EU oil refining industry costs of changing gasoline and diesel fuel characteristics', 1999a

CONCAWE, Motor vehicle emission regulations and fuel specifications part 1, summary and annual update, report no. 4/99, Brussel, december 1999b

CONCAWE, *Potential of exhaust after treatment and engine technologies to meet future emissions limits*, report no. 99/62, Brussel, 1999c

DECSE, *Diesel Emission Control – Sulfur Effects Program*; Phase I Interim Data Report No. 4: Diesel Particulate Filters – Final Report; January 2000; Sponsored by: The U.S. Department of Energy, Engine Manufacturers Association, Manufacturers of Emission Controls Association

Dings, J., P. Janse, B. Leurs, en M. Davidson, CE, Delft 1999, 'Efficiënte prijzen voor het verkeer'

Dings, J.M.W., CE, Delft 1998, 'Een aparte 'paarse' diesel: goed voor milieu?'

Europese Unie, Richtlijn 98/70/EG van het Europees Parlement en de Raad betreffende de kwaliteit van benzine en van dieselbrandstof en tot wijziging van Richtlijn 93/12/EEG van de Raad, Luxemburg, 13 oktober 1998

FEV, *Influence of the sulphur content in fuel on the fuel consumption and pollutant emissions of vehicles with gasoline and diesel engines*, 2-11-1999, Report commissioned by: Association of the Automotive Industry (VDA) and IG Metall

Fortschritt-Berichte VDI 21. Internationales Wiener Motorensymposium 4 en 5 mei 2000, deel 1:

- 1 Willand, J., et al., DaimlerChrysler Aktiengesellschaft, Konnen innermotorsichen Massnahmen die aufwendige Abgasnachbehandlung ersetzen?, pp. 33-58
- 2 Nakanishi, K., et al., Toyota Motor Corporation, Application of a New Combustion Concept to Direct Injection Gasoline Engine, pp. 59-84
- 3 Eichsleider, H. et al., BMW AG, Herausforderungen auf dem Weg zur EU IV-Emissionserfüllung bei Otto-Direkteinspritzmotoren, pp. 105-134
- 4 Krebs, R., Stiebels, B., Spiegel, L., Pott, E., Volkswagen AG, FSI-Ottomotor mit Direkteinspritzung im Volkswagen Lupo, pp. 180-205

- 5 Menne, R.J., et al., Ford en Johnson Matthey, Meeting Future Emission Standards with the New Ford Direct Injection Gasoline Engine, pp. 206-230
- 6 Scholten, I., et al., Adam Opel AG, ECOTEC DIRECT von Opel – Benzindirekteinspritzung, pp. 231-252
- 7 Azuhata, S. et al., Hitachi en Honda R&D Co., NO_x elimination Performance of a Mixed Metal Oxide Type De-NO_x Catalyst for Lean Burning Automotive Engine, pp. 265-287

Fortschritt-Berichte VDI 21. Internationales Wiener Motorensymposium 4 en 5 mei 2000, deel 2:

- 1 Cartus, T., et al., AVL, Effiziente und saubere PKW-Diesel mittels NO_x-Adsorbertechnologie, pp. 241-264
- 2 Jacob, E., en Doring, A., MAN Nutzfahrzeuge Aktiengesellschaft, GD-KAT: Abgasnachbehandlungssystem zur simultanen Kohlenstoffpartikel-Oxidation und NO_x-Reduktion für Euro 4/5 Nfz-Dieselmotoren, pp. 311-329
- 3 Bouchez, M. en Dementhon, J.B., IFP, Exhaust temperature increase and soot loading control: key issues for Diesel particulate filter regeneration, pp. 330-342
- 4 Allansson, R., et al., The Use of the Continuously Regenerating Trap (CRT™) and SCRT™ Systems to Meet Future Emissions Legislation, pp. 343-355

IIASA and AEA Technology, 1999, 'Economic Evaluation of a Directive on National Emission Ceilings for Certain Atmospheric Pollutants

INFRAS / IWW, 2000, 'External Costs of Transport', UIC, Parijs

IVM, ExternE Transport, Dutch case studies on transport externalities, Amsterdam, 1997

Khair, M., et al., Integration of Exhaust Gas Recirculation, Selective Catalytic Reduction, Diesel Particulate Filters, and Fuel-Borne Catalyst for NO_x/PM Reduction, SAE Paper 2000-01-1933 voor het International Spring Fuels & Lubricants Meeting & Exposition, Parijs, 19 tot 22 juni 2000

Klaver, P., Trucks met frisse adem, Nabehandeling van het uitlaatgas, Auto & Motor TECHNIEK 60 2000 6, pp. 60 en 61

Koseki, K., Uchiyama, T., Kawamura, M., Sembokuya, S., A Study on the Effects of Sulfur in Gasoline on Exhaust Emissions, SAE Paper 2000-01-1878 voor het International Spring Fuels & Lubricants Meeting & Exposition, Parijs, 19 tot 22 juni 2000

Lepperhoff, G., et al., FEV, Vehicle Study on the Impact of Diesel Fuel Sulfur Content on the Performance of DeNO_x Catalysts and the Influence of DeNO_x Catalysts on Particle Size and Number, SEA Paper 2000-01-1877 voor het International Spring Fuels & Lubricants Meeting & Exposition, Parijs, 19 tot 22 juni 2000

Maddison, D., D. Pearce, O. Johansson, E. Calthrop, T. Litman, E. Verhoef, 1996, 'The true costs of road transport'

MECA, *The Impact of Sulfur in Diesel Fuel on Catalyst Emission Control Technology*, March 1999, Manufacturers of Emission Controls Association



Metz, D., Potjer, B., Janse, P., CE, Delft, 2000, 'Optiedocument stedelijke luchtkwaliteit'

Richards, P., et al., Emissions Characteristics of Diesel Vehicles Equipped with Particulate Filters and Using Fuel Additive for Regeneration, SAE Paper 2000-01-1925 voor het International Spring Fuels & Lubricants Meeting & Exposition, Parijs, 19 tot 22 juni 2000

SIKA, "Översyn av samhällsekonomiska kalkylprinciper och kalkylvärden på transportområdet", Sika Rapport 1999:6.

Verhoef, E.T., 1996, 'Economic Efficiency and Social Feasibility in the Regulation of Road Transport Externalities'

WHO, 1999, 'Health Costs due to Road Traffic-related Air Pollution'

Vervroegde introductie van schonere benzine en diesel in Nederland

Een analyse van emissiepotentieel
en kosteneffectiviteit

Bijlagen

Delft, oktober 2000

Opgesteld door: ir. B.E. Kampman (CE)
 ir. J.M.W. Dings (CE)
 ir. R. Gense (TNO-Wegtransportmiddelen)
 ir. E. van de Burgwal (TNO-Wegtransportmiddelen)





A Overzicht brandstofeisen en voertuignormen

A.1 Brandstofeisen Europese Unie

Binnen de Europese Unie zijn normen voor zowel de brandstofsamenstelling als ook voor de emissies van voertuigen vastgesteld om luchtvervuiling ten gevolge van het wegverkeer tegen te gaan. Sinds 1992, toen de eerste normen in werking traden (Euro I), zijn de specificaties steeds verder aangescherpt: brandstoffen zijn inmiddels loodvrij (enkele uitzonderingen voor een aantal landen daargelaten) en met name de zwavel- en benzeengehalten zijn sterk teruggebracht. Doordat tegelijkertijd ook de emissie-eisen voor de voertuigen steeds strenger werden, zijn ook de uitstoot van NO_x , CO, HC en deeltjes aanzienlijk gereduceerd. Om ook de CO_2 -uitstoot te beperken, is recentelijk een convenant afgesloten met de auto-industrie waarin een reductie van het brandstofverbruik van nieuwe auto's in de EU met 20% in 2008 ten opzichte van 1995 is afgesproken.

Brandstof- en voertuigeisen zijn sterk aan elkaar gerelateerd, en worden dan ook op elkaar afgestemd. Voor sommige stoffen geldt, dat de uitstoot alleen verminderd kan worden door deze componenten uit de brandstoffen te halen. Een voorbeeld hiervan is zwavel: de zwavel die in de brandstof zit wordt uitgestoten als zwaveloxide, een stof die zure regen veroorzaakt. Voor andere emissies geldt echter, dat zij moeten worden teruggedrongen door geavanceerde motor- of nabehandelingstechnologieën toe te passen. Deze technologieën stellen in sommige gevallen zeer specifieke eisen aan de brandstoffen. Loodvrije benzine, bijvoorbeeld, is begin jaren 90 ingevoerd om de driewegkatalysator mogelijk te maken en zo de uitstoot van NO_x , HC en CO sterk terug te brengen.

De 2005 brandstofeisen, en met name de verlaging van het zwavelgehalte, richten zich ook vooral op technologiefacilitering, het technisch mogelijk maken van nieuwe motor- en nabehandelingstechnologieën, die de emissies nog verder kunnen terugbrengen. Bij dieselmotoren kunnen bij zwavelarme brandstoffen katalysatoren worden toegepast die de schadelijke NO_x - en deeltjesemissies sterk terug kunnen brengen. Bij benzinemotoren gaat het vooral om de invoering van katalysatoren die lean burn-motoren mogelijk maken, waarmee het brandstofverbruik aanzienlijk kan worden teruggedrongen¹. Een bijkomend effect is dat ook bestaande driewegkatalysatoren efficiënter worden als het zwavelgehalte van de brandstoffen wordt verlaagd.

De voor dit project relevante Europese eisen voor benzine en diesel zijn gegeven in Tabel 1.

¹ De huidige generatie benzinemotoren werkt stoichiometrisch, waarbij de verhouding lucht en brandstof gelijk is aan 1. Stoichiometrische verbranding is een voorwaarde voor een goede werking van de driewegkatalysator. Lean burn-verbrandingsmotoren werken bij een grotere verhouding tussen lucht en brandstof, waardoor het brandstofverbruik met zo'n 10-15% af kan nemen. Om toch aan de emissie-eisen te voldoen, is een andere katalysator-techniek nodig, die zwavelarme benzine nodig heeft.

Tabel 1 Europese milieutechnische specificaties voor benzine en diesel per 1-1-2000 en 1-1-2005

	benzine		diesel	
	2000	2005	2000	2005
zwavel [mg/kg]	< 150	< 50	< 350	<50
aromaten (%v/v)	< 42%	< 35%	-	-
benzeen (%v/v)	<1		-	-
olefinen (%v/v)	<18		-	-
lood (g/l)	<0,005		-	-
zuurstof (%m/m)	<2,7		-	-
wv. methanol	<3		-	-
ethanol	<5		-	-
isopropylalcohol	<10		-	-
tert-butylalcohol	<7		-	-
isobutylalcohol	<10		-	-
ethers > 5 C- atomen	<15		-	-
andere O-verbindingen	<10		-	-
E100 (%v/v)	>46		-	-
E150 (%v/v)	>75		-	-
dampspanning zomer (kPa)	<60		-	-
RON	>95		-	-
MON	>85		-	-
cetaangetal	-	-	>51	
dichtheid 15 graden C (kg/l)	-	-	<845	
T95 (graden C)	-	-	360	
PAK (%m/m)	-	-	11	

- niet van toepassing, leeg vakje: nog niet bekend

A.2 Schonere benzine en diesel in andere landen

Een aantal EU-landen kent al een regime waarin schonere of zwavelarmere brandstoffen fiscaal worden gestimuleerd.

Zweden en Finland geven accijnskorting op diesel die voldoet aan strengere specificaties dan de Europese eisen voorschrijven. De fiscale prikkel is hoger dan de meerkosten getuige het grote (> 90%) marktaandeel van deze speciale diesels. Vooral de Zweedse 'Class 1' diesel is bijzonder streng gespecificeerd; eigenlijk heeft deze diesel wat van kerosine weg. Zie Tabel 2.

Denemarken heeft begin 1999 een fiscale differentiatie voor zwavelarme diesel ingevoerd van 18 øre/l.



Tabel 2 Zweedse en Finse dieselklassen en belastingprijken

Eigenschap	Zweden		Finland	Denemarken
	Class 1	Class 2		
zwavel (max. ppm)	10	50	50	50
Cetaangetal	50	47	47	
aromaten (max. %v)	5	20	20	
PAK (max. %v) ¹	0,02	0,10		
T95 (°C)	285	295		
Dichtheid (kg/l)	800-820	800-820		
Belastingprikket (Zwkr,FiM,Dkr/l)	0,22	0,11	0,15	0,18

¹ Deze Zweedse PAK-eis is niet te vergelijken met de EU-eis voor PAK in diesel. Deze PAK-eis heeft alleen betrekking op de koolwaterstoffen met minstens 3 ringen, terwijl de Europese ook betrekking heeft op die met 2 ringen.

Groot-Brittannië is eind 90-er jaren begonnen met het stimuleren van zeer laagzwavelige diesel (ultra low sulphur diesel, ULSD) om de luchtverontreiniging in stedelijk gebied te verminderen. Deze ULSD voldoet al aan de 2005 specificaties, en is gestimuleerd door middel van een accijnsverschil tussen de ULSD en de gewone diesel. Het accijnsvoordeel van de schone diesel is langzaam verhoogd van 1 naar 3 pence/liter. Pas bij de laatste verhoging van 2 naar 3 pence in 1999 werd de conventionele diesel vrijwel geheel vervangen.

In Duitsland zal per 1 november 2001 de zwavelarme benzine en diesel met 3 Pfennig/liter gestimuleerd worden². Gezien de Britse ervaringen is het niet zeker of dit accijnsvoordeel, equivalent met ca 1 pence/l, voldoende zal zijn om een omslag te bewerkstelligen.

² Hierbij moet worden opgemerkt dat in Duitsland het lagere aromaatgehalte bij benzine niet vereist wordt voor de fiscale stimulering. Bij deze regeling speelt dus het zwavelgehalte een rol, en niet de volledige EU 2005 normen.

A.3 Voertuigeisen Europese Unie

Voertuigen die binnen de Europese Unie worden verkocht, moeten aan steeds strenger wordende emissienormen voldoen, zoals blijkt uit Tabel 3, Tabel 4 en Tabel 5. Op deze manier worden alle schadelijke emissies (uitgezonderd CO₂) steeds verder teruggebracht.

Tabel 3 Emissienormen personenauto's (gr/km)

		Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4
<i>Ingangsjaar:</i>		1992	1996	2000	2005
<i>Benzine</i>					
CO		2,72	2,70	2,30	1,00
HC + NO _x		0,97	0,59	0,35	0,18
HC		-	0,34	0,20	0,10
NO _x		-	0,25	0,15	0,08
<i>Diesel</i>					
CO	IDI en DI	2,72	1,06	0,64	0,50
HC + NO _x	IDI	0,97	0,71	0,56	0,30
	DI	1,36	0,91	0,56	0,30
NO _x	IDI	-	0,63	0,50	0,25
	DI	-	0,81	0,50	0,25
PM ₁₀	IDI	0,14	0,08	0,05	0,03
	DI	0,19	0,10	0,05	0,03

Tabel 4 Emissienormen bestelauto's (gr/km)

	Euro 1			Euro 2			Euro 3			Euro 4		
<i>Ingangsjaar:</i>	1992			1996			2000			2005		
<i>Categorie</i> <i>a)</i>	<i>L</i>	<i>M</i>	<i>Z</i>	<i>L</i>	<i>M</i>	<i>Z</i>	<i>L</i>	<i>M</i>	<i>Z</i>	<i>L</i>	<i>M</i>	<i>Z</i>
<i>Benzine</i>												
CO	2,72	5,17	6,90	2,20	4,00	5,00	2,30	4,17	5,22	1,00	1,81	2,27
HC + NO _x	0,97	1,40	1,70	0,50	0,70	0,80	-	-	-	-	-	-
HC	-	-	-	-	-	-	0,20	0,25	0,29	0,10	0,13	0,16
NO _x	-	-	-	-	-	-	0,15	0,18	0,21	0,08	0,10	0,11
<i>Diesel</i>												
CO	2,72	5,17	6,90	1,00	1,25	1,50	0,64	0,80	0,95	0,50	0,63	0,74
HC + NO _x <i>b)</i>	0,97	1,40	1,70	0,70	1,10	1,30	0,56	0,72	0,86	0,30	0,39	0,46
NO _x	-	-	-	-	-	-	0,50	0,65	0,78	0,25	0,33	0,39
PM ₁₀ ^{b)}	0,14	0,19	0,25	0,08	0,15	0,20	0,05	0,07	0,10	0,025	0,04	0,06

a Licht: RM < 1.250 kg; Midden: RM > 1.250 kg en < 1.700 kg; Zwaar: RM > 1.700 kg.
RM = Referentie Massa = leegewicht+100 kg.

b De normen tot 2000 gelden voor IDI dieselmotoren. De normen voor DI dieselmotoren in deze jaren zijn ongeveer 30 procent hoger voor HC+NO_x en 25 procent hoger voor PM₁₀. Met ingang van 1 januari 2000 zijn de normen voor DI dieselmotoren gelijk getrokken aan die van IDI dieselmotoren.



Tabel 5 Emissie-eisen voor nieuwe motoren voor wegvoertuigen met een GVW >3,5 ton, vroeger, nu en in de toekomst

Richtlijn		NM ^a	AP ^a	Emissienorm (g/kWh)							
				NO _x		PM		HC		CO	
				TA ^b	COP ^b	TA	COP	TA	COP	TA	COP
ECE 49 ('Euro 0')		1982		18,0	-	-	-	3,50	-	14,0	-
88/77/EEC ('Euro 0')		04.88	10.90	14,4	15,8	-	-	2,40	2,64	11,4	13,2
91/542/EEC 'Euro 1'	≤ 85 kW	07.92	10.93	8,0	9,0	0,36	0,40	1,10	1,23	4,5	4,9
	> 85 kW					0,61	0,68				
91/542/EEC 'Euro 2'	≤ 85 kW	10.95	10.96	7,0		0,15		1,10		4,0	
	> 85 kW					0,26					
'Euro 2'-norm bij nieuwe testcycli (fictief)	ESC/ ELR ^d			7,2		0,14		0,94		3,0	
	ETC ^d					0,23		1,21		7,8	
'Euro 3'	ESC/ ELR	10.00	10.01	5,0		0,10/0,13 ^e		0,66		2,1	
	ETC ^f					0,16/0,21 ^e		0,78		5,45	
'Euro 4'	ESC/ ELR	10.05	10.06	3,5		0,02		0,46		1,5	
	ETC ^f					0,03		0,55		4,0	
'Euro 5'	ESC/ ELR	10.08	10.09	2,0		0,02		0,46		1,5	
	ETC ^f					0,03		0,55		4,0	
EEV ^g	ESC/ ELR			2,0		0,02		0,25		1,5	
	ETC ^f							0,40		3,0	

- ^a NM: New model, datum waarop nieuwe typekeuringen aan de eisen moeten voldoen.
AP: All Production, datum waarop alle nieuwe op de markt verschijnende motoren aan de eis moeten voldoen.
- ^b TA: Type Approval, norm voor typekeuringsmotor.
COP: Conformity of Production, norm voor iedere willekeurige productiemotor.
- ^c Voor motoren met een cilinderinhoud < 0,7 l en een maximaal toerental boven 3.000 min⁻¹ mochten tot 1 oktober 1999 nog exemplaren met een PM-emissie van 0,25 g/kWh geproduceerd worden.
- ^d ESC: European Steady State Cycle, nieuwe Europese 13 mode stationaire emissietest, met andere meetpunten en andere weegfactoren dan de huidige ECE 49 '13 mode'-test.
ELR: European Load Response, nieuwe Europese emissietest waarbij een snel toenemende belasting op de motor wordt aangebracht en het toerental zo goed mogelijk constant wordt gehouden.
- ^e Het tweede getal geldt voor motoren met een cilinderinhoud < 0,75 l en een maximaal toerental boven 3.000 min⁻¹.
- ^f ETC: European Transient Cycle, nieuwe Europese dynamische emissietest met 10 minuten stadsbedrijf, 10 minuten buitenwegbedrijf en 10 minuten snelwegbedrijf. Deze test wordt alleen afgenomen bij motoren die zijn voorzien van 'geavanceerde uitlaatgasnabehandelingssystemen zoals DeNO_x-systemen of deeltjesfilters' en ook bij aardgasmotoren.
- ^g EEV: Enhanced Environmentally-friendly Vehicles, die nationale overheden kunnen opleggen aan bijvoorbeeld LPG-voertuigen of stadsdistributievoertuigen.
- ^h HC-eisen exclusief methaan.



B Gevolgen voor de raffinaderijen

B.1 Inleiding

Om brandstoffen te leveren die aan de 2005 eisen van de EU voldoen, moet de olie-industrie een aantal wijzigingen doorvoeren in het raffinageproces en in de stroom van ruwe olie en additieven. In deze paragraaf zullen de mogelijke aanpassingen globaal worden beschreven, en de overwegingen die bij de uiteindelijke keuzes van de raffinaderijen een rol zullen spelen zullen worden gegeven. In de volgende paragraaf wordt vervolgens een schatting gegeven van de kosten die hiermee gemoeid zijn.

Naast de hier besproken kostenposten moet de kanttekening worden gemaakt dat zwavelarme brandstoffen een hoger veiligheidsrisico hebben. Zonder zwavel is de geleidbaarheid zeer laag, en neemt het explosierisico sterk toe. Dit heeft al een aantal ernstige ongelukken bij het tanken tot gevolg gehad, de industrie is op zoek naar een oplossing hiervoor. Alhoewel wij dit veiligheidsaspect in deze studie niet hebben meegenomen, moeten deze risico's wel in de besluitvorming worden meegenomen.

De informatie in deze paragraaf is afkomstig uit de literatuur [CONCAWE, 1999] en uit gesprekken met vertegenwoordigers van oliemaatschappijen.

B.2 Gevolgen voor de raffinaderijen

Ruwe olie bevat een bepaalde hoeveelheid zwavel en aromaten. De samenstelling van ruwe olie kan sterk variëren: ruwe olie die in de Noordzee wordt gewonnen bevat bijvoorbeeld vaak minder zwavel dan olie uit het Midden-Oosten. Daarnaast kan de beschikbare procesapparatuur per raffinaderij verschillen, evenals de samenstelling van ingekochte componenten en ruwe olie, en de eindproducten. Sommige raffinaderijen hebben bijvoorbeeld ontwavelingsinstallaties die (nog) niet aan de top van hun capaciteit werken, bij andere raffinaderijen zijn grote investeringen nodig om zwavelarme brandstoffen te produceren. Wereldwijd gezien is de huidige situatie in evenwicht: door gerichte inkoop van ruwe olie die aan bepaalde eisen voldoet en componententransfer tussen raffinaderijen kan aan de vraag naar brandstoffen en andere olieproducten worden voldaan.

Om het aanbod van zwavelarme brandstoffen te verhogen, kunnen de oliemaatschappijen gebruik maken van drie verschillende opties:

- 1 Optimaal gebruik van de componenten die beschikbaar zijn. Dit kunnen zowel componenten betreffen die al in het bestaande raffinageproces aanwezig zijn, dan wel via inkoop verkregen worden. Zo zal er optimaal gebruik kunnen worden gemaakt van ruwe olie en oxygenaten met lage zwavel en/of aromaatgehaltes. Het betreft dus een zuiver logistieke maatregel zonder technische meerkosten in het raffinageproces.
- 2 Intensiever gebruik van bestaande ontwavelingsapparatuur.
- 3 Investerings in nieuwe apparatuur.

Aan elk van deze mogelijkheden zijn kosten verbonden die tegen elkaar af moeten worden gewogen. Ook de tijdschaal waarbinnen verandering mogelijk is, varieert, zoals aangegeven in Tabel 6. Elke oliemaatschappij zal de

verschillende mogelijkheden en kosten bepalen, en de voor hun goedkoopste opties kiezen. Het is daarnaast ook mogelijk dat een oliemaatschappij ervoor kiest om, gezien de binnen het bedrijf aanwezige raffinaderijen, zelf geen zwavelarme brandstof te produceren, maar die bij anderen in te kopen.

Tabel 6 Overzicht kosten en tijdschaal van implementatie van de verschillende stappen

Stap	Meerkosten	Tijdschaal
Optimalisering Componenten	Stijgende prijzen van de nodige componenten vanwege toenemende vraag Transportkosten van de componenten	2-3 weken
Intensivering Ontzwaveling	Hoger waterstofverbruik Vaker regenereren of vervangen katalysatoren	2-3 weken
Nieuwe apparatuur	Grote investeringen (ca. 200 miljoen per installatie)	2-3 jaar

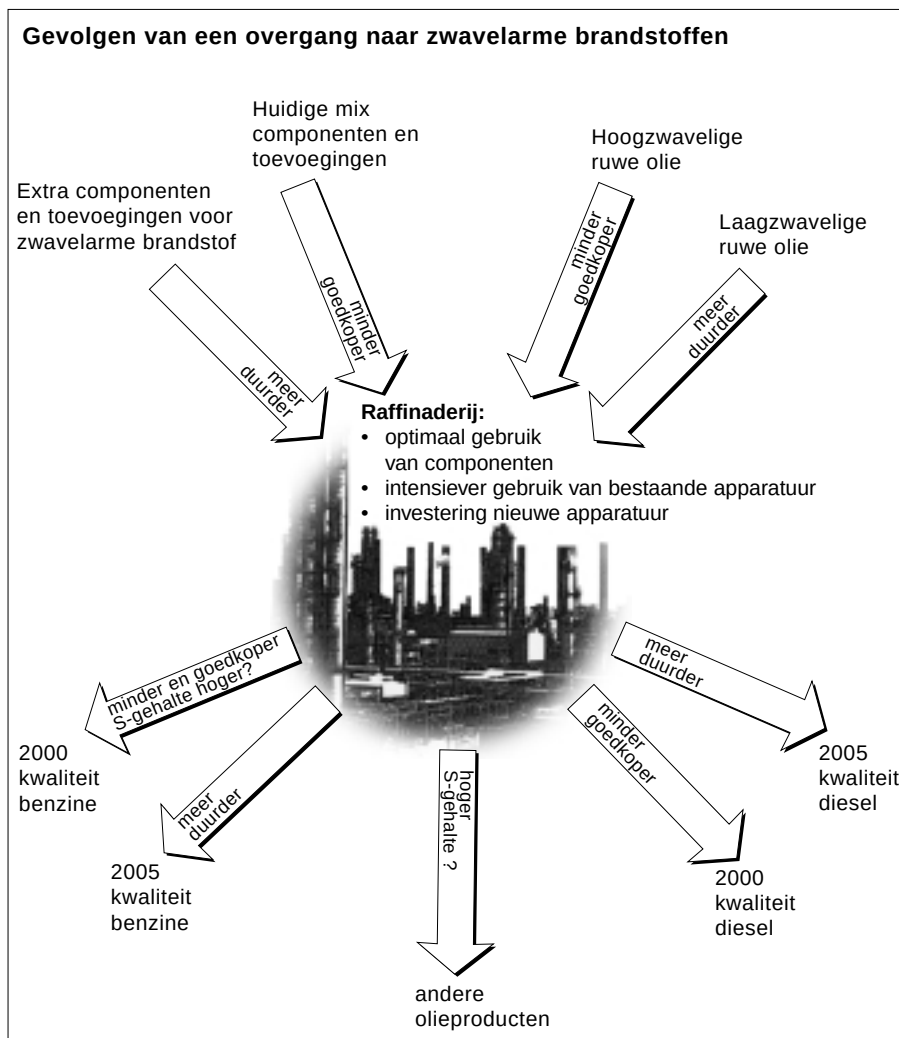
Een secundair effect van optimalisering van de componentenstroom mag ook niet worden verwaarloosd: een grotere vraag naar zwavelarme brandstoffen zal gevolgen hebben voor de samenstelling en prijs van de 'gewone' brandstoffen. Doordat zwavelarme componenten dan in toenemende mate worden gebruikt voor de schonere brandstoffen, zal het zwavelgehalte van de gewone brandstoffen toenemen waar dat binnen de eisen geoorloofd is. Ook olieproducten zoals stookolie e.d., waar het zwavelgehalte niet wettelijk gelimiteerd is, zullen in toenemende mate gebruik maken van hoogzwavelige componenten en grondstoffen.

Gevolg van deze ontwikkeling is dat het zwavelgehalte van de huidige benzine zal stijgen. De 'give-away', het verschil tussen norm en werkelijke waarde, is daar op dit moment vrij hoog, de werkelijke waarde zal in dat geval stijgen. Deze producten zullen ook goedkoper worden door de afnemende vraag. Bij diesel is de zwavel 'give-away' erg klein vanwege de hogere kosten voor ontzwaveling, het zwavelgehalte van de huidige kwaliteit diesel zal daarom niet veel veranderen.

Deze gevolgen voor de raffinaderijen, voor de brandstofsamenstelling en de te verwachten kostenontwikkelingen zijn in Figuur 1 weergegeven.



Figuur 1 Gevolgen bij raffinaderijen ten gevolge van een overgang naar zwavelarme brandstoffen



Deze ontwikkelingen zullen plaats vinden zodra de (wereldwijde!) vraag naar zwavelarme brandstoffen toeneemt. Dit betekent bijvoorbeeld dat een overgang naar schonere benzine in Duitsland tot gevolg zal hebben dat het zwavelgehalte van de Nederlandse 'gewone' benzine zal toenemen, van de huidige 75 ppm naar bijvoorbeeld 120 ppm, en dat de prijs wellicht iets zal afnemen. Het aromaatgehalte in benzine zal niet significant veranderen. De samenstelling van diesel zal gelijk blijven doordat het zwavelgehalte al dicht onder de norm zit, maar ook hier zullen de kosten vermoedelijk iets afnemen.

B.3 Gevolgen voor distributie en logistiek

Gedurende de tijd dat er meerdere varianten van de brandstoffen in omloop zijn moeten er extra kosten gemaakt worden voor distributie en logistiek. Deze meerkosten zullen dan weer verdwijnen als de markt volledig is overgegaan op de schonere brandstoffen. De distributie van raffinaderij naar de pomp vindt in het algemeen plaats via regionale depots, waar een aantal

oliemaatschappijen gezamenlijk gebruikt van maakt. Uit kostenoverwegingen is het dan het voordeligst om per regio tegelijkertijd om te schakelen.

In het huidige systeem zijn de brandstofstromen voor Nederland en Duitsland samengevoegd. Als er in Duitsland verschillende brandstofvarianten zullen worden aangeboden, zijn de kosten voor de distributiekkanalen van dezelfde varianten in Nederland daarom vermoedelijk beperkt. Als de Nederlandse brandstoffen echter afwijken van Duitsland, zal dit extra kosten met zich meebrengen. Dit kan het geval zijn als in Duitsland alleen het zwavelgehalte van de brandstoffen verlaagd wordt, en Nederland de volledige 2005-norm aanhoudt, inclusief de lagere normen voor aromaten in benzine. In dat geval moet de logistiek en distributie van de Nederlandse schonere benzine gesplitst worden van de Duitse zwavelarme benzine. De samenstelling van de schonere diesel zal niet verschillen.

Daarnaast kan rekening gehouden worden met de eventuele kosten van een marker in de schonere brandstoffen, zodat schonere brandstoffen zichtbaar te onderscheiden zijn van de 'normale' brandstoffen. Dit zal nodig zijn zodra een accijnsverschil tussen deze soorten wordt ingevoerd.

B.4 Meerkosten van de schonere brandstoffen – raffinage en distributie

Uit het bovenstaande blijkt, dat het niet eenvoudig is om op voorhand de meerkosten van de zwavelarme brandstoffen te bepalen. Er zullen aanpassingen nodig zijn in sommige raffinaderijen, de prijzen van zwavel- en aromaatarme componenten zullen toenemen en ook de distributie van deze extra soorten brandstof zal kosten met zich meebrengen. Per oliemaatschappij kunnen de meerkosten dan ook sterk verschillen, en zullen verschillende opties worden gevolgd.

Er zijn, zover bekend, twee uitgebreide studies uitgevoerd naar de meerkosten van de productie van de schonere brandstoffen. Allereerst heeft A.D. Little in het kader van het Auto/Olie programma een studie uitgevoerd naar de meerkosten van zwavelreductie bij benzine en diesel [AD Little 1997]. Hierbij is gekeken naar de gevolgen voor 12 lidstaten van de Europese Unie, voor het geval dat de brandstoffen in alle landen zwavelarm zouden worden. In deze studie is dus *niet* gekeken naar een aromaatverlaging van benzine. In een recentere CONCAWE studie [CONCAWE, 1999] is een vergelijkbaar onderzoek uitgevoerd. Hierin zijn de gevolgen voor de raffinagemarkt berekend, voor het geval dat 2005 brandstoffen in de hele Europese Unie worden geïntroduceerd. Hierbij is rekening gehouden met de drie opties die hierboven zijn beschreven, en is een optimum gezocht waarbij aan de EU vraag naar 2005 brandstoffen kan worden voldaan tegen zo laag mogelijke kosten. Het resultaat van de studie, een berekening van de kosten die gemaakt moeten worden om de gehele Europese markt van '2005'-brandstoffen te voorzien, is gegeven in Tabel 7. Hierin valt op dat de kosten om benzine te produceren die alleen aan de lage zwaveleis voldoet veel lager zijn dan als ook het aromaatgehalte wordt verlaagd: 2,1 €/liter tegen 3,8 €/liter. Verder ontzwavelen van diesel is (gemiddeld) nog duurder: 4,3 €/liter.



Tabel 7 De meerkosten van raffinage van 2005 brandstoffen, volgens CONCAWE (1999). Resultaten gelden voor 2010, als alle brandstoffen in de 15 EU landen voldoen aan 2005 eisen

		Totaal volume	Totale meerkosten raffinage	Kosten per liter
Benzine	alleen zwavel: 150 → 50 ppm	127 Mt/a	3,5 miljard €	2,1 €/l
	zwavel 150 → 50 ppm én aromaten: 42% → 35%	127 Mt/a	6,5 miljard €	3,8 €/l
Diesel	zwavel: 350 → 50 ppm	155 Mt/a	8 miljard €	4,3 €/l

Deze kosten zijn berekend voor de situatie dat alle Europese landen volledig overgaan op de schonere brandstoffen. Om op basis hiervan een schatting van de kosten te maken voor de situatie in deze studie, vervroegde invoering van deze brandstoffen in Nederland, spelen de volgende overwegingen een rol:

- in Nederland staan moderne raffinaderijen, met een capaciteit die veel groter is dan de Nederlandse brandstoffenmarkt. De aanpassingen aan deze raffinaderijen zullen beperkter zijn dan aan de gemiddelde raffinaderij in Europa;
- omdat de Nederlandse markt relatief beperkt is, kan verwacht worden dat de 2005 brandstoffen geproduceerd kunnen worden met bestaande apparatuur, dmv. vrij beperkte verschuivingen in grondstoffen en processen. In de CONCAWE studie variëren de kosten sterk per land, bij een beperkte markt zullen de goedkoopste opties worden gekozen;
- de 'base case' in de CONCAWE studie gaat uit van een gemiddeld zwavelgehalte van de benzine van 124 ppm, een gemiddeld aromaatgehalte van 37,8%. Het 'base case' zwavelgehalte van diesel bedraagt 315 ppm. De recente gemiddelde waarden voor Nederland zijn lager: 73 ppm zwavel en 36% aromaten in benzine, 120 ppm zwavel in diesel;
- op dit moment worden in Europese raffinaderijen al zwavelarme brandstoffen geproduceerd die vervolgens naar de Verenigde Staten worden geëxporteerd;
- aangezien de schonere brandstoffen in 2005 toch verplicht worden in heel Europa, moeten eventuele investeringen in veel gevallen toch worden uitgevoerd. In deze studie zijn dan alleen de kosten van het vervroegen van deze investeringen relevant, niet de volledige kosten van de investeringen;
- oliemaatschappijen en toeleveranciers van procesapparatuur voeren voortdurend onderzoek uit naar technologische vernieuwingen op het gebied van raffinage in het algemeen en ontzwaveling in het bijzonder. Doel hiervan is het optimaliseren van het proces, en het reduceren van de kosten. Ook hiervan kunnen toekomstige kostenbesparingen worden verwacht;
- ten tijde van uitvoering van de CONCAWE-studie waren de prijzen voor ruwe olie op de wereldmarkt zeer laag, ca \$10-15 per vat. Daarom is in de CONCAWE-studie aangenomen dat de ruwe olie een sterk Arabisch (zwavelrijk) karakter heeft en minder Brent (licht, minder zwavelrijk). Ten tijde van het schrijven van de onderhavige studie is de olieprijs juist extreem hoog, ca 35 per vat, waarmee veel kleinere Noordzeevelden weer rendabel zijn en waardoor de crude wellicht zwavelarmer is dan verondersteld.

Om deze redenen zal vervroegde invoering van schonere brandstoffen naar alle waarschijnlijkheid aanzienlijk lagere kosten met zich meebrengen dan in de situatie die in de CONCAWE studie is beschouwd. Ondanks deze kanttekeningen blijven ontzwaveling en vermindering van het aromaatgehalte echter processen waar kosten aan verbonden zijn. Binnen deze studie is het echter onmogelijk om de financiële gevolgen hiervan precies te bepalen.

De Verenigde Nederlandse Petroleum Industrie (VNPI) heeft op basis van het CONCAWE-rapport een kostenschatting voor de vroegtijdige invoering in Nederland gemaakt. Deze VNPI-inschatting blijft echter substantieel hoger dan de schattingen uit de A.D. Little-studie. Daarom wordt de VNPI-schatting in dit rapport gebruikt als 'hoge' schatting van de kosten, en de A.D. Little-studie als 'lage' schatting (hoewel in deze studie gelijktijdige invoering in 12 lidstaten is beschouwd, wat waarschijnlijk duurder is dan invoering in 1 lidstaat).

Voor benzine is het AD Little-onderzoek niet direct toepasbaar, aangezien deze studie alleen zwavelreductie beschouwt. De 'lage' schatting van de extra kosten van aromaatreductie zijn daarom afgeleid uit de verhouding tussen aromaat- en zwavelreductiekosten in de VNPI-schatting.

De meerkosten die bij de distributie van de schonere brandstoffen gemaakt moeten worden, hangen sterk af van wat er in Duitsland gebeurt, en of er gedurende langere tijd twee verschillende soorten van één brandstof in omloop zullen zijn. De distributiekosten zullen vrijwel verwaarloosbaar zijn als in Nederland dezelfde soorten brandstof verkocht worden als in Duitsland, omdat de distributie van deze landen grotendeels samengevoegd is. Als de brandstof in Nederland een andere samenstelling heeft dan in Duitsland, zullen de meerkosten oplopen.

De meerkosten voor raffinage en distributie die in deze studie zijn gebruikt zijn gegeven in Tabel 8. In deze tabel zijn ook de kostenschattingen van alleen zwavelreductie (van benzine) opgenomen, aangezien deze opvallend veel lager zijn dan de kosten voor zwavel- én aromaatreductie. Niet alleen de raffinagekosten zijn dan lager, ook de distributie wordt goedkoper omdat Nederland dan dezelfde brandstofkwaliteit heeft als Duitsland.

Tabel 8 De geschatte meerkosten van raffinage van 2005 brandstoffen, zoals gebruikt in deze studie, in euroct/liter

brandstof	Component	verandering van norm	meerkosten in euroct/liter			
			Raffinage		Distributie	
			'laag'	'hoog'	'laag'	'hoog'
benzine	Alleen zwavel	150 → 50 ppm	0,4	1,8	0,25	0,5
	Plus aromaten	42% → 35%	0,6	2,0	0,75	1,5
diesel	Zwavel	350 → 50 ppm	1,4	3,0	0,25	0,5

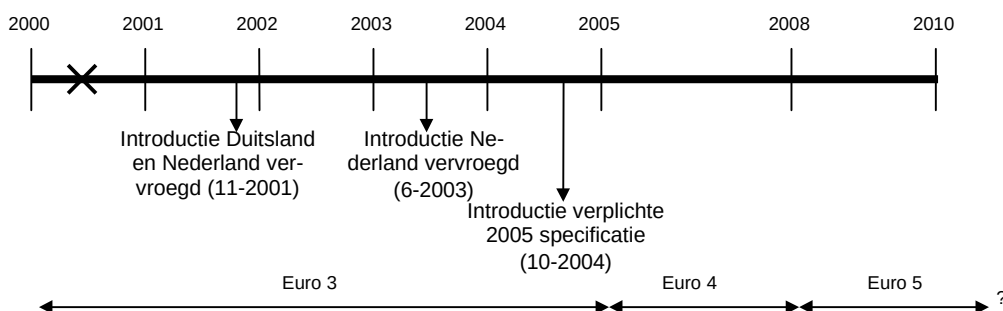
C Beschrijving introductiescenario's voor de brandstoffen

C.1 Inleiding

In de emissieberekeningen speelt de brandstofsamenstelling uiteraard een grote rol. Zoals ook in hoofdstuk 2 en in de vorige Bijlage is beschreven, zal de samenstelling niet alleen afhangen van de normen waar de brandstoffen aan moeten voldoen, maar ook van de ontwikkelingen in andere Europese landen, aan prijsontwikkelingen van grondstoffen en aan de beschikbare capaciteit bij de raffinaderijen.

In de volgende paragrafen zal beschreven worden welke samenstelling is gebruikt in de verschillende scenario's, en waarom. In het tijdpad in de onderstaande figuur staan de belangrijkste gebeurtenissen tot 2010 aangegeven.

Figuur 2 De belangrijkste gebeurtenissen tot 2010



C.2 Brandstoffen

C.2.1 Verloop zwavel- en aromatengehalte van benzine en diesel

Het zwavel- en aromatengehalte van benzine en diesel zal een verloop hebben dat parallel loopt aan de gebeurtenissen zoals aangegeven in het tijdpad. Voor de verschillende scenario's komt dit op het volgende neer:

Nederland 2005, Duitsland pessimistisch (NL 2005 Dpress)

Doordat laagzwavelige brandstoffen in Duitsland in dit scenario maar matig populair worden, zal dit geen grote verschuivingen op de oliemarkt teweegbrengen. Daarom zal de brandstofkwaliteit in Nederland tot aan de introductie van 2005 brandstoffen ongeveer op het huidige 'market average' niveau blijven. Vanaf 2005 zullen de specificaties onder de gestelde maxima, 50 ppm zwavel voor benzine en diesel en 35 %v/v aromaten voor benzine, komen te liggen.

Nederland 2005, Duitsland optimistisch (NL 2005 Dopt)

Indien laagzwavelige brandstoffen in Duitsland een succes worden, dus het optimistische scenario, zullen er verschuivingen optreden op de oliemarkt. Voor de Nederlandse situatie houdt dit in dat het zwavelgehalte zal stijgen, oftewel een gedeelte van de huidige 'give away' ten opzichte van de norm

zal worden verdwijnen. In de jaren na de Duitse introductie tot de Europese introductie van 2005 kwaliteit brandstoffen zullen de zwavelgehaltes van benzine en diesel op respectievelijk 140 ppm en 340 ppm komen te liggen, dus dicht tegen de wettelijk geldende maxima van 150 en 350 ppm.

Nederland 2001

Op hetzelfde moment dat Duitsland laagzwavelige brandstof introduceert, zal in Nederland brandstof op de markt komen die voldoet aan de 2005 specificatie.

Nederland 2003

In Nederland komt in juni 2003 brandstof op de markt die voldoet aan de 2005 specificatie. In de periode dat alleen Duitsland laagzwavelige brandstof heeft, 2002 en de eerste helft van 2003, worden geen grote verschuivingen op de oliemarkt verwacht, aangezien mag worden aangenomen dat deze periode te kort is voor het efficiënt doorvoeren van grote veranderingen. Het zwavelgehalte zal dus niet opschuiven in de richting van het maximum toegestane gehalte.

In de scenario's komen dus kort samengevat drie verschillende brandstof-samenstellingen voor:

- 1 Huidige 'market average' kwaliteit.
- 2 'Market average' voor de 2005 specificatie.
- 3 Brandstof met verhoogd zwavelgehalte onder de 2000 specificatie ten gevolge van een verschuiving op de oliemarkt (140 ppm benzine, 340 ppm diesel).

In de onderstaande tabel staan de specificaties voor deze samenstellingen in meer detail uitgewerkt.

Tabel 9 Specificaties van de in dit project gehanteerde brandstoffen

		2000 limieten	(1) 2000 market average	(2) mar- ket aver- age verhoogd	2005 limieten	(3) 2005 market average	
Benzine	Zwavelgehalte (ppm)	150	75	140	50	45-50 ¹	47.5 ²
	Aromaten (% v/v)	42	36	36	35	32-35 ¹	33.5 ²
	Oxygenates (% m/m)	2.7	2	?	?	2.0-2.7 (M98) ¹ 1.0-2.0 (M95) ¹	2.0 ²
	Olefinen (% v/v)	18	11	?	?	13-18 ¹	15.5 ²
Diesel	Zwavelgehalte (ppm)	350	320	340	50	45-50 ¹	47.5 ²

¹Bandbreedte volgens VNPI opgave

²Gehanteerde waarden voor TNO modelberekeningen

Het zwavelgehalte van benzine zit nu al ruim onder de norm, dus zal het relatief gemakkelijk zijn om aan de 2005 limieten te kunnen voldoen door onder andere te schuiven met de ruwe grondstoffen. Maar dit gaat ten koste van de 'give away' dus zal de afstand tot de norm slinken. Hetzelfde geldt voor het aromatengehalte. Er is volgens de VNPI geen reden om aan te nemen dat het gehalte aan oxygenates zal dalen. Het is aannemelijker dat het oxygenates gehalte alsmede het olefinen gehalte zullen stijgen ter compensatie van de verlaagde aromaten specificatie.

Diesel is moeilijker te ontzwavelen, vandaar dat de huidige samenstelling al dicht bij de norm zit. Dit zal in het geval van de 2005 samenstelling niet anders het geval zijn.



In de volgende tabel staat een overzicht van welke brandstofsamenstellingen per jaar voor de verschillende scenario's van toepassing zijn.

Tabel 10 Brandstofsoorten die in Nederland worden verkocht in de verschillende scenario's

Jaar:	Brandstofsamenstelling per jaar, per scenario			
	NL-2005 D pess	NL-2005 D opt	NL-2001	NL-2003
2001	1	1	1	1
2002	1	2	3 ¹	1
2003	1	2	3	3 ²
2004	1	2	3	3
2005	3	3	3	3
2006	3	3	3	3
2007	3	3	3	3
2008	3	3	3	3
2009	3	3	3	3
2010	3	3	3	3

¹per 1-11-2001

²per 1-6-2003

In de emissieberekeningen wordt ervan uitgegaan dat de markt op de introductie datum in zijn geheel omklapt. De directe effecten van een andere brandstofsamenstelling op het verbruik en de emissies van alle voertuigen zullen worden bepaald met behulp van vergelijkingen die in het EPEFE programma zijn opgesteld. Dit programma was een onderdeel van het Auto-Oil I programma, waarin de interacties tussen brandstofsamenstellingen en uitlaatgasemissies werden onderzocht. Alhoewel dit programma grotendeels met Euro I en vroege Euro II voertuigtechnologie is uitgevoerd, wordt in het kader van dit onderzoek ervan uitgegaan dat deze vergelijkingen ook toepasbaar zijn op Euro III voertuigen, bij gebrek aan beter onderzoeksmateriaal.

De EPEFE-vergelijkingen worden niet toegepast op de toekomstige Euro IV voertuigen, aangezien de fabrikanten deze generatie voertuigen zal kalibreren uitgaande van het feit dat de 2005 brandstofsamenstelling in heel Europa verkrijgbaar is.



D Beschrijving voertuigtechnologieën

D.1 Inleiding

De vroegere invoering van de brandstoffen die aan 2005-eisen voldoen kan de ontwikkeling en verkoop van een aantal motor- en nabehandelingstechnologieën bespoedigen. Het gaat hierbij om technologieën die niet goed functioneren bij zwavelhoudende brandstoffen, zoals katalysatoren voor 'lean burn'-benzinemotoren. In deze bijlage zal een beschrijving gegeven worden van de mogelijke technologieën die zwavelarme brandstoffen nodig hebben. Bij benzinemotoren ligt de nadruk op het faciliteren van de introductie van de 'lean burn'-motortechniek in combinatie met NO_x-opslagkatalysatoren, waarmee het brandstofverbruik met ruim 10% verlaagd kan worden zonder de emissies te verhogen. Bij dieselmotoren gaat het veelal om de introductie van geavanceerde nabehandelingstechnologieën die de schadelijke emissie sterk terug kunnen brengen.

D.2 Ottomotoren

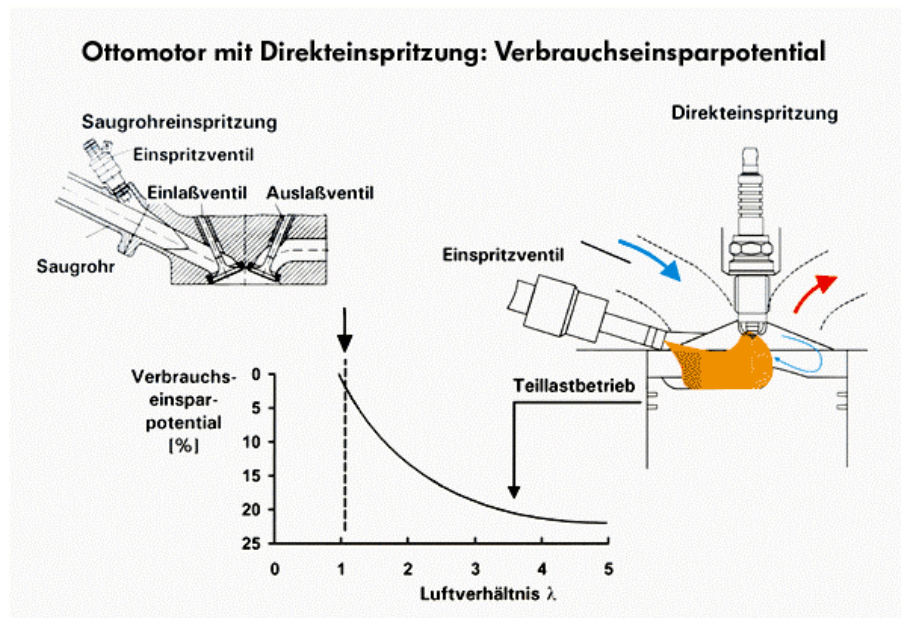
De mengselvorming van direct geïnjekteerde Ottomotoren, is principieel verschillend van conventionele indirect ingespoten systemen (of systemen met carburateur), ook al werken beide systemen ook met een stoichiometrische mengselverhouding. Vervolgens is directe injectie juist geschikt voor het creëren van arme mengsels ('lean burn'). Echter bij toepassing van arme mengsel kan de huidige 'state of the art' uitlaatgasnabehandelingstechniek "driewegkatalysator", niet meer zonder meer worden toegepast. Hierdoor wordt het noodzakelijk om aanvullend NO_x-opslagkatalysatoren toe te passen om aan de huidige en toekomstige emissiewetgeving te kunnen voldoen. In dit kader zal hierna worden ingegaan op de vraag waarom laag-zwavelige benzine een voorwaarde is voor het goed functioneren van deze systemen.

D.2.1 Directe injectie, stoichiometrisch

Directe injectie wordt tegenwoordig door elke grote autofabrikant gezien als een maatregel met in potentie grote verbruiksvoordelen [Fortschritt-Berichte VDI 21: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]. Bij dit principe wordt de brandstof direct in de verbrandingskamer geïnjecteerd, in plaats van in het inlaatkanaal (zie figuur 1). Hierdoor wordt de inlaatlucht gekoeld hetgeen leidt tot een hogere volumetrische efficiëntie. Dit laatste wordt verder verbeterd doordat de benzine (onder hogere druk) fijner verneveld wordt en daardoor makkelijker verdamppt, en dus niet neerslaat op de wanden van de verbrandingskamer en in de inlaatkanalen. De energie om de benzine te verdampen wordt dus niet van de wanden onttrokken maar van de inlaatlucht. Dit leidt ook tot een lagere temperatuur van het mengsel en dus wederom tot een hogere volumetrische efficiëntie. Door de lagere temperatuur van het mengsel kan ook de door de 'klop grens' begrensde compressieverhouding worden verhoogd, waardoor de efficiëntie van de motor hierdoor stijgt [CONCAWE 1999c, Fortschritt-Berichte VDI 21: 4].

Op deze manier hebben direct geïnjecteerde Ottomotoren een verbruiksvoordeel van circa 5% ten opzichte van conventionele ($\lambda = 1$) injectiemotoren.

Figuur 3 Directe injectie op de Volkswagen Lupo FSI [Bron: Volkswagen]



D.2.2 Directe injectie, 'lean burn'

Verdere brandstofbesparingen zijn mogelijk indien DI motoren met arme mengsels worden toegepast, de zogenaamde 'lean burn'-motoren. Lean burn-motoren werken met een hoge lucht-brandstof verhoudingen ($\lambda = 1,8$ tot 3 in tegenstelling tot $\lambda = 1$ bij stoichiometrische motoren). De verbeterde thermodynamische omstandigheden en de vollediger verbranding van de brandstof, resulteren in een hoge efficiëntie. De vorm waarin het 'arme mengsel' principe wordt toegepast kan verschillen. Hierbij is met name de belastingsgraad van de motor bepalend voor de mate van 'lean burn' die in de DI motor door het motormanagementsysteem wordt toegepast [FEV, 1999; CONCAWE 1999c]:

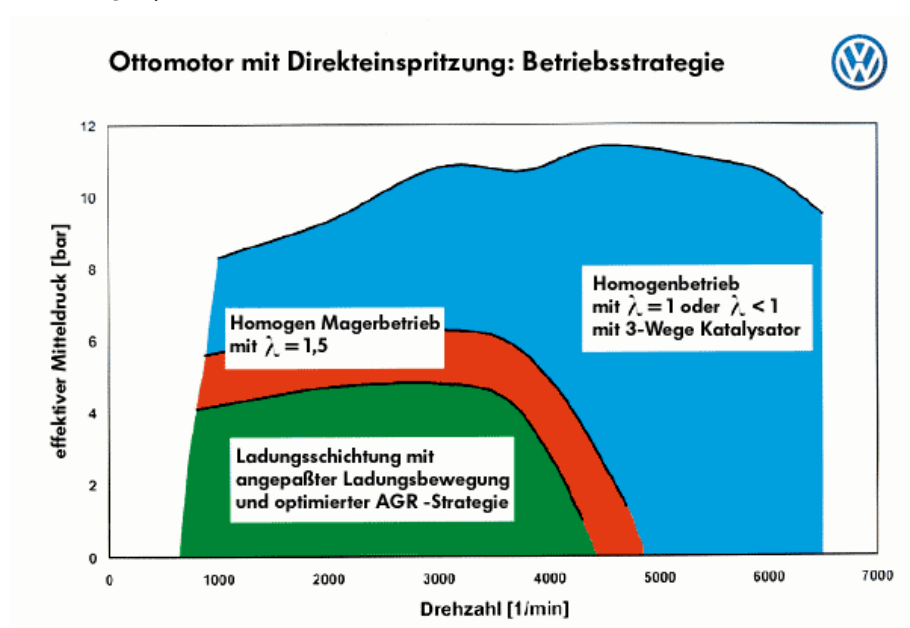
De energetisch beste injectiewijze is de injectie van brandstof gedurende de compressieslag. Er is dan sprake van 'stratified charge' of 'gelaagde injectie' met een 'rijke' zone en een 'arme' zone. Door de juiste wervelingen in de verbrandingskamer wordt het 'rijke' mengsel naar de bougie gebracht om te kunnen ontsteken, waarna ook het 'arme' mengsel zal kunnen ontsteken.

Als de benzine wordt geïnjecterd tijdens de inlaatslag (vroeg), dan is het lucht/brandstof mengsel op het moment van ontsteken homogeen. Afhankelijk van de hoeveelheid benzine die wordt geïnjecterd is het mengsel 'arm' ($\lambda > 1$) of stoichiometrisch ($\lambda = 1$).

De brandstof kan ook op meerder punten in cyclus worden geïnjecterd. Bijvoorbeeld een kleine hoeveelheid tijdens de inlaatslag en een grote hoeveelheid tijdens de compressieslag ('two stage mixing'), om hogere prestaties te realiseren, of ook een kleine hoeveelheid geïnjecterd tijdens de expansieslag ('two stage combustion') om de uitlaatgassen (en daarmee katalysator) sneller te laten opwarmen.

'Stratified charge' is op dit moment alleen mogelijk bij lage toerentallen en bij lage belastingen (stationair of constante lage snelheden), homogeen arm is alleen mogelijk op deellast en een homogeen stoichiometrisch (of zelf rijk) mengsel is een vereiste bij hoge belastingsgraden om de thermische motorbelasting te beperken. Volgens diverse literatuurbronnen zal het verbruiksvoordeel van een lean burn-DI motor (t.o.v. conventionele motoren) in de orde grootte van 13% liggen [FEV, 1999; CONCAWE, 1999c; Fortschritt-Berichte VDI 21: 1 t/m 7].

Figuur 4 De verschillende werkgebieden (stratified, homogeen $\lambda > 1$, homogeen $\lambda \leq 1$) van een DI lean burn-motor in een motorkenveld, met daarin tevens aangegeven de werkpunten van de betreffende motor op de NEDC cyclus [Bron: Volkswagen]



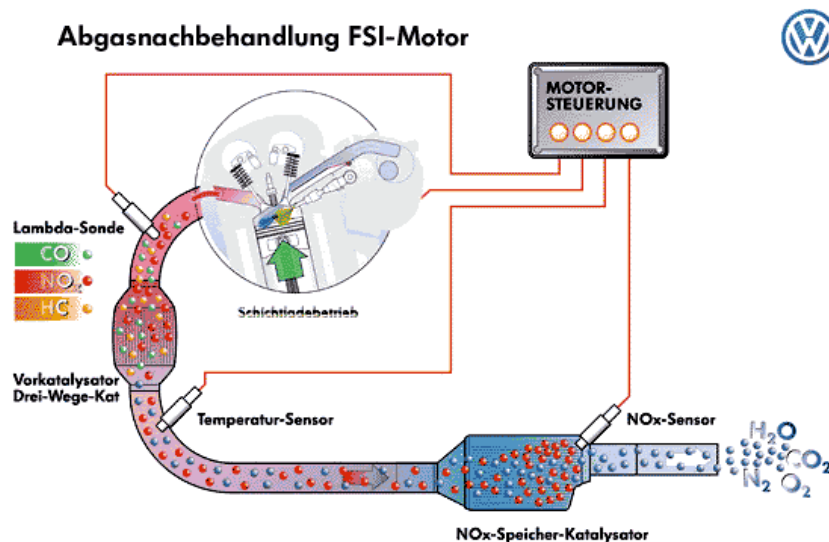
Nieuwe ontwikkelingen gaan echter al in de richting van het toepassen van 'stratified charge' in een groter gedeelte van het werkgebied van de motor, zodat de verbruiksvoordelen nog groter kunnen zijn [Fortschritt-Berichte VDI 21: 2]. Een dergelijk type motor is al sinds eind 1999 op de markt in Japan.

Een nadeel van arme mengsels is echter een hogere NO_x productie door de hogere verbrandingstemperaturen en het hogere zuurstofgehalte ten opzichte van stoichiometrische mengsels. Onder invloed van deze hogere temperaturen reageren namelijk de in de lucht aanwezige stikstof en zuurstof gemakkelijker tot stikstofoxiden. Daarnaast werken conventionele 3-weg katalysator systemen niet meer m.b.t. NO_x . NO_x -reductie vindt in een conventionele katalysator enkel plaats bij $\lambda \leq 1$ terwijl de arm mengsel motoren juist bij $\lambda > 1$ verbruikmatig optimaal presteren. Om derhalve dit type motor aan de huidige Euro 3 en de toekomstige Euro 4 emissie-eisen te kunnen laten voldoen zonder dat dit ten koste gaat van de verbruiksvoordelen, dient er extra nadruk te worden gelegd op de uitlaatgasnabehandeling. De technologie die momenteel het meest wordt genoemd onder de autofabrikanten, is de NO_x -opslagkatalysator. Deze zwavelgevoelige techniek, wordt onder andere al toegepast op enkele in Japan al op de markt leverbare auto's met DI 'lean burn'-motoren [Koseki et. al, 2000], omdat in Japan het zwavelgehalte in de Ottobrandstof reeds ruim voor 2000 al laag was (<90 ppm).

D.2.3 NO_x-opslagkatalysator

In de onderstaande figuur is te zien hoe een NO_x-opslagkatalysator (in combinatie met een conventionele 3-weg kat) is opgenomen in het uitlaat systeem van Volkswagen Lupo FSI [Fortschritt-Berichte VDI 21: 4].

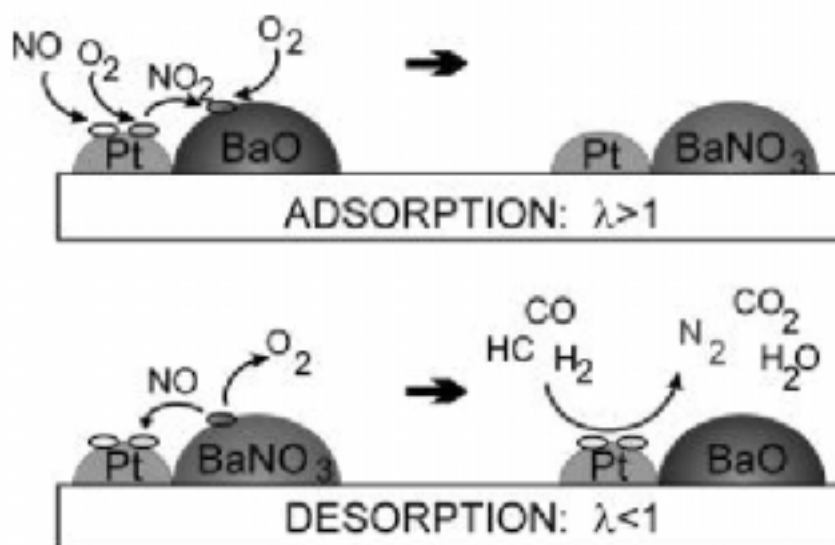
Figuur 5 Integratie van een driewegkatalysator (Drei-Wege-Kat) en een NO_x-opslagkatalysator (NO_x-Speicher-Katalysator) in het uitlaatsysteem van de Volkswagen Lupo FSI [Bron: Volkswagen]



De werking van deze NO_x-opslagkatalysator is als volgt [FEV, 2000; CONCAWE 1999c]:

Een NO_x-opslagkatalysator is voorzien van bariumoxide. De NO_x in het uitlaatgas reageert hiermee tot bariumnitraat. Na verloop van tijd zal het oppervlak van de katalysator verzadigd raken met bariumnitraat, waardoor de werking afneemt en de katalysator geregenereerd moet worden. Regeneratie vindt plaats door het verbrandingsmengsel enige tijd op rijk zetten, waardoor de motor koolmonoxide (CO) en onverbrande koolwaterstoffen (HC) produceert. De nitraten zullen vervolgens worden gedecomposeerd tot NO₂, dat vervolgens met de reactanten CO en HC zal reageren tot stikstof (N₂). Vervolgens kan een nieuwe NO_x-adsorptiecyclus beginnen.

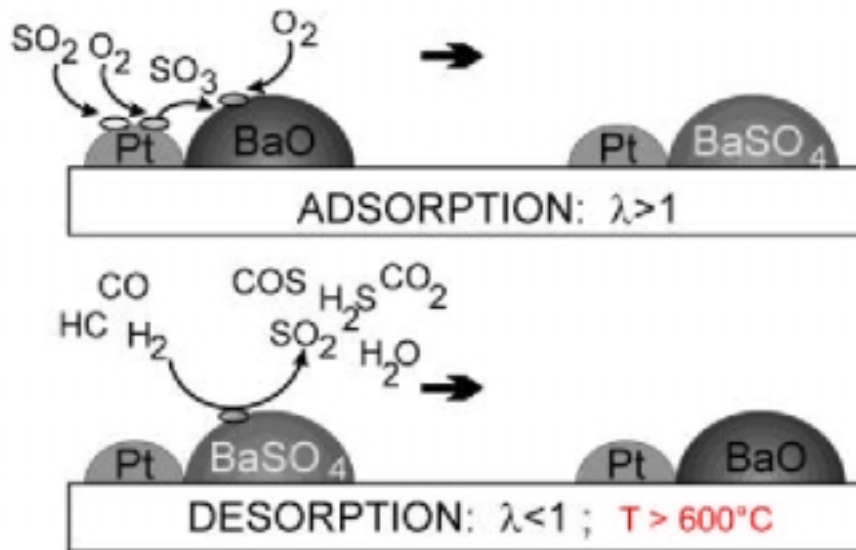
Figuur 6 Principe van een NO_x-opslagkatalysator [FEV, 1999]



Het verbruiksvoordeel van DI lean burn-motoren wordt, door het regelmatige regenereren dat onder rijke omstandigheden moet plaatsvinden voor een gedeelte teniet gedaan. Het regenereren van een NO_x-opslagkatalysator zal vaker moeten gebeuren indien de gebruikte brandstof een hoog zwavel gehalte heeft. Het bariumoxide zal dan namelijk bij voorkeur reageren met zwavel tot bariumsulfaat. Dit blokkeert vervolgens de opslag van stikstofoxiden. Het regenereren van het bariumsulfaat dient gedurende langere tijd op hoge temperaturen plaats te vinden. Deze regeneratie gaat niet alleen ten koste van een hoger brandstofverbruik, maar ook de emissies zullen in deze regeneratieperiode duidelijk verhoogd zijn. De bariumsulfaat regeneratie frequentie is veel lager dan de nitraat regeneratie en is direct afhankelijk van het zwavelgehalte in de brandstof. Het bariumsulfaat zal echter nooit geheel geregenereerd kunnen worden, waardoor de efficiëntie van de NO_x-opslagkatalysator nooit op het oorspronkelijke niveau kan terugkeren [FEV, 1999]. Voor een lange levensduur van dit type katalysator is het dus ook belangrijk dat er brandstof met een zo laag mogelijk zwavelgehalte wordt gebruikt.

In principe kan een NO_x-opslagkatalysator ook goed werken met 150 ppm of meer zwavel in de benzine, maar dan wordt het beoogde effect van 'lean burn' op het brandstofverbruik, in toenemende mate teniet gedaan door de toename van het aantal (rijke) regeneraties.

Figuur 7 Verontreiniging van een NO_x-opslagkatalysator door zwavel [FEV, 1999]



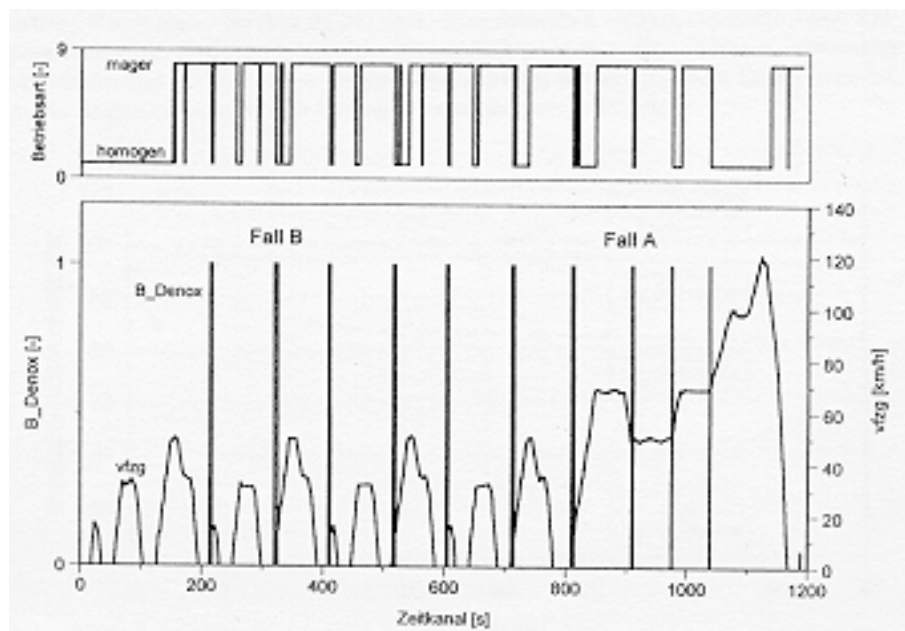
De initiatie van de regeneratie van de NO_x-opslagkatalysator, kan op verschillende manieren plaatsvinden:

- geprogrammeerd op basis van ervaringswaarden in combinatie met een aangenomen maximaal zwavelgehalte in de brandstof. Hierbij vindt geen feedback m.b.t. de werkelijke noodzaak tot regeneratie plaats (Mitsubishi GDI);
- gekoppeld aan de werkelijk gemeten NO_x-concentratie in de uitlaat, via een NO_x-sensor (VW FSI).

De eerste optie is niet adaptief t.a.v. van de werkelijke brandstofkwaliteit, waardoor een zekere marge moet worden ingebouwd, om ook bij relatief slechte brandstofkwaliteit de NO_x-eisen niet te overschrijden. Dit houdt in dat een dergelijk voertuig op market average brandstof (veelal wezenlijk lager zwavelgehalte dan EU. spec.) een lagere NO_x-emissie zal veroorzaken dan met EU spec. brandstof. Dit in tegenstelling tot een voertuig met regeneratie geregeld op basis van de gemeten NO_x-concentratie, waarbij de NO_x-emissie bij gebruik van elke brandstof kort tegen de limietwaarde zal aanliggen (95%), ten gunste van een zo laag mogelijk brandstofverbruik (klanten wens). In de praktijk zal dit neerkomen op een verhoging van de NO_x-emissie van ongeveer 20% ten opzichte van conventionele technologieën.

Dat het regenereren met enige regelmaat dient te geschieden (minuten) wordt geïllustreerd in de volgende figuur.

Figuur 8 Het bedrijf van de motor (bovenste grafiek, arm = mager, stoichiometrisch = homogen) en het regenereren van de NO_x-opslagkatalysator (onderste grafiek) van een Volkswagen Lupo FSI op de standaard MVEG cyclus (onderste grafiek) [Fortschritt-Berichte VDI 21: 4]



Laagzwavelige brandstof is dus faciliterend voor NO_x-opslagkatalysatoren die op hun beurt weer faciliterend zijn voor DI lean burn-motoren die voldoen aan de toekomstige emissiewetgevingseisen.

Wat opvalt is dat Japanse autofabrikanten tot op heden een duidelijke voortrekkersrol op het gebied van DI-motoren hebben. Deze rol wordt gefaciliteerd door het gemiddelde lage zwavelgehalte in Japanse benzines van 35 ppm c.q. 90 ppm [CONCAWE, 1999b] reeds tijdens de Europese Euro II periode. Hierdoor kunnen DI lean burn-motoren in combinatie met NO_x-opslagkatalysatoren in Japan de aldaar geldende emissienormen halen. Hoewel de emissiewetgeving in Japan en in Europa niet goed met elkaar vergeleken kunnen worden, vanwege de verschillende gehanteerde testprocedures [CONCAWE, 1999b], kan wel worden gesteld dat beide emissiewetgevingen een vergelijkbare 'zwaarte' hebben.

D.3 Diesel

D.3.1 Inleiding

Diesel motoren werken op basis van hun fundamentele verbrandingsprincipe altijd 'lean' en met een niet homogeen mengsel. Deze vorm van mengselvorming geeft aanleiding tot verhoogde NO_x-vorming en de vorming van deeltjes. Oplossingen ter verlaging van deze emissies waren beperkt, omdat geen lean NO_x-reductietechnieken en deeltjesfilters ter beschikking stonden. Enkel toepassing van oxicat's, EGR (uitlaatgasrecycling) en het beter verstuiwen van de brandstof werden ingezet, om de emissies van resp. NO_x en deeltjes enige tientallen procenten te verlagen. Met het oog op deze tot dusverre beperkte mogelijkheden, zijn de emissie limieten voor dieselveertuigen (met name HD), tot op dit moment minder streng geweest dan voor benzinevoertuigen.

Wat betreft diesel motoren zal de toekomst volledig weggelegd zijn voor de direct ingespoten motor, die ongeveer 15% zuiniger is dan de indirect ingespoten variant [FEV, 1999]. Momenteel kan aan de huidige emissie-eisen worden voldaan zonder toepassing van NO_x-katalysatoren of deeltjesfilters. Bij HD toepassingen zijn zelf geen oxicat's en EGR noodzakelijk. Echter de emissie-eisen voor 2005 maken mogelijkwerwijs het inzetten van deze technologieën noodzakelijk. Met name de emissies van NO_x en deeltjes zullen problemen veroorzaken. Waarschijnlijk zullen met name op zwaardere personenwagens en op vrachtwagens en bussen, alsnog geavanceerde nabe-handelingstechnologieën moeten worden toegepast. Hierbij wordt met name gedacht aan speciale partikel filters en DeNO_x-katalysatoren [FEV, 1999; Fortschritt-Berichte VDI 21, deel 2: 1 t/m 4; Lepperhoff, 2000; Richards, 2000; Khair, 2000; Klaver, 2000], maar ook de huidige oxicat's blijven een rol spelen.

Door de benodigde reductie van de totale deeltjes massa-emissies, is het aandeel in deze emissie, van het gevormde sulfaat uit de in de brandstof aanwezige zwavel, belangrijker geworden (zie volgende par.). Deze sulfaat-fractie is vrijwel lineair afhankelijk van het zwavelgehalte in de brandstof en kan enige tientallen procenten van de totale deeltjesmassa vertegenwoordigen.

Hierna worden de verschillende mogelijkheden tot emissiereductie bij dieselmotoren besproken.

D.3.2 Oxikatalysatoren

Ter beperking van de uitstoot van HC en CO van dieselmotoren worden bij personenauto's met name oxikat's toepast. Deze katalysatoren werken bij een arm mengsel en oxideren HC en CO in een overmaat zuurstof tot CO₂ en water. Als ongewenst neveneffect zetten oxikat's zwavel uit de brandstof in meer of mindere mate om in SO₃ (sulfaat). Dit sulfaat (vaste stof) wordt als deeltjesmassa meegewogen bij de deeltjesmassa emissiemeting. Huidige oxikat's zijn zo uitgelegd dat een deel van de mogelijke HC en CO oxidatie wordt opgeofferd aan een beperking van de SO₃ vorming. Bij het toepassen van laagzwaveligere brandstof kunnen de oxikat's worden uitgelegd op een optimalere omzetting van HC en CO. Verder beïnvloed het zwavelgehalte van de brandstof het verouderingsgedrag van de oxikatalysator.

D.3.3 Partikel filters

Om aan de toekomstige eisen m.b.t. de massa-emissie van deeltjes te voldoen zullen de emissies van deeltjes beperkt moeten worden. Er bestaan in principe twee verschillende systemen om de partikel emissie van dieselmotoren te beperken: met behulp van een actief filter of met behulp van een passief/continue regenererend filter.

D.3.4 Actief partikel filter

Een actief (moet actief worden geregenereerd) partikel filter wordt opgenomen in het uitlaatsysteem om deeltjes af te vangen en veroorzaakt daardoor met toenemende belading een hogere tegendruk waardoor het verbruik licht kan stijgen. Na enige tijd wordt het noodzakelijk om de partikels uit het filter



te verwijderen, regenereren, om de tegendruk weer op het gewenste niveau terug te brengen.

Het regenereren van deze filters zou automatisch plaatsvinden als het uitlaatgas gedurende langere tijd een voldoende hoge temperatuur ($>500^{\circ}\text{C}$) zou bereiken. Dit gebeurt echter enkel onder zeer hoge belastingen, waardoor deze vorm van regeneratie onder normale omstandigheden een onvoldoende betrouwbare manier is. De gemiddelde belasting staat onder praktijkomstandigheden niet garant voor de gewenste temperaturen. Het actief regenereren zal dus veelal geforceerd plaats moeten vinden. Er bestaan een aantal manieren om dit te doen [FEV, 1999; CONCAWE, 1999c]:

- 1 Het geforceerd toevoegen van extra hitte aan het uitlaatgas om de noodzakelijke uitlaatgastemperatuur te bereiken. Dit kan op een aantal manieren:
 - toepassing van een 'naverbrander';
 - elektrische opwarming van het filter.
- 2 Beïnvloeding van het verbrandingsproces (extra brandstof injectie).
- 3 Het verlagen van de benodigde regeneratie temperatuur door het gebruik van katalysatoren, een toevoeging (additive, Fuel Borne Catalyst) aan de brandstof of een speciale coating op het filter.
- 4 Spoelen van het filter in een collector waar de partikel emissie wordt opgeslagen of wordt verwijderd door elektrische verwarming.

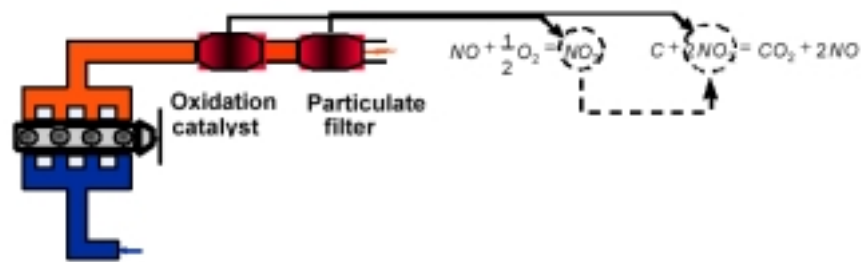
De type 1+2 filters worden momenteel als eerste toegepast op een personenauto door Peugeot. Het betreft een systeem dat het filter reinigt door beïnvloeding van het verbrandingsproces (na-inspuiting) in combinatie met een additief in de brandstof.

Een belangrijk aspect in de discussie over het zwavelgehalte van brandstoffen is het feit dat dit type filter ongevoelig lijkt te zijn voor het zwavelgehalte in de brandstof. Nadelig is echter dat het verbruik toeneemt en dat het eventueel extra systemen met zich meebrengt die extra inbouwruimte vergen, zoals het systeem dat de additief aan de brandstof moet toevoegen. Bovendien vragen methode 1 en 3 ook extra regelelektronica.

D.3.5 Passief/continue regenererend filter

Passieve of continue regenererende filters staan ook wel bekend als Continuously Regenerative Traps (CRT). Dit type filter werkt in principe hetzelfde als een actieve filter, alleen het regenereren geschiedt op een andere manier, namelijk continu. De verbranding van de partikels in het filter kan namelijk plaatsvinden op lagere temperaturen door toepassing van NO_2 in plaats van zuurstof als oxidant. Aangezien het gehalte NO_2 in het uitlaatgas vrij laag is (vooral NO), moet er vóór het filter een oxidatie katalysator worden geplaatst om de NO om te zetten in NO_2 . Dit is een continue proces, en er hoeft dus niet op intervallen geregenereerd te worden. Dit bespaart brandstof, de inbouwruimte voor het systeem is kleiner en er is geen complex regelsysteem nodig [FEV, 1999; CONCAWE, 1999c]. Echter door de inzet van een oxikatalysator neemt wel de sulfaatvorming toe. Hierdoor bestaat de deeltjes emissie na het filter vrijwel geheel uit sulfaten, waardoor de deeltjesemissies vrijwel uitsluitend door het zwavelgehalte in de brandstof worden bepaald.

Figuur 9 Werking van oxidatiekatalysator in combinatie met een CRT partikelfilter [FEV, 1999]



Verder heeft zwavel een nadelig effect op de werking van dit type filter, omdat ook hier de oxidatie van zwavel tot sulfaat een sterke voorkeur boven de oxidatie van NO naar NO₂, waardoor het filter snel dichtslibt met sulfaat. Het filter lijkt pas echt goed te functioneren bij een laag zwavelgehalte in de brandstof (minder dan 50ppm) [FEV, 1999; Fortschritt-Berichte VDI 21, deel 2: 4; Klaver, 2000].

D.3.6 DeNO_x-katalysatoren

Als gevolg van de steeds strenger wordende NO_x-emissie eisen voor dieselmotoren (in de huidige wetgeving worden diesels nog enigszins ontzien t.o.v. Ottomotoren), is het toepassen van EGR ter reductie van NO_x in de toekomst niet meer voldoende. DeNO_x-katalysatoren zullen dan ook op termijn bij diesel hun intrede gaan doen, ondanks het feit dat deze motoren vrijwel enkel onder 'arme' omstandigheden kunnen worden bedreven. De-NO_x-katalysatoren voor dieselmotoren zijn onder te verdelen in de volgende typen [FEV, 1999; CONCAWE, 1999c; Lepperhoff, 2000; Klaver, 2000].

Passieve DeNO_x-katalysator (oxidatie katalysator) die gebruik maakt van 'reducing agents' die al in het uitlaatgas aanwezig zijn. Veelal moet de samenstelling van de ruwe uitlaatgassen hierdoor veranderd worden (meer HC) ten koste van een verhoging van het brandstofverbruik. Dit type is al jaren in gebruik op personenauto's en werkt in principe ongeregeld en met relatief lage conversierendementen (<40%). Geregelde systemen zijn echter al in ontwikkeling, waar een hogere conversiegraad mee gerealiseerd kan worden. In combinatie met Common Rail inspuiting is het dan ook mogelijk om het inspuitmoment en de inspuihoeveelheid te regelen [Klaver, 2000] met het oog op voldoende HC in de uitlaatgassen. De verwachting is dat met dit type katalysator voor lichte voertuigen (tot 1.600 kg) de Euro 4 emissiegrenswaarden gehaald kunnen worden [FEV, 1999; Fortschritt-Berichte VDI 21, deel 2: 1].

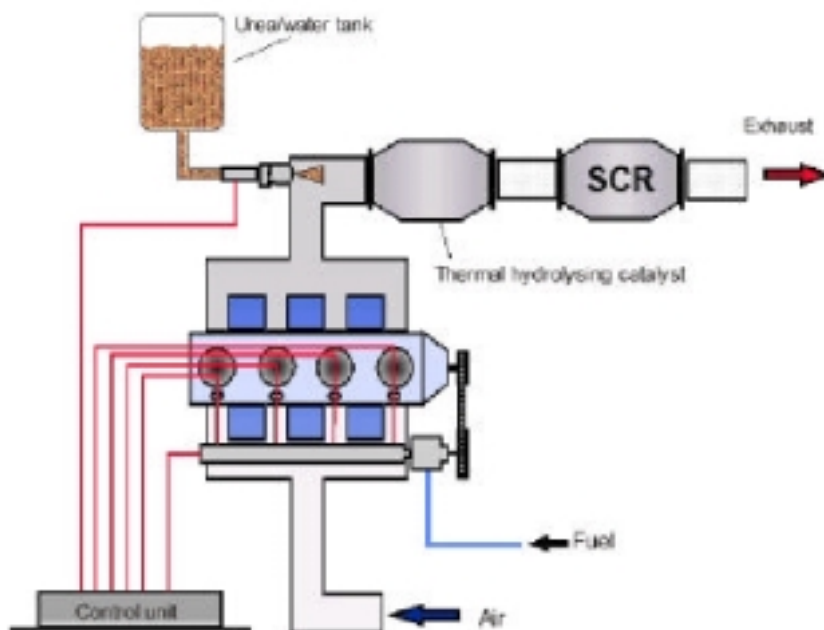
De werking van oxidatiekatalysatoren verbetert enigszins bij lagere zwavelgehaltes van de brandstof [Lepperhoff, 2000], waarbij deze katalysatoren beter geoptimaliseerd kunnen worden voor NO_x-reductie indien er minder rekening gehouden hoeft te worden met een lage sulfaat productie (bij veel zwavel in de brandstof).

Actieve DeNO_x-katalysator die gebruik maakt van koolwaterstoffen als 'reducing agent'. Deze worden veelal apart aan het uitlaatgas toegevoegd, met een hoger brandstofverbruik als nadeel (3 tot 10% hoger). Dit type DeNO_x-katalysator lijkt ook erg gevoelig voor het zwavelgehalte in de brandstof [FEV, 1999], hoewel andere bronnen dit weer tegenspreken [CONCAWE, 1999b].

Selective Catalytic Reduction (SCR) katalysator die gebruik maakt van een selectieve reductant, zoals ammonia (NH_3) dat wordt vrijgemaakt uit ureum. Het ureum dient apart in het uitlaatsysteem te worden geïnjecteerd. Er is dus een gecompliceerd regelsysteem en een speciale opslagtank voor de ureum nodig waardoor het systeem veel inbouwruimte vraagt en vrij kostbaar is. Als richtprijs wordt genoemd circa 5000 Euro [Klaver, 2000]. Hierdoor zal dit systeem voornamelijk zijn weg vinden naar vrachtwagens en eventueel naar zware personenauto's.

Het grote voordeel van dit systeem is echter de hoge conversie graad van zowel NO_x als CO en HC. Eerste tests met de toepassing SCR katalysatoren in combinatie met een CRT partikel filter op standaard vrachtwagenmotoren wijzen erop dat zelfs de voorgestelde Euro5 normen, vanaf 2008, al gehaald kunnen worden zonder verdere aanpassingen aan de motor [Fortschritt-Berichte VDI 21, deel 2: 4]. Daarnaast is de De NO_x werking van SCR systemen vrij ongevoelig voor het zwavelgehalte in diesel [FEV, 1999; CONCAWE, 1999c]. Echter in veel gevallen wordt alsnog een Oxicat toegevoegd aan het systeem, waardoor een soortgelijke gevoeligheid voor zwavel ontstaat als beschreven in de paragraaf 'oxicats'.

Figuur 10 SCR De NO_x -katalysator met urea injectie in het uitlaatsysteem [FEV, 1999]

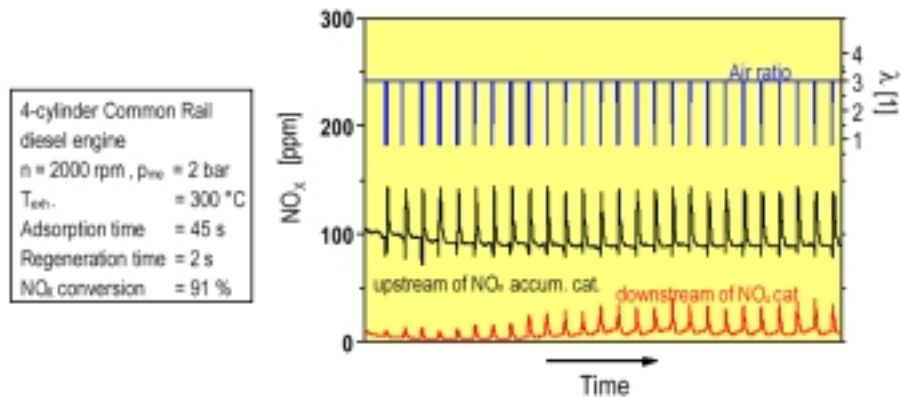


Het verbruik van ureum bedraagt ongeveer 1,5 liter per 100 kilometer voor vrachtwagens. De ureumvoorraad aan boord van het voertuig zal dan ook regelmatig aangevuld dienen te worden. Hiervoor moeten speciale voorzieningen worden getroffen op tankstations. Verwacht wordt dat SCR katalysatoren vanaf 2003 productierijp kunnen zijn [Klaver, 2000].

NO_x -opslagkatalysator in combinatie met een oxidatiekatalysator. De werking van een NO_x -opslagkatalysator is in het hoofdstuk Ottomotoren al beschreven. Juist bij dieselmotoren gaat de toepassing van dit soort katalysatoren in combinatie met hoge zwavelgehalten gepaard met significante toenames in brandstofverbruik. Het (kortstondig) verrijken van het mengsel zal bij een dieselmotor onherroepelijk tot (kortstondige) significante verhogingen van de deeltjesemissie leiden, waardoor de toepassing van een deeltjesfilter

noodzakelijk wordt. De toepassing van dit type op dieselloertuigen zal afhangen van de vraag of een bepaald type wel of niet de Euro 4 emissiegrenswaarden kan halen. De verwachting is dat toepassing alleen nodig zal zijn op zwaardere personenauto's (vanaf 1600 kg) [FEV, 1999; Fortschritt-Berichte VDI 21, deel 1: 1]. In de volgende figuur staat een voorbeeld van de intervallen waarmee de NO_x-opslagkatalysator op een dieselmotor wordt geregenereerd.

Figuur 11 NO_x-concentratie en lambda als functie van de tijd voor een 4-cilinder Common Rail dieselmotor [FEV, 1999]



E Penetratie technologieën bij verschillende introductiescenario's

E.1 Inleiding

Onder invloed van de beschikbaarheid van laagzwavelige brandstoffen, kunnen bepaalde technologieën in de markt geïntroduceerd worden. Om de emissiereductie te bepalen van de mogelijke versnelde ontwikkeling en marktintroductie van voertuigtechnologieën die zwavelarme brandstoffen nodig hebben, moet een inschatting worden gemaakt van de penetratie van deze technologieën in de markt. Introductie van de schonere brandstoffen in Nederland zijn daarvoor een voorwaarde, maar ook de brandstofontwikkelingen in buurlanden zoals Duitsland zal hierin een rol spelen.

Ten behoeve van het uitvoeren van berekeningen waarbij het aantal voertuigen en de daarmee afgelegde voertuigkilometers een rol spelen, is voor wat betreft deze gegevens gebruik gemaakt van actuele data t/m 1999, die voor de daaropvolgende jaren zijn geëxtrapoleerd op basis van een groei in de mobiliteit conform het European Coordination scenario [Bron CBS].

E.2 Benzinevoertuigen met Ottomotor

Als gevolg van de verlaging van het zwavelgehalte in de benzine kunnen andere type katalysatoren worden toegepast. Voor Ottomotoren betekend dit men niet langer enkel is aangewezen op de (zwavelongevoelige) 3-weg kat, maar ook het gebruik van NO_x-storage kat's wordt mogelijk (zie hoofdstuk 3). Door toepassing van deze katalyse technologie kunnen motoren worden gebruikt die een huidige en toekomstige emissie-eisen voldoen zonder stoichiometrische verbranding, ten gunste van een langer brandstofverbruik. De 'lean burn'-technologie vereist echter ook een geavanceerdere mengselvorming, waarbij directe injectie van brandstof onontbeerlijk is.

De gehanteerde technologiescenario's voor Ottomotoren (personenauto's) zijn dan ook gebaseerd op de introductie van direct geïnjecteerde motoren, al dan niet in combinatie met lean burn en een NO_x-opslagkatalysator.

DI-stoichiometrische motoren (wel DI, maar niet lean) kunnen worden gezien als een overgangstechnologie waarbij de DI technologie reeds in de praktijk wordt getest (met een beperkt verbruiksvoordeel). Afhankelijk van de beschikbaarheid van zwavelarme brandstof, zal het percentage (in tijd en/of voertuigen) dat lean (en dus extra zuinig) gereden, veranderen. Sommige fabrikanten leveren, voertuigen die enkel DI-stoich werken, andere leveren voertuigen die afhankelijk van de beschikbare brandstofkwaliteit in deellast lean of stoichiometrisch draaien. Bij de berekeningen is ervan uitgegaan dat de brandstofkwaliteit bepalend is of een DI voertuig lean of stoichiometrisch werkt en niet het motorontwerp. M.a.w. een voertuig dat ontworpen is om bij 50 ppm zwavel in de brandstof grotendeels lean te kunnen werken zal bij 150 ppm, zo weinig lean kunnen werken (door het veelvuldige regenereren) dat het zich zal gedragen als een stoichiometrisch DI voertuig (met maar 5% verbruiksvoordeel). Met 50 ppm zwavel zal de NO_x-opslagkatalysator nog steeds regelmatig geregenereerd dienen te worden, vandaar dat een DI lean voertuig in de praktijk niet het theoretisch maximaal mogelijke verbruiksvoordeel zal kunnen realiseren, maar een voordeel van circa 13%. Ook zal de NO_x-opslagkatalysator niet geheel in staat zijn alle door de motor extra

geproduceerde NO_x te verwijderen, waardoor de NO_x-emissie in de praktijk 20% hoger zal uitvallen in vergelijking met conventionele voertuigen. Voertuigen met DI lean-motoren zullen wel in alle gevallen voldoen aan de geldende emissienormen.

Voor Ottomotoren met directe injectie bestaat de algemene verwachting dat deze in de periode tot 2010 zullen gaan toegroeien naar een groot marktaandeel voor nieuw verkochte personenauto's. Elke grote autofabrikant is momenteel druk bezig met de ontwikkeling van dergelijke motoren en momenteel zijn de eerste typen al op de markt. Wellicht kan in dit verband een vergelijking worden getrokken met de introductie van direct ingespoten dieselmotoren, waarvan de eerste typen al begin jaren negentig op de markt verschenen. Inmiddels heeft elke grote fabrikant alle modelseries met een dergelijk type motor uitgerust. Bij de introductie van deze technologie werden echter (anders dan bij lean burn) geen additionele eisen aan de brandstoffen gesteld.

Omdat de DI en Lean-technologie ingrijpende veranderingen in de technische uitvoering van motoren met zich meebrengt, is de verwachting dat de omslag van Otto IDI naar DI/lean relatief geleidelijk zal plaatsvinden. Fabrikanten zullen deze nieuwe (en in de aanloopfase dure) technologie in eerste instantie in de duurdere modellen toepassen, om zo met een eerder beperkt aantal voertuigen in de praktijk ervaringen op te doen. Net als bij DI-diesel zal het ca. 10 jaar duren voordat het overgrote gedeelte (>90%) van de nieuwe verkopen over DI lean-technologie beschikt.

De volgende twee scenario's zijn voor Nederland 'Business As Usual'. De introductie van DI motoren voorafgaand aan de introductie van zwavelarme brandstof in 2005 zal geheel afhangen van de ontwikkelingen in het buitenland, en met name Duitsland en Japan.

NL 2005 Dpress

Indien laagzwavelige benzine in Duitsland niet populair wordt, zullen de investeringen van de autofabrikanten om DI (lean burn) vervroegd op de markt te brengen enigszins achterblijven, waardoor dit type langzaam op de markt komt. De Nederlandse uitvoeringen, die hoofdzakelijk stoichiometrisch werken, zullen daarom in Nederland slechts een lage penetratiegraad hebben.

NL 2005 Dopt

Indien laagzwavelige benzine in Duitsland populair wordt, onder andere door voldoende financiële prikkels vanuit de overheid, zullen de autofabrikanten meer modellen met directe injectie in combinatie met lean burn introduceren. Dit heeft als gevolg dat de varianten van deze DI voertuigen die niet (of vrijwel niet) lean burn werken, ook in grotere aantallen in Nederland op de markt zullen gaan komen. Het marktaandeel blijft echter nog steeds vrij laag.

Vanaf 2005 zal het marktaandeel van stoichiometrische DI motoren afnemen, aangezien door de komst van zwavelarme benzine DI lean burn-motoren mogelijk zijn geworden. Deze zullen dan ook in de periode 2006 tot 2010 sterk aan marktaandeel winnen. DI lean burn-motoren zullen toe groeien naar een marktaandeel van 85% in 2010.

Zodra in Nederland ook zwavelarme benzine te koop is, zal de introductie van stoichiometrische DI-motoren vóór 2005 stagneren ten faveure van DI lean burn-motoren. In het kader van dit onderzoek is gekozen voor 2 introductiedata van 2005 kwaliteit benzine, te weten: 1 november 2001 (gelijktijdig met Duitsland) en 1 juni 2003. Voor beide data wordt een optimistische en een pessimistische variant gehanteerd, teneinde een bandbreedte aan te



kunnen geven van de verwachte effecten op wagenparkniveau, aangezien de toekomstige introductie van nieuwe typen motoren altijd met veel onzekerheden omgeven is.

In alle gevallen echter wordt verondersteld dat de marktaandelen van DI lean burn-motoren na 2005 gelijk zijn aan de 'NL 2005' scenario's. De vervroegde introductie in Nederland van 2005 brandstoffen zal alleen het effect hebben dat de voordelen van technologieën die elders ontwikkeld zijn, in Nederland al van toepassing kunnen worden. Het zal niet zo zijn dat door een vervroegde introductie de autofabrikanten speciaal voor de Nederlandse markt versneld nieuwe typen motoren op de markt gaan brengen. De Nederlandse markt is toch relatief klein.

NL 2001 pess

De stoichiometrische DI-motor zal in dit scenario niet of nauwelijks aan terrein winnen, aangezien al vrij snel, vanaf 2002, de penetratie van DI-motoren wordt overgenomen door de lean burn-variant. Deze zal langzaam aan marktaandeel winnen en uiteindelijk gelijklopen met de ontwikkeling in de NL-2005 scenario's.

NL 2001 opt

De groei van normale DI motoren zal zich in dit scenario iets verder doorzetten, maar zal na 2002 al snel overgenomen worden door het snel toeneemende marktaandeel van DI lean burn-motoren. De uiteindelijke ontwikkeling zal gelijk lopen met de ontwikkeling in de NL-2005 scenario's.

NL 2003 pess

Gelijk aan Nederland 2001, pessimistisch, maar met het verschil dat de 2005 brandstofkwaliteit pas half 2003 wordt geïntroduceerd.

NL 2003 opt

Gelijk aan Nederland 2001, optimistisch, maar met het verschil dat de 2005 brandstofkwaliteit pas half 2003 wordt geïntroduceerd.

In alle scenario's is het marktaandeel van DI stoichiometrisch plus het marktaandeel van DI lean gelijk, vanwege het feit dat de introductie van DI motoren als een autonome ontwikkeling kan worden beschouwd (vooral bepaald door de ontwikkelingen in Duitsland en Japan), en Nederlandse beslissingen betreffende de brandstofkwaliteit alleen invloed hebben op de 'trade-off' tussen DI stoichiometrisch en DI lean in het Nederlandse wagenpark.

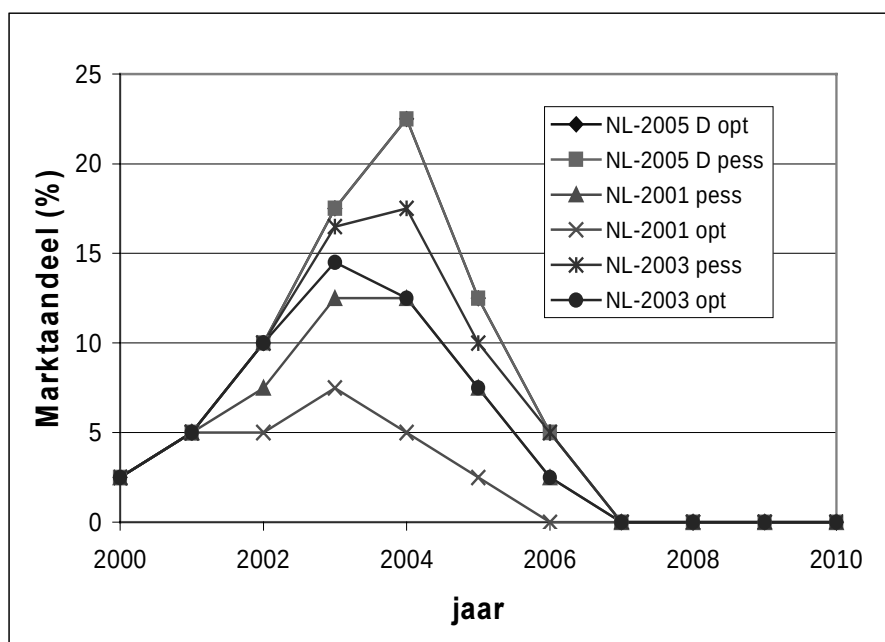
In de volgende figuren en tabellen zullen de introductie scenario's worden verduidelijkt.

Tabel 11 Marktaandelen (% van nieuwverkochte benzinevoertuigen per jaar) stoichiometrische direct geïnjekteerde benzine voertuigen

Jaar:	NL-2005 pess	NL-2005 opt	NL-2001 pess	NL-2001 opt	NL-2003 pess	NL-2003 opt
2000	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
2001	5	5	5	5	5	5
2002	10	10	7.5	5	10	10
2003	17.5	17.5	12.5	7.5	16.5	14.5
2004	22.5	22.5	12.5	5	17.5	12.5
2005	12.5	12.5	7.5	2.5	10	7.5
2006	5	5	2.5	0	5	2.5
2007	0	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	0	0
2009	0	0	0	0	0	0
2010	0	0	0	0	0	0

N.B.: het betreft de percentages marktaandeel op de *benzinevoertuigen* markt.

Figuur 12 Marktaandelen (% van nieuwverkochte benzinevoertuigen per jaar) stoichiometrische direct geïnjekteerde benzine voertuigen

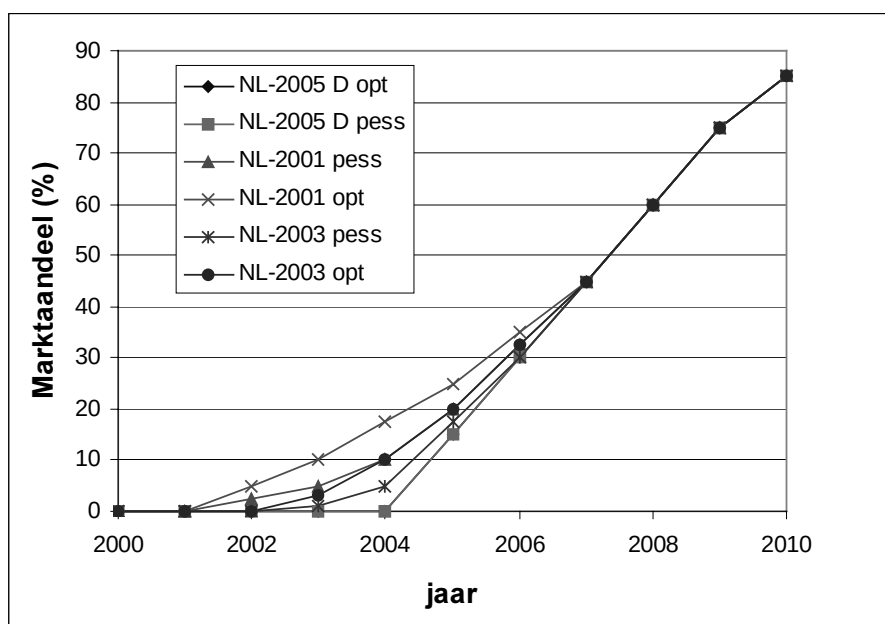


Tabel 12 Marktaandelen (% van nieuwverkochte benzinevoertuigen per jaar) direct geïnjecteerde lean burn-benzinevoertuigen

Jaar:	NL-2005 pess	NL-2005 opt	NL-2001 pess	NL-2001 opt	NL-2003 pess	NL-2003 opt
2000	0	0	0	0	0	0
2001	0	0	0	0	0	0
2002	0	0	2.5	5	0	0
2003	0	0	5	10	1	3
2004	0	0	10	17.5	5	10
2005	15	15	20	25	17.5	20
2006	30	30	32.5	35	30	32.5
2007	45	45	45	45	45	45
2008	60	60	60	60	60	60
2009	75	75	75	75	75	75
2010	85	85	85	85	85	85

N.B.: het betreft de percentages marktaandeel op de benzinevoertuigenmarkt.

Figuur 13 Marktaandelen (% van nieuwverkochte benzinevoertuigen per jaar) direct geïnjecteerde lean burn-benzinevoertuigen



E.3 Dieselloertuigen

E.3.1 Personenauto's

Bij dieselmotoren zijn de technologieën die door 2005 brandstofkwaliteit kunnen worden gefaciliteerd, bedoeld om emissies van met name NO_x en deeltjes te beperken.

Anders dan bij Ottomotoren is er voor de consument geen direct voordeel merkbaar bij de introductie van nieuwe technologieën (Otto DI heeft verbruiksvoordelen). Hierdoor zal de Nederlandse koper (via zijn aankoopgedrag) geen impuls aan de industrie geven tot de vervroegde introductie van Euro IV voertuigen.

In Duitsland is dit echter wel het geval, onder invloed van de Duitse stimuleringsregeling via de wegenbelasting, voor voertuigen die vroegtijdig aan de Euro IV eisen voldoen. Omdat de in Nederland verkochte voertuigen, veelal voor de Duitse markt ontwikkeld zijn, zal een penetratie van deze schonere technieken in het Nederlandse wagenpark automatisch plaatsvinden, afhankelijk van de marktontwikkeling in Duitsland. Deze D4 regeling heeft enkel betrekking op personenauto's.

De benodigde ontwikkelingen omwille van het behalen van de Euro IV (D4) emissie-eisen betreffen met name de NO_x en deeltjes uitstoot. Voor Light Duty voertuigen zullen deze ontwikkelingen voor het merendeel van het toekomstige wagenpark te behalen zijn door incrementele verbeteringen aan huidige technologieën. Hierdoor zullen de emissies van gefaciliteerde Euro IV voertuigen een soortgelijke marge hebben tot de limietwaarde dan dit bij Euro III voertuigen het geval is. Slechts in uiterste gevallen zullen NO_x-adsorbers of partikelfilters noodzakelijk zijn, en dan voornamelijk op de zwaardere typen voertuigen. In de scenario's zijn voor deze (kleine) laatste categorie geen afwijkende aannames gedaan.

Wat wel het geval is dat laagzwavelige diesel het voor de fabrikanten veel gemakkelijker maakt om voorafgaand aan 2005 al voertuigen op de markt te brengen die al aan de Euro IV normen voldoen. Een forse verlaging van het zwavelgehalte leidt namelijk direct tot een forse verlaging van de sulfaat deeltjes emissie, die in de oxidatiekatalysator wordt gemaakt. Vervroegde introductie van 2005 brandstofkwaliteit faciliteert dus een vervroegde introductie van Euro IV voertuigen. De door TNO gehanteerde scenario's voor de modelberekeningen voor aldus gefaciliteerde dieselpersonenauto's zien er als volgt uit.

NL 2005 Dpress en Dopt

Door het hoge zwavelgehalte van diesel in Nederland, zal hier het aantal voertuigen dat al aan Euro 4 voldoet laag zijn. De situatie in Duitsland zal hier weinig tot geen effect op hebben. Pas vanaf 2004 is er een sterke stijging te zien, en vanaf 2005 voldoet natuurlijk ieder nieuw voertuig aan de Euro 4 normen.

NL 2001 en 2003, pessimistisch en optimistisch

Zodra vanaf november 2001 of vanaf juni 2003 in Nederland zwavelarme diesel leverbaar wordt, zal ook het aandeel Euro 4 voertuigen hierdoor toenemen in de periode tot 2005. Hiervoor is voor beide introductiedata een optimistisch en een pessimistisch introductiescenario voor aangenomen.

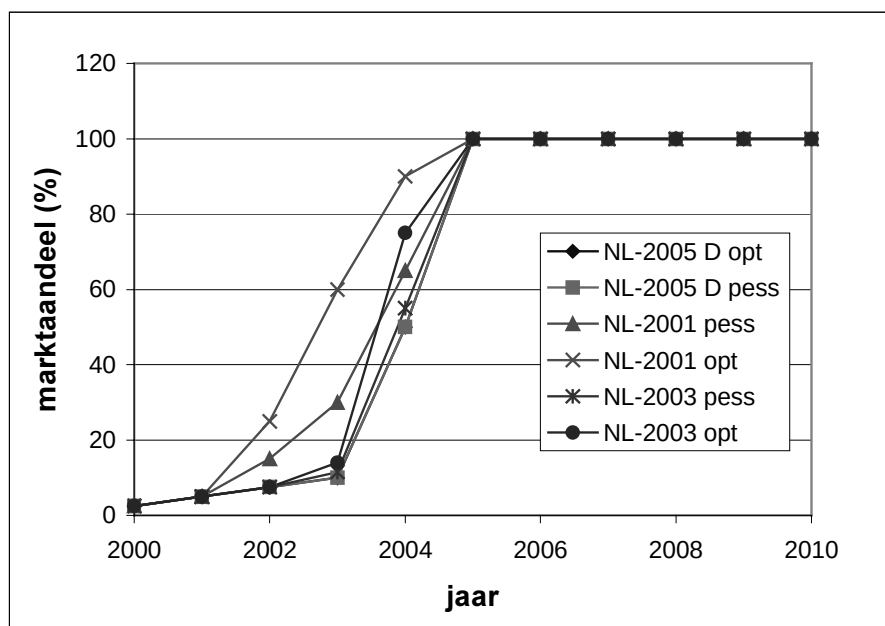


Tabel 13 Marktaandelen (% van nieuwverkochte dieselpersonenauto's per jaar) dieselpersonenauto's die voldoen aan Euro 4

Jaar:	NL-2005 D- pess	NL-2005 D- opt	NL-2001 pess	NL-2001 opt	NL-2003 pess	NL-2003 opt
2000	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
2001	5	5	5	5	5	5
2002	7.5	7.5	15	25	7.5	7.5
2003	10	10	30	60	11.5	14
2004	50	50	65	90	55	75
2005	100	100	100	100	100	100
2006	100	100	100	100	100	100
2007	100	100	100	100	100	100
2008	100	100	100	100	100	100
2009	100	100	100	100	100	100
2010	100	100	100	100	100	100

N.B.: het betreft de percentages marktaandeel op de *diesel*voertuigen markt.

Figuur 14 Marktaandelen (% van nieuwverkochte dieselpersonenauto's per jaar) dieselpersonenauto's die voldoen aan Euro 4



E.3.2 Heavy Duty

Voor Heavy Duty (HD) toepassingen is laagzwavelige diesel voornamelijk een voorwaarde voor toepassing van bepaalde typen partikelfilters en SCR de-NO_x. Ook hier zijn er geen directe financiële voordelen te behalen voor de gebruikers. Sterker nog: er kan een geringe toename van het brandstofverbruik optreden, terwijl de bedrijfszekerheid mogelijk minder wordt (door de introductie van geavanceerde additionele componenten). Daarnaast zijn de bedoelde technieken relatief kostbaar. Omdat brandstofverbruik en bedrijfszekerheid de belangrijkste criteria zijn voor een HD voertuig, zullen gebruikers niet eerder dan wettelijk noodzakelijk overgaan tot de aanschaf en het gebruik van deze technologieën: de fabrikanten zullen in de loop van 2004 met Euro IV voertuigen op de markt komen, ter vervangingen van hun

Euro III typen. Er gaat dus in principe geen faciliterende werking uit van vervroegde introductie van 2005 brandstofkwaliteit voor HD.

Echter, indien de Nederlandse overheid besluit om via stimuleringsregelingen transportbedrijven er toe te bewegen eerder dan wettelijk verplicht met Euro IV technologie te gaan rijden, dan bestaat de kans op een beperkte voortijdige introductie. Het Ministerie van VROM denkt in dit kader via de SELA regeling een bijdrage te kunnen leveren. Het betreft hier toepassing van continue regenererende deeltjesfilters zowel voor retrofit als voor nieuwe vrachtwagens. Voor de berekeningen is geen onderscheid gemaakt tussen beide genoemde opties. Aangenomen is dat in de optimistische scenario's maximaal 10% (eind 2004) van de voertuigkilometers met CRT uitgeruste voertuigen wordt gereden. Hierbij zijn deze voertuigkilometers verdeeld over de wegtypen, zoals dat ook bij het gemiddelde HD park het geval is (hoewel CRT met name in de stad grote voordelen kan bieden). Vervolgens is er in de berekeningen van uitgegaan dat een CRT de deeltjesemissie met 80% beperkt.

In de volgende tabel wordt dit introductiescenario verduidelijkt.

Tabel 14 Voertuigkilometers (% van totaal) Heavy Duty diesel voertuigen met CRT via incentive

Jaar:	NL-2005 D-pess	NL-2005 D-opt	NL-2001 pess	NL-2001 opt	NL-2003 pess	NL-2003 opt
2000	0	0	0	0	0	0
2001	0	0	0	0	0	0
2002	0	0	0	5	0	0
2003	0	0	0	7.5	0	2.5
2004	0	0	0	10	0	7.5

F Aanpak modelsimulaties

Om voorspellingen te doen over emissies van het Nederlandse voertuigpark wordt door TNO-WT gebruik gemaakt van een bepaalde methodiek. Deze methodiek bestaat het koppelen van emissies van verschillende voertuigtypen aan de vervoersprestaties van die voertuigen. Hiertoe maakt TNO gebruik van een tweetal modellen: VERSIT (Verkeers Situatie Model) en het Nederlandse Park Model. De methodiek achter beide modellen is hierna beschreven.

F.1 VERSIT

VERSIT is een model dat in staat is op basis van voertuigparameters de emissies onder specifieke gebruiksomstandigheden te berekenen.

De input in het model wordt verzorgd vanuit het Nederlandse Steekproefcontroleprogramma, waarin jaarlijks de emissies van ca. 150 personenauto's en 30 vrachtwagens bepaald worden. Dit testprogramma wordt sinds 12 jaar verricht en geeft zodoende informatie m.b.t. alle typen voertuigen die op dit moment op de Nederlandse wegen rijden. De geteste voertuigen worden onderscheiden naar o.a. Emissieklasse, bouwjaar, gewicht, type motor, type brandstof enz. De emissies van de voertuigen worden bepaald tijdens het rijden op een rollenbank van een typekeurings testcyclus (en enige aanvullende typen ritten). Hierbij worden alle voertuigen getest op market average brandstof, voor de betreffende emissieklasse. Op basis van de verkregen meetgegevens worden vergelijkingen opgesteld, welke het emissiegedrag van de verschillende typen voertuigen onder verschillende praktijkomstandigheden beschrijven. Hierbij wordt in grote lijnen onderscheid gemaakt in stad, buitenweg en snelweg gebruik, maar ook andere ritten kunnen worden gemodelleerd.

Om met behulp van VERSIT berekeningen aan toekomstige voertuigen te kunnen verrichten, zijn aangepaste vergelijkingen opgesteld. De aangepaste vergelijkingen baseren veelal op de vastgestelde vergelijkingen voor de meest recente emissieklasse. In deze vergelijkingen worden de verwachte wijzigingen in emissies en brandstofverbruik als gevolg van wijzigen in technologie gemodelleerd.

F.2 Nederlandse Park Model

Ten behoeve van het vaststellen van de emissies en het brandstofverbruik van het gehele Nederlandse wagenpark is door TNO een parkmodel opgesteld. Dit model bevat de vervoersprestaties van alle Nederlandse voertuigen. Deze vervoersprestaties zijn ingedeeld in verschillende categorieën die zijn afgestemd op de onderscheiden categorieën in VERSIT. Dus ook in het parkmodel wordt onderscheid gemaakt in type voertuig, emissieklasse enz. Per categorie zijn de jaarlijkse vervoersprestaties vastgesteld. Dit gebeurt aan de hand van data van het Nederlandse CBS. Op basis van deze data zijn voor elke voertuigcategorie uit VERSIT per jaar de kilometrages op de verschillende typen wegen in het parkmodel opgenomen. Hierbij wordt ook rekening gehouden met het feit dat met verschillende typen voertuigen verschillend gereden wordt (nieuwere auto's meer op de snelweg bijvoorbeeld).

Voor het berekenen van vervoerspresaties in de toekomst, zijn door TNO aannames gedaan betreffende de groei van de mobiliteit op basis van het European Coordination scenario. Deze aannames leiden tot bepaalde toenames in de mobiliteit en de hoeveelheid te vervoeren goederen. Hieruit volgen toenames in voertuigkilometers en aantallen voertuigen.

F.3 Koppeling VERSIT-NPM

Omwille van het vaststellen van de emissies van het totale Nederlandse wagenpark op een bepaald moment, worden beide modellen aan elkaar gekoppeld. Hierbij wordt (automatisch via een macro) voor elk type voertuig, voor elk gebruikspatroon en het daarbijbehorende jaarkilometrage, de jaarlijkse emissie berekend. Al deze emissies worden gesommeerd tot jaarlijkse emissies van het Nederlandse wagenpark per emissiecomponent. Verder wordt het totale jaarlijkse brandstofverbruik berekend.



G Financiële waardering van emissies

G.1 Inleiding

De luchtverontreinigende emissies die het wegverkeer uitstoten hebben een groot aandeel in de landelijke emissies en luchtvervuiling. Het wegverkeer veroorzaakt daardoor ook schadelijke effecten die door luchtvervuiling worden veroorzaakt. Ozon, dat wordt gevormd door koolwaterstoffen en stikstofoxiden onder invloed van zonlicht, en kleine deeltjes (PM₁₀, deeltjes die kleiner zijn dan 10 µm) worden gezien als de belangrijkste luchtverontreinigende stoffen die leiden tot nadelige gezondheidseffecten bij de bevolking. Daarbij spelen zowel effecten door kortlopende hoge concentraties (smog) als chronische blootstelling aan lage concentraties over heel Nederland een rol. Naast de schadelijke gevolgen voor de gezondheid, veroorzaken emissies van verkeer ook nadelige effecten op de natuur door de depositie van verzurende stoffen en door ozon [CBS, 2000b].

Om de gezondheidsrisico's voor de mens te minimaliseren, zijn normen voor de luchtkwaliteit in Nederland vastgesteld. Als concentraties nog niet voldoen aan deze normen, zullen er in elk geval maatregelen moeten worden uitgevoerd om de emissies terug te brengen. De normen zijn voor sommige stoffen zo vastgesteld, dat de gezondheidseffecten nihil of verwaarloosbaar zijn als eraan wordt voldaan. Het verder verlagen van de concentraties van deze stoffen levert dan verder (vrijwel) geen baten op. Bij een aantal andere verontreinigende stoffen, zoals kleine deeltjes, bestaat er echter ook een aanwijsbaar gezondheidsrisico bij concentraties lager dan de norm. Het verder reduceren van deze emissies zal dan toch een positief effect op de gezondheid hebben.

Naast de emissies die de gezondheid van de mens schade toebrengen, stoot het wegverkeer in Nederland ook een grote hoeveelheid van het broeikasversterkende CO₂ uit. Een vermindering van het landelijke brandstofverbruik in het wegverkeer kan daarom ook bijdragen aan het bereiken van de doelstelling voor CO₂-reductie die in het Kyoto-protocol is overeengekomen.

Het vervroegd invoeren van schonere brandstoffen zal de schadelijke emissies in het verkeer verminderen, en ook het brandstofverbruik kan gereduceerd worden doordat zuinigere motortechnieken toegepast kunnen worden. Het gecompliceerdere raffinageproces zal echter meer energie vergen dan de huidige brandstoffen, wat een verhoging van de CO₂-uitstoot tot gevolg zal hebben. De vraag of de vervroegde introductie een kosteneffectieve maatregel is kan worden beantwoord door een financiële waardering van de positieve milieugevolgen af te wegen tegen de negatieve en de economische kosten die gemaakt moeten worden om deze effecten te bereiken.

In dit hoofdstuk zal op basis van bestaande literatuur een schatting gemaakt worden van de maatschappelijke effecten van de betreffende emissies. Deze effecten zullen worden uitgedrukt in een financiële waardering. Hierbij is zoveel mogelijk rekening gehouden met zowel de materiële kosten en baten, zoals de kosten van gezondheidszorg, als ook met de immateriële aspecten, bijvoorbeeld van menselijk leed ten gevolge van gezondheidsschade of voortijdige sterfte. In hoofdstuk 6 worden deze resultaten dan toegepast op

de berekende emissiereducties voor de beschouwde scenario's. Hieruit volgt dan een schatting van de kosteneffectiviteit van deze maatregel.

G.2 Effecten van voertuigemissies

De belangrijkste emissies van het verkeer zijn CO₂, NO_x (stikstofoxiden), PM₁₀ (kleine stofdeeltjes met een diameter < 10 micrometer), HC (koolwaterstoffen), SO₂ (zwaveldioxide) en CO (koolmonoxide). De potentieel schadelijke gevolgen van deze stoffen zijn divers, een beknopt overzicht is gegeven in Tabel 15. In deze tabel zijn zowel de effecten op het milieu en klimaat als ook de gezondheidseffecten bij de mens opgenomen. Voor de stoffen die gezondheidsschade veroorzaken zijn emissies binnen de bebouwde kom schadelijker dan buiten de bebouwde kom, dit is aangegeven in de laatste kolom.

Tabel 15 Overzicht van de milieueffecten van de meest schadelijke emissies van het wegverkeer [Dings, J. et al., 1999]

Emissie	Milieueffect	Gezondheidseffect	Extra schade binnen bebouwde kom?
CO ₂	Versterking broeikaseffect	-	nee
NO _x	verzuring, vermesting, ozonvorming (waardoor ook versterking broeikaseffect)	Direct (alleen NO ₂) en via ozonvorming	ja
HC	ozonvorming (waardoor ook versterking broeikaseffect)	Direct (door kankerverwekkende componenten) en via ozonvorming	ja
PM ₁₀	beperkte bijdrage aan ozonvorming	kankerverwekkend	ja
SO ₂	verzuring	alleen bij hoge concentraties	nee bij NL concentraties
CO	beperkte bijdrage aan ozonvorming	verstikking bij hoge concentraties	nee bij NL concentraties

In een aantal gebieden in Nederland worden de normen voor de ozonconcentratie en/of de concentratie van fijn stof overschreden. Overschrijdingen van de norm voor de ozonconcentratie vinden voornamelijk plaats gedurende een aantal dagen per jaar in het zuidoosten van het land. Hoge concentraties fijn stof worden voornamelijk gemeten in het zuiden en midden van het land. Daadwerkelijke overschrijdingen van de norm voor fijn stof vinden plaats in de randstad en in Zuid-Brabant. In grote steden treden daarnaast overschrijdingen van de normen voor NO₂-concentraties op.

Het wegverkeer is uiteraard niet de enige veroorzaker van luchtverontreinigingen en CO₂-uitstoot. Landbouw, industrie, de energiesector en huishoudens hebben ook hun aandeel. In Tabel 16 staan de aandelen van het wegverkeer in de luchtverontreinigende emissies in 1998 [CBS, 2000a]. Hierin valt op dat het wegverkeer een aanzienlijke bijdrage levert aan met name de uitstoot van NO_x, PM₁₀, HC en CO. Een reductie van deze emissies zal dan ook een duidelijk positief effect hebben op de luchtkwaliteit. Daarnaast wordt de luchtkwaliteit mede bepaald door buitenlandse emissiegebieden. De bijdrage van buitenlandse bronnen in de Nederlandse luchtkwaliteit kan, afhankelijk van de beschouwde stof en locatie, oplopen tot tweederde van de regionale concentratie.



Tabel 16 Aandeel wegverkeer in de luchtverontreinigende emissies in Nederland, 1998

CO ₂	NO _x	PM ₁₀	HC	SO ₂	CO
16%	41%	31%	35%	4,2%	55%

Bron: CBS, 2000

De verwachting is dat de invoering van schonere brandstoffen gevolgen zal hebben voor de totale uitstoot van het wagenpark en de raffinaderijen. In de volgende paragraaf zal een inschatting worden gemaakt van de te verwachten baten bij emissiereducties in het wegverkeer, in paragraaf G.4 zal dit verder worden uitgewerkt zodat een financiële waardering van deze baten bepaald kan worden.

G.3 Financiële waarderingmethoden

De financiële waardering van emissies kan in het algemeen op drie manieren worden uitgevoerd, die allen hun voor- en nadelen hebben:

- **Schadetekosten**
De waarde van de veroorzaakte schade wordt bepaald, bijvoorbeeld van de schade aan de gezondheid van mensen, aan gebouwen en landbouw, of door waardedaling van onroerend goed
- **Preventiekosten**
De kosten die de maatschappij maakt om de emissies te reduceren of te vermijden. Dit zijn bijvoorbeeld de kosten van maatregelen om aan de Kyoto-doelstelling van CO₂-reductie te voldoen.

Schadetekosten van emissies zijn vaak erg moeilijk te kwantificeren. Diverse studies zijn uitgevoerd om zowel de directe schadetekosten als ook de indirecte kosten te bepalen. Directe schadetekosten zijn bijvoorbeeld de kosten van de gezondheidszorg voor ziekten die gerelateerd zijn aan luchtvervuiling veroorzaakt door verkeer maar ook productieverlies door (tijdelijk) uitvallen van de werknemer. Indirecte schadetekosten betreffen bijvoorbeeld het leed veroorzaakt door ziekte of sterfgeval. Strikt genomen is deze methode, mits correct uitgevoerd, het meest geschikt om de kosteneffectiviteit van een maatregel te bepalen.

Bij het vaststellen van schaduw prijzen op basis van preventiekosten wordt uitgegaan uit van de kosten die gemaakt moeten worden om aan een bepaalde overheidsdoelstelling te voldoen. Er is dan een pakket maatregelen nodig, elk met hun kosten om een bepaalde reductie te bereiken. De duurste maatregel die moet worden uitgevoerd om de norm te halen (in €/kg emissiereductie) bepaalt de schaduw prijs. Een maatregel is dan kosteneffectief als de specifieke reductiekosten lager zijn dan de deze schaduw prijs. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de overheid een zorgvuldige kosten-baten afweging heeft gemaakt bij het bepalen van de doelstelling of norm.

Doordat de kennis over de gevolgen van emissies op de gezondheid en over de mogelijke gevaren van het versterkte broeikaseffect op het klimaat steeds toenemen, vertonen de schaduw prijzen van een aantal stoffen een stijgende trend. Daarnaast neemt de tolerantie voor effecten als onveiligheid en overlast af met het welvaartsniveau, wat resulteert in een stijgende financiële

waardering. Schaduwprijzen moeten dan ook gezien worden als indicatie voor de financiële waardering op een bepaald moment.

G.4 Waardering NO_x, HC, SO₂, CO

Deze vier emissies hebben alle als kenmerk dat ze een heel complex van milieueffecten veroorzaken. Dit zijn:

- gezondheidsschade bij hoge concentraties (allemaal);
- ozonvorming ofwel zomersmog (NO_x, HC en CO);
- versterking broeikaseffect via ozonvorming (NO_x, HC en CO);
- zure regen (NO_x en SO₂).

Om deze reden is het lastig om deze emissies te waarderen op basis van schadekostenramingen. In een recente CE-studie [Dings et al., 1999] zijn schaduwprijzen van NO_x, HC en SO₂ dan ook geraamd op basis van preventiekosten. Voor deze emissies zijn immers reductiedoelstellingen vastgelegd in nationale en internationale beleidsplannen zoals het nationale NMP3 en de Europese NEC (National Emission Ceilings). Het beschikbare materiaal over marginale preventiekosten om deze doelstellingen te halen leidt tot redelijk vergelijkbare resultaten.

Een uitzondering is CO. Bij deze stof worden de luchtkwaliteitsdoelstellingen in het algemeen ruimschoots gehaald; er zijn dan ook geen studies beschikbaar naar ramingen van schade- of preventiekosten van CO. Om deze reden wordt de schaduwprijs van CO in de meeste studies impliciet op 0 verondersteld. Dit lijkt echter geen goede benadering omdat CO ook bijdraagt aan ozonvorming en versterking van het broeikaseffect. Tevens zou het betekenen dat het milieubaten oplevert om CO in plaats van CO₂ uit te stoten, hetgeen ook weinig plausibel is. Daarom hebben we voorlopig een schaduwprijs van CO buiten de bebouwde kom aangehouden van 0,1 euro per kg (gelijk aan de hoge waardering van CO₂) en hebben we binnen de bebouwde kom een opslag gehanteerd tot 0,5 euro per kg.

G.5 Waardering CO₂

De milieueffecten van CO₂-emissie zijn dermate complex dat een schadekostenbenadering niet tot zinvolle uitkomsten kan leiden. Daarom moeten we ook voor deze emissie onze toevlucht nemen tot de preventiekostenbenadering. Relevant in dit verband is de reductiedoelstelling (-5,2%) die de geïndustrialiseerde landen in december 1997 in Kyoto hebben afgesproken. De schaduwprijs van CO₂ is in [Dings et al., 1999] vastgesteld op basis van het pakket maatregelen dat in de Uitvoeringsnota Klimaatverandering is voorgesteld om aan deze Kyoto-doelstellingen te voldoen. Dit leverde een middenschatting (basisvariant) van 50 €/ton CO₂ op. Omdat deze prijs voor CO₂ in het algemeen als tamelijk onzeker wordt beschouwd nemen we in deze studie een boven- en een onderwaarde van 30 resp. 100 euro per ton mee.

G.6 Waardering PM₁₀

G.6.1 Nieuwe inzichten

In deze studie hebben we de waardering van deeltjesemissie gebaseerd op recente inzichten omtrent de gezondheidsschade van deze emissies. Recentelijk is een drietal studies verschenen die een nader licht werpen op de schade die veroorzaakt wordt door deeltjes (PM₁₀)



De eerste is een studie van de Universiteit van Wageningen [Brunnekreef] naar de luchtwegklachten van kinderen die naar scholen gaan die dicht bij snelwegen gelegen zijn, laat een duidelijk samenhang zien tussen de afstand tussen school en snelweg en het percentage kinderen met luchtwegklachten. De hogere concentratie kleine deeltjes ($PM_{2,5}$), veroorzaakt door met name vrachtverkeer, wordt genoemd als vermoedelijke hoofdoorzaak van de luchtwegklachten.

Daarnaast is ook een uitgebreide studie verschenen van de WHO [WHO 1999] waarin de gezondheidsschade van luchtverontreiniging is gekwantificeerd voor Zwitserland, Frankrijk en Oostenrijk. Luchtverontreiniging verhoogt het risico op luchtwegklachten zoals chronische bronchitis, en kan vroegtijdige sterfte veroorzaken bij (veelal oudere) mensen die gevoelig zijn voor deze vervuiling. De WHO heeft op basis van epidemiologische gegevens (zogenaamde dose-response relaties) en luchtverontreiniging in deze landen een schatting gemaakt van het aantal mensen dat gezondheidsklachten heeft ten gevolge van luchtverontreiniging door het verkeer. Belangrijk om op te merken is dat de dose-response relaties exclusief zijn gebaseerd op PM_{10} . Vervolgens heeft de WHO de kosten van de veroorzaakte schade bepaald, zowel de directe kosten van de gezondheidszorg productieverlies, e.d., als ook de indirecte kosten van het veroorzaakte leed.

De resultaten van deze studie zijn gebruikt in een studie van Infras en IWW, uitgevoerd voor UIC [Infras, 2000], waarin de externe kosten van het verkeer voor alle landen in de Europese Unie berekend zijn. De totale schadekosten van luchtverontreiniging door het Nederlandse wegverkeer waren volgens deze berekeningen, die dus volledig gebaseerd zijn op deeltjesemissies, € 6.951 miljoen in 1995. We hebben vervolgens uit dit totaalbedrag een schaduwprijs voor deeltjes geïsoleerd door de externe kosten van NO_x , HC, SO_2 en CO met behulp van de afgeleide schaduw prijzen hier vanaf te trekken en het restant toe te delen aan deeltjesemissie. Zo resteert een waarde van ca 300 euro per kg deeltjesemissie.

Verder wijst een studie van IVM [IVM 1997] in het kader van het Europese ExternE-programma uit dat rond dichtbevolkte corridors de schadekosten van deeltjesemissie schommelt rond de 300 euro per kg.

Ten slotte is gekeken naar de officiële Zweedse waarderingsmethode voor deeltjesemissie [SIKA 1999]. In deze methode hangt de schade van deeltjesemissie voornamelijk af van de bebouwingsdichtheid en van de wind. Voor stedelijke agglomeraties levert dit een schaduwprijs op van 80 (kleine stad) tot 910 (Stockholm binnenstad) euro per kg.

Al deze bronnen tezamen hebben ons doen besluiten om ook een hoge variant voor de schaduwprijs voor deeltjesemissie binnen de bebouwde kom mee te nemen van 300 in plaats van de 150 euro per kg die is verondersteld in [Dings 1999].

G.6.2 Verhouding binnen en buiten de bebouwde kom

In deze paragraaf gaan we na wat een redelijke verhouding zou zijn voor waardering van deeltjesemissies binnen en buiten de bebouwde kom.

De concentratie fijn stof (PM_{10}) in een bepaalde straat wordt bepaald door:

- het profiel van de desbetreffende straat: breedte van de weg; hoogte van de bebouwing, aanwezigheid van bomen, etc.;
- de totale emissie van fijn stof door het verkeer in de straat;
- de heersende achtergrondconcentratie van fijn stof in de straat. De hoogte van de achtergrondconcentratie wordt bepaald door verschillende emissiebronnen, zoals landbouw, industrie en buitenlandse bronnen. Ook de verkeersemissies hebben een bepaald aandeel in de achtergrondconcentratie.

Welke relatie bestaat tussen de emissie van fijn stof door het verkeer en de concentratie van fijn stof op het trottoir? Deze relatie verschilt per straat. Zoals eerder aangegeven wordt deze relatie mede bepaald door de lokale achtergrondconcentratie en het straatprofiel.

In de studie Optiedocument Stedelijke Luchtkwaliteit [Metz 2000] is geprobeerd om meer inzicht te krijgen in de relatie tussen verkeersemissies van fijn stof en de concentratie fijn stof op het trottoir. Hiertoe is een vijftal straten in stedelijke gebieden geselecteerd³.

Voor elk van deze straten is:

- een schatting gemaakt van de verkeersemissies in de desbetreffende straat in 2010. Daarbij uitgegaan van prognoses van de vijf beschouwde gemeenten;
- een schatting gemaakt van de achtergrondconcentraties en het aandeel van verkeer in deze achtergrondconcentraties. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen verkeer binnen de stad en verkeer buiten de stad. De schatting is gemaakt in overleg met het RIVM;
- het profiel vastgesteld.

Vervolgens is per straat een berekening gemaakt van de verwachte concentratie fijn stof op het trottoir in 2010. Bij de berekening is gebruik gemaakt van het CAR-model (Calculation of Air pollution from Road traffic) dat ontwikkeld is door het Ministerie van VROM. De resultaten van de berekeningen geven inzicht in de relatie tussen de verkeersemissies en de concentraties van fijn stof.

De gemiddelde waarden voor de vijf voorbeeldstraten zijn weergegeven in de onderstaande tabel.

Tabel 17 Resultaten concentratieberekeningen fijn stof in 2010

Emissies door het verkeer in de voorbeeldstraten	10,4 µg/ms
Verwachte concentratie in de voorbeeldstraten	36,9 µg/m ³
Aandeel achtergrondconcentratie	89 %
Aandeel emissies verkeer in voorbeeldstraten	11 %
Verwachte achtergrondconcentratie	33,0 µg/m ³
Aandeel emissies verkeer in de stad	6 %
Aandeel emissies verkeer buiten de stad	4 %
Aandeel overige bronnen	90 %

³ Geselecteerde straten: Laan Copes van Cattenburgh in Den Haag, Tempelierstraat in Haarlem, Stationstraat in Groningen, Mijnbouwstraat in Delft en de Statenweg in Rotterdam.



Op grond van de bovenstaande resultaten kunnen de volgende vragen beantwoord worden:

- Welk aandeel heeft het verkeer in de stad in de concentratie fijn stof in stedelijke gebieden?
- Welk aandeel heeft het verkeer buiten de stad in de concentratie fijn stof in stedelijke gebieden?

Tabel 18 Aandelen van deeltjesemissie binnen en buiten de bebouwde kom voor concentratie binnen de bebouwde kom

Aandeel verkeer binnen bebouwde kom	
Directe bijdrage via de emissies in de straat	11 %
Indirecte bijdrage via de achtergrondconcentratie	: 6 % * 89 % = 5,3%
Totaal	16,3%
Aandeel verkeer buiten bebouwde kom	
Indirecte bijdrage via de achtergrondconcentratie	: 4 % * 89 % = 3,6 %
Totaal	:3,6 %

Uit deze berekeningen volgt dat een kilogram fijn stof die geëmitteerd wordt door verkeer binnen de stad dezelfde gevolgen heeft voor de concentratie fijn stof in de stad als 4,5 kilogram fijn stof die geëmitteerd wordt buiten de stad.

Dit levert, met een schaduwprijs van 300 euro per kg voor emissies binnen de bebouwde kom, buiten de bebouwde kom een waardering van 70 euro per kg. In de lage variant, met de eerdere waarde van 150 euro per kg binnen de bebouwde kom, levert dit $150/4,5 = 35$ euro per kg buiten de bebouwde kom.

G.7 Samenvattend

In Tabel 19 is een overzicht gegeven van de schaduw prijzen die in deze studie zijn toegepast.

Tabel 19 Overzicht financiële waarderingen voor emissies naar lucht binnen en buiten de bebouwde kom, in euro per kg (CO₂ in euro per ton)

Stof	variant	Waardering emissie buiten bebouwde kom	waardering emissie binnen bebouwde kom
CO ₂	lage variant	30	30
	hoge variant	100	100
PM ₁₀	lage variant	35	150
	hoge variant	70	300
NO _x		5	7
HC		5	7
SO ₂		3	3
CO		0,1	0,5



H Gedetailleerde resultaten

H.1 Introductie

In deze studie hebben we te maken met een grote hoeveelheid ruwe data: voor beide brandstoffen zijn jaarlijkse verbruiks- en emissiegegevens (van 6 emissies) berekend voor 6 scenario's, zowel gesplitst in een aantal voertuigklassen als ook in drie verschillende wegtypen (binnen de bebouwde kom, buitenweg en snelweg). Omwille van de leesbaarheid is in hoofdstukken 5 en 6 daarom alleen een selectie van de resultaten gepresenteerd. In deze bijlage zal een compleet overzicht worden gegeven.

In de volgende paragrafen zijn de gedetailleerde resultaten in tabelvorm gepresenteerd, allereerst voor diesel en vervolgens voor benzine. De resultaten van de introductiescenario's zijn alleen gegeven waar zij verschillen van de referentiescenario's. De voertuigen zijn onderverdeeld in drie categorieën: personenauto's, bestelauto's en Heavy Duty, waarbij het laatste zowel vrachtauto's als ook bussen bevat.

H.2 Diesel

De gedetailleerde gegevens voor het jaarlijkse dieselverbruik en emissies van het dieselwegverkeer, zonder vroegere introductie van de zwavelarme diesel, zijn gegeven in Tabellen 20 t/m 22. De gegevens zijn gesplitst naar voertuigklasse en wegtype, de resultaten gelden voor het referentiescenario 'NL 2005 Dpress'. De emissiereducties ten gevolge van het directe effect op het bestaande wagenpark is gegeven in Tabel 23, de indirecte effecten in Tabellen 24 t/m 26.

In deze studie zijn we uitgegaan van twee verschillende referentiescenario's: 'NL2005 Dpress' en 'NL2005 Dopt'. Het verschil tussen deze twee scenario's is het zwavelgehalte van de diesel: in 'NL 2005 Dopt' stijgt het zwavelgehalte iets omdat de vraag naar zwavelarme diesel in Duitsland sterk stijgt. Hierdoor stijgt de SO₂-uitstoot van de dieselloertuigen in de jaren 2002 t/m 2004 met zo'n 5%, de deeltjesuitstoot neemt met ongeveer 0,2% toe, zoals blijkt uit Figuur 5 in hoofdstuk 5. Deze resultaten zijn hier niet gegeven.

H.3 Benzine

Het jaarlijkse benzineverbruik en de emissies van de benzinevoertuigen zijn te vinden in Tabellen 27 t/m 29. De directe emissiereductie is gegeven in Tabel 30, de indirecte effecten in Tabel 31.

Ook deze emissiereducties zijn gegeven ten opzichte van 'NL2005 Dpress'. De verschillen met 'NL2005 Dopt' zijn te zien in Figuur 6, hoofdstuk 5.

Tabel 20 Dieserverbruik en emissies *binnen de bebouwde kom*, voor het referentiescenario NL 2005 Dpress., alle gegevens in ton/jaar

	Verbruik			CO ₂			CO			HC			NO _x		
Jaar	P	B	HD	P	B	HD	P	B	HD	P	B	HD	P	B	HD
2001	449.953	301.309	447.142	1.439.053	958.017	1.428.618	5.756	3.244	2.952	1.126	602	1.912	5.915	2.883	12.776
2002	444.725	305.400	460.168	1.423.297	971.559	1.470.238	5.437	3.095	3.032	1.068	550	1.999	5.845	2.855	12.551
2003	439.391	310.177	473.280	1.408.321	987.172	1.512.129	5.113	2.994	3.127	1.008	511	2.075	5.776	2.853	12.220
2004	433.571	289.324	486.522	1.390.965	921.257	1.554.436	4.846	2.875	3.227	960	462	2.146	5.752	2.746	11.884
2005	410.483	245.339	499.967	1.319.855	781.827	1.597.394	4.571	2.708	3.328	908	398	2.217	5.620	2.530	11.436
2006	386.592	208.652	513.695	1.245.683	665.554	1.641.255	4.335	2.576	3.428	868	346	2.288	5.591	2.355	10.931
2007	361.292	180.582	527.604	1.166.834	576.586	1.685.694	4.102	2.502	3.528	826	312	2.359	5.525	2.238	10.500
2008	338.067	160.459	541.796	1.094.325	512.819	1.731.039	3.903	2.464	3.629	791	289	2.429	5.481	2.166	10.024
2009	321.493	141.775	556.307	1.042.817	453.551	1.777.401	3.768	2.448	3.733	768	271	2.500	5.517	2.110	9.697
2010	306.055	119.198	571.115	995.253	381.835	1.824.713	3.626	2.435	3.839	743	253	2.573	5.504	2.039	9.507
Totaal	3.891.623	2.262.215	5.077.596	12.526.403	7.210.177	16.222.918	45.458	27.341	33.825	9.067	3.995	22.499	56.527	24.774	111.526

	SO ₂			PM ₁₀		
Jaar	P	B	HD	P	B	HD
2001	128	86	425	973	533	337
2002	127	87	437	931	488	314
2003	125	88	450	888	451	296
2004	56	63	462	853	409	282
2005	8	11	72	810	359	257
2006	11	15	75	778	320	225
2007	14	19	77	730	292	196
2008	16	33	80	695	271	168
2009	17	34	83	674	254	147
2010	17	35	86	656	238	132
Totaal	520	471	2.246	7.987	3.614	2.354

N.B.: P = personenauto's, B = bestelauto's, HD = heavy duty.



Tabel 21 Dieselverbruik en emissies op *buitenwegen*, voor het referentiescenario NL 2005 Dpress., alle gegevens in ton/jaar

	verbruik			CO ₂			CO			HC			NO _x		
Jaar	P	B	HD	P	B	HD	P	B	HD	P	B	HD	P	B	HD
2001	295.263	201.094	422.399	973.633	646.141	1.349.563	1.383	892	2.532	296	195	1.346	4.511	2.233	13.235
2002	291.559	203.667	434.459	962.542	654.642	1.388.095	1.304	849	2.531	281	178	1.402	4.417	2.209	12.969
2003	287.753	206.697	446.541	953.692	664.569	1.426.699	1.224	819	2.553	266	165	1.453	4.323	2.205	12.657
2004	283.682	192.715	458.692	942.255	620.241	1.465.522	1.158	784	2.593	253	149	1.501	4.262	2.121	12.346
2005	268.468	163.408	470.986	898.282	527.058	1.504.799	1.091	737	2.639	239	128	1.549	4.124	1.953	11.911
2006	252.743	138.974	483.503	851.558	449.402	1.544.791	1.032	700	2.693	229	111	1.598	4.046	1.817	11.399
2007	236.094	120.266	496.119	801.474	389.984	1.585.099	974	679	2.754	218	100	1.646	3.936	1.725	10.946
2008	220.800	106.833	508.962	755.197	347.337	1.626.133	925	667	2.821	209	93	1.695	3.850	1.668	10.451
2009	209.831	94.391	522.073	722.458	307.748	1.668.023	891	662	2.892	203	87	1.744	3.826	1.623	10.110
2010	199.562	79.405	535.396	692.702	259.904	1.710.590	855	658	2.966	197	81	1.795	3.777	1.568	9.904
Totaal	2.545.755	1.507.450	4.779.128	8.553.793	4.867.027	15.269.315	10.836	7.446	26.974	2.392	1.289	15.729	41.072	19.122	115.928

	SO ₂			PM ₁₀		
Jaar	P	B	HD	P	B	HD
2001	84	57	401	525	293	322
2002	83	58	413	502	268	299
2003	82	59	424	479	247	281
2004	37	42	436	459	224	268
2005	5	8	66	436	197	244
2006	7	10	69	418	175	214
2007	9	13	71	392	159	186
2008	10	22	74	373	148	160
2009	11	22	76	361	139	140
2010	11	23	78	351	130	126
Totaal	339	314	2.108	4.294	1.980	2.239

N.B.: P = personenauto's, B = bestelauto's, HD = heavy duty.

Tabel 22 Dieselverbruik en emissies op *snelwegen*, voor het referentiescenario NL 2005 Dpress, alle gegevens in ton/jaar

	Verbruik			CO ₂			CO			HC			NO _x		
Jaar	P	B	HD	P	B	HD	P	B	HD	P	B	HD	P	B	HD
2001	344.986	280.619	969.110	1.141.093	902.686	3.096.308	827	759	5.247	211	238	1.741	7.574	3.816	33.934
2002	340.400	283.369	995.915	1.127.118	911.826	3.181.949	777	718	5.226	201	216	1.786	7.280	3.762	32.938
2003	335.687	286.735	1.022.698	1.115.723	922.895	3.267.522	727	688	5.247	190	200	1.825	6.981	3.742	32.012
2004	330.833	266.832	1.049.563	1.101.842	859.711	3.353.354	686	655	5.309	181	180	1.871	6.744	3.587	31.150
2005	313.058	226.098	1.076.675	1.050.126	730.061	3.439.976	645	612	5.394	172	154	1.922	6.424	3.296	29.999
2006	294.431	192.161	1.104.222	994.379	622.087	3.527.990	608	578	5.505	165	134	1.982	6.150	3.058	28.657
2007	275.118	166.155	1.131.858	936.045	539.398	3.616.287	571	558	5.638	157	120	2.048	5.823	2.896	27.438
2008	257.191	147.425	1.159.960	881.433	479.854	3.706.071	540	546	5.791	151	111	2.118	5.545	2.795	26.160
2009	244.222	130.099	1.188.642	842.343	424.646	3.797.711	517	540	5.959	147	104	2.193	5.371	2.713	25.276
2010	231.689	109.348	1.217.660	805.407	358.293	3.890.424	494	535	6.136	142	97	2.271	5.175	2.615	24.697
Totaal	2.967.615	2.088.841	10.916.304	9.995.511	6.751.457	34.877.592	6.391	6.188	55.452	1.716	1.552	19.757	63.065	32.280	292.260

	SO ₂			PM ₁₀		
Jaar	P	B	HD	P	B	HD
2001	98	80	921	613	414	755
2002	97	81	946	586	377	700
2003	96	82	972	559	346	657
2004	42	58	997	536	313	623
2005	6	10	155	509	274	567
2006	8	14	160	487	243	497
2007	10	17	165	458	221	433
2008	11	30	170	435	204	373
2009	12	30	176	421	191	328
2010	12	31	181	408	178	295
Totaal	394	433	4.842	5.011	2.760	5.228

N.B.: P = personenauto's, B = bestelauto's, HD = heavy duty.



Tabel 23 De *directe* milieueffecten van vroegere introductie van schonere diesel, voor de verschillende introductie scenario's en vervoersklassen. De gegevens in deze tabel gelden *binnen de bebouwde kom*, de resultaten voor *buitenwegen* en *snelwegen* zijn echter vrijwel identiek. De directe milieueffecten hangen alleen af van het introductietijdstip, niet van de inschatting van de facilitering. Alleen SO₂ en PM₁₀-emissies verminderen, andere emissies blijven ongewijzigd

	NL 2001						NL 2003					
	SO ₂			PM ₁₀			SO ₂			PM ₁₀		
Jaar	P	B	HD	P	B	HD	P	B	HD	P	B	HD
2001	-14%	-14%	-14%	-2%	-3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2002	-85%	-85%	-85%	-12%	-21%	-2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2003	-85%	-85%	-85%	-13%	-25%	-2%	-43%	-43%	-43%	-6%	-13%	-1%
2004	-64%	-68%	-85%	-13%	-23%	-2%	-64%	-68%	-85%	-13%	-23%	-2%

N.B.: P = personenauto's, B = bestelauto's, HD = heavy duty.
 Percentages zijn gegeven ten opzichte van de uitstoot van dezelfde vervoersklasse, op hetzelfde wegtype.

Tabel 24 De *indirecte* milieueffecten van vroegere introductie van schonere diesel, voor de verschillende introductie scenario's en vervoersklassen, *binnen de bebouwde kom*. Alleen NO_x en PM₁₀-emissies verminderen, andere emissies blijven ongewijzigd

	NL 2001 P						NL 2001 O						NL 2003 P						NL 2003 O					
	NO _x			PM ₁₀			NO _x			PM ₁₀			NO _x			PM ₁₀			NO _x			PM ₁₀		
Jaar	P	B	HD	P	B	HD	P	B	HD	P	B	HD	P	B	HD	P	B	HD	P	B	HD	P	B	HD
2001	0,0%	0,0%	0%	0,0%	0,0%	0%	0,0%	0,0%	0%	0,0%	0,0%	-0,4%	0,0%	0,0%	0%	0,0%	0,0%	0%	0,0%	0,0%	0%	0,0%	0,0%	0,0%
2002	-0,1%	-0,4%	0%	0,0%	-0,2%	0%	-0,2%	-0,9%	0%	-0,1%	-0,4%	-2,6%	0,0%	0,0%	0%	0,0%	0,0%	0%	0,0%	0,0%	0%	0,0%	0,0%	0,0%
2003	-0,5%	-1,3%	0%	-0,2%	-0,7%	0%	-1,2%	-2,6%	0%	-0,5%	-1,3%	-2,9%	0,0%	-0,5%	0%	0,0%	-0,2%	0%	-0,1%	-0,9%	0%	0,0%	-0,5%	-0,1%
2004	-1,1%	-2,2%	0%	-0,5%	-1,8%	0%	-2,7%	-6,5%	0%	-1,1%	-4,0%	-3,6%	-0,1%	-0,9%	0%	-0,1%	-1,1%	0%	-0,5%	-3,4%	0%	-0,3%	-2,4%	-0,5%
2005	-1,4%	-2,0%	0%	-0,5%	-1,1%	0%	-3,6%	-5,9%	0%	-1,4%	-3,3%	-1,2%	-0,3%	-0,9%	0%	-0,1%	-0,5%	0%	-1,2%	-3,1%	0%	-0,4%	-1,7%	-0,6%
2006	-1,3%	-1,6%	0%	-0,5%	-1,0%	0%	-3,4%	-5,0%	0%	-1,4%	-2,9%	-1,2%	-0,2%	-0,7%	0%	-0,1%	-0,4%	0%	-1,1%	-2,7%	0%	-0,5%	-1,6%	-0,5%
2007	-1,3%	-1,4%	0%	-0,5%	-0,8%	0%	-3,4%	-4,0%	0%	-1,4%	-2,4%	-1,1%	-0,2%	-0,5%	0%	-0,1%	-0,3%	0%	-1,2%	-2,0%	0%	-0,5%	-1,2%	-0,5%
2008	-1,2%	-1,4%	0%	-0,5%	-0,9%	0%	-3,0%	-3,8%	0%	-1,3%	-2,4%	-1,0%	-0,2%	-0,5%	0%	-0,1%	-0,3%	0%	-1,0%	-1,8%	0%	-0,4%	-1,2%	-0,5%
2009	-1,1%	-0,9%	0%	-0,5%	-0,6%	0%	-2,9%	-3,0%	0%	-1,3%	-2,0%	-0,9%	-0,2%	-0,2%	0%	-0,1%	-0,1%	0%	-1,0%	-1,5%	0%	-0,4%	-1,0%	-0,4%
2010	-1,1%	-0,5%	0%	-0,5%	-0,3%	0%	-2,7%	-2,4%	0%	-1,3%	-1,7%	-0,9%	-0,2%	0,3%	0%	-0,1%	0,2%	0%	-0,9%	-0,9%	0%	-0,4%	-0,6%	-0,4%

N.B.: P = personenauto's, B = bestelauto's, HD = heavy duty.
 Percentages zijn gegeven ten opzichte van de uitstoot van dezelfde vervoersklasse, op hetzelfde wegtype.

Tabel 25 De *indirecte* milieueffecten van vroegere introductie van schonere diesel, voor de verschillende introductie scenario's en vervoersklassen, op *buitenwegen*. Alleen NO_x en PM₁₀-emissies verminderen, andere emissies blijven ongewijzigd

	NL 2001 P						NL 2001 O						NL 2003 P						NL 2003 O					
	NO _x			PM ₁₀			NO _x			PM ₁₀			NO _x			PM ₁₀			NO _x			PM ₁₀		
Jaar	P	B	HD	P	B	HD	P	B	HD	P	B	HD	P	B	HD	P	B	HD	P	B	HD	P	B	HD
2001	0,0%	0,0%	0%	0,0%	0,0%	0%	0,0%	0,0%	0%	0,0%	0,0%	-0,4%	0,0%	0,0%	0%	0,0%	0,0%	0%	0,0%	0,0%	0%	0,0%	0,0%	0,0%
2002	-0,1%	-0,4%	0%	0,0%	-0,2%	0%	-0,2%	-0,9%	0%	-0,1%	-0,4%	-2,6%	0,0%	0,0%	0%	0,0%	0,0%	0%	0,0%	0,0%	0%	0,0%	0,0%	0,0%
2003	-0,4%	-1,3%	0%	-0,2%	-0,6%	0%	-1,1%	-2,6%	0%	-0,5%	-1,3%	-2,9%	0,0%	-0,5%	0%	0,0%	-0,2%	0%	0,0%	-0,9%	0%	0,0%	-0,5%	-0,1%
2004	-0,9%	-2,2%	0%	-0,5%	-1,8%	0%	-2,3%	-6,5%	0%	-1,0%	-3,9%	-3,6%	-0,1%	-0,9%	0%	-0,1%	-1,1%	0%	-0,4%	-3,4%	0%	-0,3%	-2,4%	-0,5%
2005	-1,2%	-2,0%	0%	-0,5%	-1,1%	0%	-3,2%	-5,8%	0%	-1,3%	-3,2%	-1,2%	-0,2%	-0,9%	0%	-0,1%	-0,5%	0%	-1,0%	-3,1%	0%	-0,4%	-1,7%	-0,5%
2006	-1,2%	-1,6%	0%	-0,5%	-1,0%	0%	-3,1%	-5,0%	0%	-1,3%	-2,9%	-1,2%	-0,2%	-0,7%	0%	-0,1%	-0,4%	0%	-1,0%	-2,7%	0%	-0,4%	-1,6%	-0,5%
2007	-1,2%	-1,4%	0%	-0,5%	-0,8%	0%	-3,1%	-4,0%	0%	-1,4%	-2,4%	-1,1%	-0,2%	-0,5%	0%	-0,1%	-0,3%	0%	-1,1%	-2,0%	0%	-0,5%	-1,2%	-0,5%
2008	-1,1%	-1,4%	0%	-0,5%	-0,9%	0%	-2,8%	-3,8%	0%	-1,3%	-2,4%	-1,0%	-0,2%	-0,5%	0%	-0,1%	-0,3%	0%	-0,9%	-1,8%	0%	-0,4%	-1,2%	-0,5%
2009	-1,1%	-0,9%	0%	-0,5%	-0,6%	0%	-2,7%	-3,0%	0%	-1,3%	-2,0%	-0,9%	-0,2%	-0,2%	0%	-0,1%	-0,1%	0%	-0,9%	-1,5%	0%	-0,4%	-1,0%	-0,4%
2010	-1,0%	-0,5%	0%	-0,5%	-0,3%	0%	-2,6%	-2,4%	0%	-1,2%	-1,7%	-0,9%	-0,2%	0,3%	0%	-0,1%	0,2%	0%	-0,9%	-0,9%	0%	-0,4%	-0,6%	-0,4%

N.B. P = personenauto's, B = bestelauto's, HD = heavy duty.
 Percentages zijn gegeven ten opzichte van de uitstoot van dezelfde vervoersklasse, op hetzelfde wegtype.



Tabel 26 De *indirecte* milieueffecten van vroegere introductie van schonere diesel, voor de verschillende introductie scenario's en vervoersklassen, voor *snelwegen*. Alleen NO_x en PM₁₀-emissies verminderen, andere emissies blijven ongewijzigd

	NL 2001 P						NL 2001 O						NL 2003 P						NL 2003 O					
	NO _x			PM ₁₀			NO _x			PM ₁₀			NO _x			PM ₁₀			NO _x			PM ₁₀		
Jaar	P	B	HD	P	B	HD	P	B	HD	P	B	HD	P	B	HD	P	B	HD	P	B	HD	P	B	HD
2001	0,0%	0,0%	0%	0,0%	0,0%	0%	0,0%	0,0%	0%	0,0%	0,0%	-0,4%	0,0%	0,0%	0%	0,0%	0,0%	0%	0,0%	0,0%	0%	0,0%	0,0%	0,0%
2002	-0,1%	-0,4%	0%	0,0%	-0,2%	0%	-0,1%	-0,9%	0%	-0,1%	-0,4%	-2,6%	0,0%	0,0%	0%	0,0%	0,0%	0%	0,0%	0,0%	0%	0,0%	0,0%	0,0%
2003	-0,3%	-1,3%	0%	-0,2%	-0,6%	0%	-0,7%	-2,5%	0%	-0,5%	-1,3%	-2,9%	0,0%	-0,4%	0%	0,0%	-0,2%	0%	-0,1%	-0,9%	0%	-0,3%	-0,7%	-0,1%
2004	-0,6%	-2,2%	0%	-0,5%	-1,7%	0%	-1,6%	-6,4%	0%	-1,0%	-3,9%	-3,5%	-0,1%	-0,9%	0%	-0,1%	-1,1%	0%	-0,5%	-3,4%	0%	-0,7%	-2,7%	-0,5%
2005	-0,9%	-2,0%	0%	-0,5%	-1,1%	0%	-2,2%	-5,8%	0%	-1,3%	-3,2%	-1,2%	-0,2%	-0,8%	0%	-0,1%	-0,5%	0%	-1,2%	-3,1%	0%	-0,4%	-1,7%	-0,6%
2006	-0,8%	-1,6%	0%	-0,5%	-0,9%	0%	-2,1%	-5,0%	0%	-1,3%	-2,9%	-1,2%	-0,2%	-0,7%	0%	-0,1%	-0,4%	0%	-1,1%	-2,7%	0%	-0,5%	-1,6%	-0,5%
2007	-0,9%	-1,4%	0%	-0,5%	-0,8%	0%	-2,2%	-4,0%	0%	-1,4%	-2,4%	-1,0%	-0,2%	-0,5%	0%	-0,1%	-0,3%	0%	-1,2%	-2,0%	0%	-0,5%	-1,2%	-0,5%
2008	-0,8%	-1,4%	0%	-0,5%	-0,9%	0%	-2,1%	-3,7%	0%	-1,3%	-2,4%	-1,0%	-0,1%	-0,5%	0%	-0,1%	-0,3%	0%	-1,0%	-1,8%	0%	-0,4%	-1,2%	-0,5%
2009	-0,8%	-0,9%	0%	-0,5%	-0,6%	0%	-2,0%	-3,0%	0%	-1,3%	-2,0%	-0,9%	-0,2%	-0,2%	0%	-0,1%	-0,1%	0%	-1,0%	-1,5%	0%	-0,4%	-1,0%	-0,4%
2010	-0,8%	-0,5%	0%	-0,5%	-0,3%	0%	-2,0%	-2,4%	0%	-1,2%	-1,7%	-0,9%	-0,2%	0,3%	0%	-0,1%	0,2%	0%	-0,9%	-0,9%	0%	-0,4%	-0,6%	-0,4%

N.B.: P = personenauto's, B = bestelauto's, HD = heavy duty.

Percentages zijn gegeven ten opzichte van de uitstoot van dezelfde vervoersklasse, op hetzelfde wegtype

Tabel 27 Benzineverbruik en emissies *binnen de bebouwde kom*, voor beide referentiescenario's, alle gegevens in ton/jaar

											NL 2005 Dpress		NL 2005 Dopt	
	verbruik		CO ₂		CO		HC		NO _x		SO ₂		SO ₂	
Jaar	P	B	P	B	P	B	P	B	P	B	P	B	P	B
2001	1.952.383	51.229	5.614.610	138.916	346.769	13.220	44.654	1.609	15.169	298	482	13	482	13
2002	1.991.790	52.939	5.767.560	145.298	337.544	12.984	43.294	1.481	14.624	244	492	13	918	24
2003	2.012.316	54.613	5.862.282	151.297	326.097	12.826	41.693	1.386	14.026	209	497	13	928	25
2004	2.030.252	56.192	5.948.246	156.964	313.098	12.630	39.905	1.309	13.394	186	509	14	936	26
2005	2.026.056	57.702	5.956.949	162.650	304.485	12.293	38.512	1.224	12.987	164	126	4	126	4
2006	2.063.238	59.261	6.105.123	168.465	293.084	11.957	36.764	1.147	12.509	145	134	4	134	4
2007	2.081.864	60.901	6.193.778	174.623	280.141	11.588	34.895	1.068	11.921	128	140	4	140	4
2008	2.095.137	62.600	6.260.963	181.123	269.672	11.153	33.342	983	11.498	111	143	6	143	6
2009	2.124.597	64.343	6.411.919	188.081	250.079	10.555	27.391	884	9.410	83	145	6	145	6
2010	2.149.236	66.028	6.544.830	195.223	232.866	9.724	22.369	782	7.668	56	146	6	146	6
Totaal	20.526.869	585.807	60.666.260	1.662.641	2.953.836	118.931	362.819	11.872	123.207	1.624	2.813	83	4.098	118

N.B.: P = personenauto's, B = bestelauto's



Tabel 28 Benzineverbruik en emissies *op buitenwegen*, voor beide referentiescenario's, alle gegevens in ton/jaar

											NL 2005 Dpress		NL 2005 Dopt	
	verbruik		CO ₂		CO		HC		NO _x		SO ₂		SO ₂	
Jaar	P	B	P	B	P	B	P	B	P	B	P	B	P	B
2001	1.132.849	29.141	3.458.241	90.127	72.537	1.387	9.226	159	10.276	226	280	7	280	7
2002	1.152.992	30.023	3.532.434	93.701	68.225	1.066	8.595	108	9.736	172	285	7	532	14
2003	1.162.311	30.940	3.572.142	97.062	63.847	882	7.971	79	9.180	140	287	8	536	14
2004	1.169.318	31.890	3.604.799	100.274	59.323	808	7.334	67	8.604	122	293	8	539	15
2005	1.165.633	32.874	3.599.205	103.489	56.585	776	6.943	62	8.259	109	72	2	72	2
2006	1.184.335	33.885	3.666.984	106.777	53.008	750	6.440	59	7.818	97	77	2	77	2
2007	1.191.857	34.926	3.699.733	110.163	49.110	723	5.923	55	7.286	87	80	2	80	2
2008	1.196.777	35.998	3.722.167	113.652	46.128	695	5.514	51	6.908	77	83	3	83	3
2009	1.204.614	37.101	3.789.362	117.448	28.056	579	2.763	33	4.710	53	83	4	83	4
2010	1.212.049	38.233	3.847.771	121.323	13.192	468	497	16	2.901	30	84	4	84	4
Totaal	11.772.734	335.012	36.492.837	1.054.016	510.012	8.134	61.207	691	75.678	1.112	1.624	47	2.366	67

NB. P = personenauto's, B = bestelauto's

Tabel 29 Benzineverbruik en emissies *op snelwegen*, voor beide referentiescenario's, alle gegevens in ton/jaar

											NL 2005 Dpress		NL 2005 Dopt	
	verbruik		CO ₂		CO		HC		NO _x		SO ₂		SO ₂	
Jaar	P	B	P	B	P	B	P	B	P	B	P	B	P	B
2001	1.287.345	38.670	3.968.247	120.902	68.905	1.289	6.733	115	22.033	881	318	10	318	10
2002	1.307.610	39.792	4.040.431	125.149	65.507	990	6.320	80	20.694	671	323	10	603	18
2003	1.316.862	40.953	4.077.641	129.233	61.985	820	5.906	59	19.351	543	325	10	607	19
2004	1.323.390	42.151	4.106.571	133.212	58.278	750	5.480	51	17.974	474	331	11	610	19
2005	1.318.835	43.386	4.096.965	137.223	55.974	720	5.211	48	17.148	421	82	3	82	3
2006	1.338.890	44.655	4.167.524	141.330	52.933	695	4.863	45	16.083	374	87	3	87	3
2007	1.346.875	45.961	4.199.979	145.556	49.664	670	4.512	42	14.794	332	90	3	90	3
2008	1.350.356	47.305	4.216.910	149.904	46.925	644	4.214	39	13.785	291	93	4	93	4
2009	1.358.027	48.686	4.274.239	154.556	32.131	536	2.409	27	8.268	197	94	5	94	5
2010	1.365.232	50.104	4.324.102	159.315	20.011	432	926	15	3.824	107	96	5	96	5
Totaal	13.313.423	441.663	41.472.609	1.396.380	512.312	7.546	46.573	521	153.954	4.291	1.839	62	2.680	89

N.B.: P = personenauto's, B = bestelauto's



Emissiereducties bij vervroegde introductie van benzine

Tabel 30 De *directe* milieueffecten van vroegere introductie van schonere benzine, voor de verschillende introductie scenario's en vervoersklassen. De gegevens in deze tabel gelden *binnen de bebouwde kom*, de resultaten voor *buitenwegen* en *snelwegen* zijn echter vrijwel identiek. De directe milieueffecten hangen alleen af van het introductietijdstip, niet van de inschatting van de facilitering

Jaar	NL 2001										NL 2003									
	CO ₂		CO		HC		NO _x		SO ₂		CO ₂		CO		HC		NO _x		SO ₂	
	P	B	P	B	P	B	P	B	P	B	P	B	P	B	P	B	P	B	P	B
2001	-0,1%	-0,1%	-0,4%	-0,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	-6,2%	-6,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
2002	-0,4%	-0,4%	-2,4%	-2,4%	-1,8%	-1,8%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
2003	-0,4%	-0,4%	-2,4%	-2,4%	-1,8%	-1,8%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,2%	-0,2%	-1,2%	-1,2%	-0,9%	-0,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
2004	-0,4%	-0,4%	-2,4%	-2,4%	-1,8%	-1,8%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,4%	-0,4%	-2,4%	-2,4%	-1,8%	-1,8%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%

N.B.: P = personenauto's, B = bestelauto's
 Percentages zijn gegeven ten opzichte van de uitstoot van dezelfde vervoersklasse, op hetzelfde wegtype.

Tabel 31 De *indirecte* milieueffecten van vroegere introductie van schonere benzine, voor de verschillende introductie scenario's. De resultaten zijn gelijk voor alle wegtypen. Alleen het verbruik en de CO₂-emissies van personenauto's verminderen, andere emissies blijven ongewijzigd

	NL 2001 P	NL 2001 O	NL 2003 P	NL 2003 O
	Verbruik, CO ₂	Verbruik, CO ₂	Verbruik, CO ₂	Verbruik, CO ₂
Jaar	P	P	P	P
2001	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
2002	-0,01%	-0,01%	0,00%	0,00%
2003	-0,03%	-0,06%	0,00%	0,00%
2004	-0,07%	-0,14%	-0,02%	-0,02%
2005	-0,11%	-0,21%	-0,04%	-0,04%
2006	-0,14%	-0,25%	-0,05%	-0,05%
2007	-0,14%	-0,26%	-0,05%	-0,05%
2008	-0,12%	-0,24%	-0,04%	-0,04%
2009	-0,12%	-0,22%	-0,04%	-0,04%
2010	-0,11%	-0,22%	-0,04%	-0,04%

N.B.: P = personenauto's
 Percentages zijn gegeven ten opzichte van de uitstoot van dezelfde vervoersklasse, op hetzelfde wegtype.

