

CE

**Oplossingen voor
milieu, economie
en technologie**

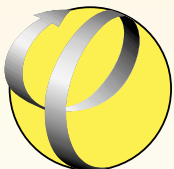
Oude Delft 180
2611 HH Delft
tel: 015 2 150 150
fax: 015 2 150 151
e-mail: ce@ce.nl
website: www.ce.n

Milieuscan wagenpark Zoetermeer

Rapport

Delft, september 2001

Opgesteld door: drs. Andries Hof
dr. ir. Joost Vermeulen



Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

drs. Andries Hof, dr. ir. Joost Vermeulen
Milieuscan wagenpark Zoetermeer
Delft, CE, 2001

Motorvoertuigen / Gemeenten / Motorbrandstoffen / Aardgas / Elektrische voertuigen / Milieu / Duurzaamheid / Scenario's Investerings / Besluitvorming /

Verspreiding van CE-publicaties gebeurt door:

CE
Oude Delft 180
2611 HH Delft
Tel: 015-2150150
Fax: 015-2150151
E-mail: publicatie@ce.nl

Opdrachtgever: Energie Agentschap Zoetermeer
Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Joost Vermeulen

© copyright, CE, Delft

CE

Oplossingen voor milieu, economie en technologie

CE is een onafhankelijke onderzoeks- en adviesbureau, gespecialiseerd in het ontwikkelen van structurele en innovatieve oplossingen van milieuvraagstukken. Kenmerken van CE-oplossingen zijn: beleidsmatig haalbaar, technisch onderbouwd, economisch verstandig maar ook maatschappelijk rechtvaardig.

CE is onderverdeeld in vijf secties die zich richten op de volgende werkteerijnen:

- economie
- energie
- industrie
- materialen
- verkeer & vervoer

Van elk van deze secties is een publicatielijst beschikbaar. Geïnteresseerden kunnen deze opvragen bij CE tel: 015-2150150. De meest actuele informatie van CE is te vinden op de website: www.ce.nl

Inhoud

Samenvatting	1
1 Inleiding	3
1.1 Aanleiding en doelstellingen	3
1.2 Aanpak	3
1.3 Uitgangspunten en afbakening	4
1.4 Opbouw rapport	4
2 Huidige wagenpark	5
2.1 Inleiding	5
2.2 Samenstelling van het wagenpark	5
2.3 Huidige milieuprestatie	7
2.4 Verwachte ontwikkeling van het wagenpark	8
3 Inzet van alternatieven	11
3.1 Inleiding	11
3.2 Overzicht van de scenario's	11
3.3 Ontwikkeling van de milieuprestatie	11
3.4 Ontwikkeling van de kosten	15
4 Conclusies	19
4.1 Inleiding	19
4.2 De meest opvallende resultaten	19
4.3 Tot slot	19
Informatiebronnen	21
A Europese emissienormen	25
B Alternatieve technieken	27
C Handleiding bij het Milieuscanprogramma	39

Samenvatting

Met de analyses en beschrijvingen in dit rapport is geprobeerd om meer inzicht te verschaffen in de mogelijkheden voor het verbeteren van de milieuprestatie van het wagenpark van de Gemeente Zoetermeer. Naast voortzetting van het huidige investeringsbeleid, waarin bij geplande voertuigvervangingen de conventionele aandrijftechnieken worden toegepast, zijn twee alternatieve investeringsscenario's doorgerekend. In het eerste alternatieve scenario wordt aandrijving op aardgas toegepast bij geplande vervangingen van huisvuilwagens, vrachtauto's en bestelwagens. In het tweede scenario wordt voor personenauto's en bestelwagens gekozen voor elektrische aandrijving.

Tabel 1 laat de belangrijkste resultaten zien. In de variant 'Europa' wordt het huidige beleid voortgezet, maar zal de milieuprestatie toch verbeteren door de steeds strengere Europese emissie-eisen. De kosten voor deze variant vormen de referentie waarmee de kosten voor de alternatieve investeringsscenario's zijn vergeleken. De kosten voor een vulstation voor aardgas zijn niet in deze cijfers inbegrepen.

Tabel 1 Milieueffecten en kosten verschillende investeringsscenario's in 2004

	PM ₁₀ (kg)		CO ₂ (ton)		NO _x (kg)		Kosten voor het jaar 2004	
	kg	index	ton	index	kg	index	guldens	Euro
Europa	141	100	895	100	3.615	100	0	
Aardgas	122	87	859	96	3.330	92	-9.000	-4.000
Aardgas excl. VA	126	89	864	97	3.410	94	-27.500	-8.500
Elektrisch	132	94	857	96	3.426	95	+400.000	181.500

Het meest opvallende resultaat is dat toepassing van aardgas kan leiden tot een kostenreductie. Deze kostenreductie kan nog groter uitvallen indien vrachtauto's (VA) niet op aardgas overgaan. Dit gaat uiteraard wel ten koste van (iets) hogere emissies. Aan de andere kant kan toepassing van aardgas bij vrachtauto's echter leiden tot lagere kosten voor een vulstation voor aardgas en/of de prijs per kubieke meter, doordat de totale aardgasafname hoger is. Er kan dan wellicht een gunstiger overeenkomst met de leverancier van het gas gesloten worden. Tabel 2 geeft inzicht in het aantal m³ aardgas dat nodig is om de te vervangen voertuigen op aardgas te laten rijden.

Tabel 2 Aantal m³ aardgas nodig bij aardgasvariant

	2004	2010
Aardgas	98.500	308.000
Aardgas excl. VA	83.000	276.500

De meest belangrijke conclusies van deze studie zijn:

- In de Europa variant zal door de aangescherpte Europese emissie-eisen de uitstoot van PM₁₀ en NO_x al flink (resp. 35% en 16%) dalen. De uitstoot van CO₂ wijzigt nauwelijks.
- De aardgasvariant leidt tot een aanzienlijke verdere emissiereductie van PM₁₀ (13%) en, in mindere mate, NO_x (8%). De CO₂ emissie daalt ook enkele procenten.

- De aardgasvariant kan leiden tot een kostenreductie (extra kosten voor een vulstation niet meegenomen). Deze kostenreductie kan nog hoger uitvallen indien besloten wordt voor vrachtauto's geen aardgas toe te passen. Dit leidt slechts tot een lichte verhoging van emissies en een kleine reductie in het aantal m³ af te nemen aardgas.
- Toepassing van elektrisch aangedreven voertuigen zal leiden tot een emissiereductie van 4% tot 6% voor de verschillende emissies ten opzichte van de Europa variant. Dit brengt echter wel aanzienlijke meerkosten met zich mee (400.000 gulden (€ 181.500) in 2004).



1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doelstellingen

De positieve betekenis van verkeer en vervoer voor de ontwikkeling van de economie en de verhoging van de welvaart is duidelijk, maar ook de nadelen zijn zichtbaar: een toenemend beslag op de schaarse ruimte, congestie op het wegennet, luchtverontreinigende emissies, geluidsoverlast en verkeers- onveiligheid. Met name in stedelijke gebieden worden deze neveneffecten van het verkeer en vervoer als een steeds groter probleem ervaren.

Mede onder druk van de Europese emissiewetgeving zijn voertuigen het laatste decennium aanzienlijk schoner geworden. Ook in de komende jaren zullen de steeds strengere emissienormen zorgen voor een verdere reductie van de uitstoot per kilometer (zie bijlage A). Door de sterke groei van het verkeersvolume neemt de totale milieubelasting echter minder snel af (bijvoorbeeld voor NO_x) of neemt deze zelfs nog toe (bijvoorbeeld voor CO₂).

Het verbeteren van de leefbaarheid in de stad is een belangrijk thema voor veel gemeenten. Daarbij wordt ook gekeken naar de verbeteringen die mogelijk zijn binnen de gemeentelijke diensten en bedrijven zelf. Een aangrijpingspunt is daarbij de verbetering van de milieuprestatie van het eigen wagenpark.

Binnen de Gemeente Zoetermeer leeft de behoefte aan inzicht in de mogelijkheden de milieuprestatie van het gemeentelijke wagenpark te verbeteren door bijvoorbeeld alternatieve (aandrijf)technieken toe te passen. Het verbeteren van de milieuprestatie is deels gebaseerd op de wens het gemeentelijke wagenpark een voorbeeldfunctie te laten vervullen. In het verleden is met name de mogelijkheid van toepassing van aardgas al eens naar voren gekomen.

Naar aanleiding van de hierboven beschreven behoefte heeft het Energie Agentschap Zoetermeer, namens de Gemeente Zoetermeer, CE gevraagd:

- 1 Inzicht te geven in de huidige milieuprestatie van het gemeentelijke voertuigpark.
- 2 De gevolgen van inzet van alternatieve aandrijftechnieken en brandstoffen voor de milieuprestatie en meerkosten van het gemeentelijke voertuigpark inzichtelijk te maken.

1.2 Aanpak

Bij het vervullen van de eerste twee doelstellingen van dit project is gebruik gemaakt van het softwareprogramma "Milieuscan" dat in opdracht van NOVEM door CE is ontwikkeld. De inhoud en mogelijkheden van dit programma zijn voor deze studie bepalend geweest. Een beschrijving hiervan wordt gegeven in bijlage C.

De benodigde invoergegevens voor de berekening van de milieuprestatie en (meer)kosten zijn aangeleverd door de wagenparkbeheerder van de Gemeente Zoetermeer. Waar nodig zijn deze aangevuld met de standaardgegevens zoals die in het programma "Milieuscan" worden gehanteerd.

De vaststelling van de alternatieve scenario's heeft in overleg met de opdrachtgever plaatsgevonden.

1.3 Uitgangspunten en afbakening

Deze studie kent de volgende uitgangspunten en afbakeningen:

- De analyses richten zich op de jaren 2001 tot en met 2004 (na 2004 gelden er weer nieuwe emissienormen welke niet in de milieuscan zijn opgenomen) en gaan uit van de geplande investeringen in het eigen wagenpark. Hierbij is aangenomen dat de huidige voertuigen na de afschrijvingstermijn worden vervangen door een vergelijkbaar voertuig.
- Er wordt alleen gekeken naar technische verbeteringen in het wagenpark¹. Verbeteringen van de totale milieuprestatie door een reductie van het aantal kilometers vallen bijvoorbeeld buiten de analyse.
- Milieuprestatie is een breed begrip. Als indicatoren voor de milieuprestatie worden in de analyse meegenomen: CO₂ emissies, NO_x emissies en emissies van PM₁₀ (roetdeeltjes). Emissies van CO₂ worden beschouwd als de belangrijkste veroorzaker van het broeikas-effect en is een van de speerpunten in het nationale milieubeleid. NO_x (stikstofoxiden) draagt bij aan verzuring en hoge concentraties van NO₂ vormen een direct gevaar voor de volksgezondheid. Ook hoge concentraties van PM₁₀ zijn een direct gevaar voor de volksgezondheid.
- Bij de keuze voor een alternatieve techniek spelen buiten de kosten en de verwachte milieuprestatie ook veel andere factoren een rol. De gebruiksvriendelijkheid, de betrouwbaarheid en de veiligheid voor de chauffeur zijn hier voorbeelden van. Deze indicatieve studie concentreert zich evenwel op de kosten en de milieuprestatie.

1.4 Opbouw rapport

De huidige samenstelling en milieuprestatie van het wagenpark wordt in hoofdstuk 2 beschreven. Ook wordt de ontwikkeling van het wagenpark geschetst aan de hand van op dit moment te verwachten vervangingen van voertuigen.

In hoofdstuk 3 worden het referentiescenario en alternatieve investerings-scenario's gepresenteerd en de gevolgen van deze scenario's bepaald voor de ontwikkeling van de milieuprestatie en kosten.

Hoofdstuk 4 geeft de bevindingen van deze studie weer. Daarbij worden de alternatieve scenario's zowel onderling als met het referentiescenario vergeleken.

¹ Een uitgebreide beschrijving van de beschikbare technische alternatieven en de verwachte technische ontwikkelingen is opgenomen in bijlage B.



2 Huidige wagenpark

2.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de huidige samenstelling en kenmerken van het wagenpark. Op basis van deze gegevens wordt de huidige milieuprestatie van het wagenpark berekend. Aan de hand van de verwachte vervangingen tot en met het jaar 2004 wordt vervolgens de ontwikkeling van het wagenpark geschetst. Deze ontwikkeling vormt de basis voor de berekening van de milieuprestatie en kosten in de verschillende scenario's van hoofdstuk 3.

2.2 Samenstelling van het wagenpark

In het wagenpark worden de volgende voertuigcategorieën onderscheiden:

- vrachtauto's;
- huisvuilwagens;
- bestelwagens;
- personenauto's;
- veegmachines.

Per categorie wordt aangegeven hoeveel voertuigen er zijn, aan welke emissienormen (Euroklasse) deze voldoen en wat de jaarkilometrage is. Net als in het programma "Milieuscan" wordt steeds de totale kilometrage voor elke combinatie van voertuigtype en Euroklasse weergegeven.

Bij de indeling van het wagenpark zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Euroklasse: de Euroklasse is vastgesteld aan de hand van het aanschafjaar van het voertuig (zie bijlage A). Daarbij zijn de voertuigen ingedeeld volgens Tabel 3;

Tabel 3 Indeling in Euroklassen aan de hand van jaar van aanschaf

Jaar van aanschaf	Euroklasse
1991 en eerder	Euro 0
1992 t/m 1996	Euro 1
1997 t/m 2000	Euro 2
2001 t/m 2004	Euro 3

- Kilometrage: de jaarkilometrages van elk voertuig zijn aangeleverd door de wagenparkbeheerder van de Gemeente Zoetermeer. Voor de voertuigen waarvan de jaarkilometrage niet bekend was, is op basis van het jaarlijkse brandstofverbruik van het voertuig en het gemiddelde verbruik per kilometer van de betreffende voertuigcategorie de jaarkilometrage geschat. Indien het brandstofverbruik ook niet bekend was, hebben we de gemiddelde jaarkilometrage van de overige voertuigen in dezelfde voertuigcategorie genomen.
- Verbruik: de wagenparkbeheerder van Zoetermeer heeft gegevens over het jaarlijkse dieserverbruik en de jaarlijkse brandstofkosten per voertuig aangeleverd. Voor de voertuigen op benzine en voor de voertuigen waarvan het dieserverbruik niet bekend was, hebben we met behulp van de jaarlijkse brandstofkosten en de gemiddelde brandstofprijs van 2000

het totale verbruik geschat. Indien van voertuigen geen gegevens voorhanden waren, hebben we het gemiddelde verbruik van de overige voertuigen in dezelfde voertuigcategorie genomen. Het verbruik per kilometer van de veegmachines is van RIVM cijfers afgeleid op basis van ervaringen door CE in eerdere onderzoeksprojecten [CE, 2000a]. De cijfers van het RIVM zijn gebaseerd op praktijkmetingen van TNO.

In de onderstaande tabellen wordt een overzicht gegeven van de kenmerken van elke voertuigcategorie in het wagenpark. De gegevens van het complete voertuigpark zijn terug te vinden in bijlage A. Het hoge verbruik van vrachtauto's is te verklaren doordat kolkenzuigers in deze categorie zijn ingedeeld. De bestelwagens hebben een hoger dan normaal verbruik omdat ze veel korte afstanden met koude motor binnen de bebouwde kom rijden.

Tabel 4 Kenmerken vrachtauto's

Categorie	Techniek	Euroklasse	Aantal	Kilometrage	Verbruik (km/liter)
Vrachtauto	Diesel	Euro 1	2	18.000	1,5
Vrachtauto	Diesel	Euro 2	5	56.000	2,3
Totaal			7	74.000	

Tabel 5 Kenmerken huisvuilwagens

Categorie	Techniek	Euroklasse	Aantal	Kilometrage	Verbruik (km/liter)
Huisvuilwagen	Diesel	Euro 1	4	42.000	1,1
Huisvuilwagen	Diesel	Euro 2	8	103.000	1,2
Huisvuilwagen	Diesel	Euro 3	1	13.000	1,1
Totaal			13	158.000	

Tabel 6 Kenmerken bestelwagens

Categorie	Techniek	Euroklasse	Aantal	Kilometrage	Verbruik (km/liter)
Bestelwagen	Benzine	Euro 0	4	26.000	6,3
Bestelwagen	Benzine	Euro 1	8	49.000	6,3
Bestelwagen	Benzine	Euro 2	20	183.000	6,3
Totaal	Benzine		32	258.000	
Bestelwagen	Diesel	Euro 1 IDI ²	15	111.000	5,3
Bestelwagen	Diesel	Euro 2 IDI	32	249.000	5,3
Bestelwagen	Diesel	Euro 2 DI ³	4	25.000	7,0
Totaal	Diesel		69	385.000	

Tabel 7 Kenmerken personenauto's

Categorie	Techniek	Euroklasse	Aantal	Kilometrage	Verbruik (km/liter)
Personenauto	Benzine	Euro 1	1	12.000	12,9
Personenauto	Benzine	Euro 2	4	105.000	12,5
Totaal	Benzine		5	117.000	

² Indirecte Diesel Injectie.

³ Directe Diesel Injectie.



Tabel 8 Kenmerken veegmachines⁴

Categorie	Techniek	Euroklasse	Aantal	Kilometrage	Verbruik (km/liter)
Veegmachine	Diesel R	Euro 1	2	7.000	0,4
Veegmachine	Diesel R	Euro 2	2	6.000	0,4
Veegmachine	Diesel R	Euro 3	2	6.000	0,5
Totaal			6	19.000	

2.3 Huidige milieuprestatie

2.3.1 Uitgangspunten

Op basis van de samenstelling en het gebruik van het wagenpark is de huidige milieuprestatie bepaald (zie Tabel 9). De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd bij de berekeningen:

- de emissies zijn vastgesteld met behulp van de standaard emissiefactoren van het "Milieuscan"-programma. Deze emissiefactoren zijn afkomstig van het RIVM en zijn tevens gebruikt bij de berekeningen voor de nationale milieuverkenningen 5 (MV5). De emissiefactoren zijn door het RIVM vastgesteld op grond van metingen door TNO en gelden voor de kilometers die afgelegd zijn binnen de bebouwde kom;
- voor CO₂ is niet alleen gekeken naar de directe emissies uit het voertuig, maar ook naar de emissies die vrijkomen bij productie van de brandstof. CO₂-emissies zijn geen lokaal probleem, maar een mondiaal probleem. Voor NO_x en PM₁₀ is alleen naar de directe, lokale emissies gekeken. Deze stoffen zijn vooral lokaal een probleem.

2.3.2 Effect van zwavelarme brandstof?

Het verlagen van het zwavelgehalte van diesel en benzine ten behoeve van het milieu is op dit moment actueel. Vooruitlopend op de Europese normen voor 2005 en aansluitend op ontwikkelingen in omringende landen, is begin dit jaar in ons land gestart met de verkoop van laagzwavelige diesel (< 50 ppm) op grote schaal. In beleidskringen wordt inmiddels gesproken over een verdere verlaging van het zwavelgehalte naar 10 ppm. Hoogzwavelige diesel is inmiddels al nergens meer te koop. Wat is nu het effect geweest van deze zwavelarme diesel op de emissie van luchtverontreinigende stoffen?

Voor het huidige voertuigpark is het effect nagenoeg nihil, behalve voor de bestelauto's op diesel die zijn uitgerust met een zogenaamde oxidatiekatalysator. Dit zijn alle Euro 2 en Euro 3 dieselauto's en ongeveer de helft van de Euro 1 dieselauto's. Bij deze voertuigen is de uitstoot van deeltjes (PM₁₀) met ca. 40% afgenomen. Hiermee is bij de berekening van de huidige en toekomstige milieuprestatie al rekening gehouden. De emissie van deeltjes door de veegmachines is nauwelijks gedaald, aangezien deze voertuigen in het algemeen niet met een oxidatiekatalysator zijn uitgerust.

De introductie van zwavelarme brandstoffen heeft voornamelijk een faciliterende functie. Door het lagere zwavelgehalte wordt het mogelijk allerlei nabehandelingstechnieken voor de uitlaatgassen (zoals bepaalde typen katalysatoren en roetfilters) toe te passen. Hierdoor wordt het eenvoudiger en

⁴ De veegmachines rijden op rode diesel.

goedkoper om voertuigen aan de toekomstige, strengere Europese emissie-normen te laten voldoen (Euro 4, 5). Bij de personenauto op benzine wordt het ook mogelijk andere, zuiniger verbrandingsprincipes optimaal te benutten, zoals directe brandstofinjectie (voorbeeld: Mitsubishi GDI techniek). Overigens bestaat over de introductie van laagzwavelige benzine op dit moment minder duidelijkheid dan bij diesel [CE, 2000b]. Het zwavelgehalte van benzine ligt in het algemeen al in de buurt van 50 ppm.

Tabel 9 De huidige milieuprestatie van het wagenpark

Categorie	PM ₁₀ (kg)	Aandeel	CO ₂ (ton)	Aandeel	NO _x (kg)	Aandeel
Vrachtauto (VA)	20	9%	104	11%	959	22%
Huisvuilwagen (HVV)	60	27%	374	40%	2382	55%
Bestelwagen (BW)	72	33%	308	33%	604	14%
Veegmachine (VM)	66	30%	125	13%	345	8%
Personenauto (PA)	0	0%	25	3%	17	0%
Totaal	218	100%	936	100%	4.307	100%

Uit de tabel blijkt dat ruim de helft van de uitstoot van NO_x en 40% van de CO₂-emissie voor rekening komt van de huisvuilwagens. Hoewel er slechts 13 huisvuilwagens in het wagenpark aanwezig zijn, zorgt het relatief hoge brandstofverbruik per kilometer voor een aanzienlijke emissie per jaar.

De bestelwagens en huisvuilwagens samen hebben een aandeel van 70% in de totale uitstoot van zowel NO_x en CO₂. Dit geeft aan dat reductie van de emissie in deze voertuigcategorieën een grote bijdrage kan leveren aan de verbetering van de milieuprestatie van het gehele wagenpark. De emissies van personenauto's vormen maar een klein deel van de totale emissie, de uitstoot van PM₁₀ is zelfs verwaarloosbaar.

De huidige milieuprestatie zal in hoofdstuk 3 gebruikt worden als referentie om de effecten van de verschillende investeringsscenario's te vergelijken.

2.4 Verwachte ontwikkeling van het wagenpark

Door de wagenparkbeheerder van de Gemeente Zoetermeer zijn gegevens over aanschafjaar en afschrijvingstermijn aangeleverd. Op basis van deze gegevens is voor de scenario's in deze studie een inschatting gemaakt van de verwachte ontwikkeling van het wagenpark tot en met het jaar 2004. In deze studie gaan we er van uit dat voertuigen zullen worden vervangen door vergelijkbare voertuigen met een zelfde jaarkilometrage. In de "Milieuscan" gebeurt dit door oude voertuigen te verwijderen en nieuwe toe te voegen, waarbij de totale parkkilometrage gelijk blijft.

Binnenkort start de gemeente met ondergrondse inzameling van afval. De verwachting is dat dit geen effect heeft op het aantal gereden kilometers en het brandstofverbruik van huisvuilwagens.

In het huidige wagenpark is een aantal voertuigen aanwezig waarvan de afschrijvingstermijn op dit moment al is verstreken. Voor de berekeningen in deze studie gaan we ervan uit dat deze alle in 2002 worden vervangen. Er wordt benadrukt dat de daadwerkelijke ontwikkeling van het wagenpark afhangt van de investeringsbeslissingen van de Gemeente Zoetermeer. In de onderstaande tabellen worden voor elk jaar de te vervangen voertuigen aangeduid.



Tabel 10 Voertuigvervangingen in het jaar 2002

Categorie	Techniek	Euroklasse	Aantal	Kilometrage	Verbruik (km/liter)
Vrachtauto	Diesel	Euro 1	2	18.000	1,5
Huisvuilwagen	Diesel	Euro 1	4 ⁵	31.000	1,1
Bestelwagen	Diesel	Euro 1	12	89.000	5,3
Bestelwagen	Benzine	Euro 0	4	26.000	6,3
Bestelwagen	Benzine	Euro 1	5	24.000	6,3
Personenauto	Benzine	Euro 0	1	12.000	12,9
Personenauto	Benzine	Euro 1	2	69.000	11,3
Veegmachine	Diesel R	Euro 1	2	7.000	0,4

Tabel 11 Voertuigvervangingen in het jaar 2003

Categorie	Techniek	Euroklasse	Aantal	Kilometrage	Verbruik (km/liter)
Bestelwagen	Diesel	Euro 1	3	21.000	5,3
Bestelwagen	Benzine	Euro 1	3	25.000	6,3

Tabel 12 Voertuigvervangingen in het jaar 2004

Categorie	Techniek	Euroklasse	Aantal	Kilometrage	Verbruik (km/liter)
Vrachtauto	Diesel	Euro 2	1	8.000	4,8
Bestelwagen	Diesel	Euro 2	2	17.000	5,3
Bestelwagen	Benzine	Euro 2	5	48.000	6,3
Veegmachine	Diesel R	Euro 2	2	6.000	0,4

⁵ Eén van de te vervangen huisvuilauto's in 2002 is op het moment van dit onderzoek al besteld, hierdoor wordt deze auto in alle varianten vervangen door hetzelfde type huisvuilauto (namelijk diesel Euro 3)



3 Inzet van alternatieven

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zal een aantal investeringsscenario's in het wagenpark worden vergeleken op milieuprestatie en kosten. Als referentie zal daarbij het "Europa" scenario dienen waarbij steeds gekozen wordt voor de inzet van conventionele technieken en de milieuprestatie verbetert ten gevolge van de ontwikkeling van de Europese emissie-eisen. In de alternatieve scenario's wordt de vervanging van afgeschreven conventionele voertuigen door voertuigen met alternatieve aandrijving beschouwd. Deze alternatieve scenario's zijn gekozen in overleg met het Energie Agentschap Zoetermeer. Een overzicht van alternatieve aandrijftechnieken is opgenomen in bijlage B.

3.2 Overzicht van de scenario's

Variant 1 Europa

Bij de geplande investeringen wordt steeds gekozen voor de *conventionele technieken*. Voor de zware voertuigen is dit de dieseltechniek. Voor de lichte voertuigen betekent dit dat gekozen wordt voor benzine of diesel, afhankelijk van de techniek die in het te vervangen voertuig is toegepast.

In deze variant worden geen aanvullende milieumaatregelen getroffen ten aanzien van het eigen wagenpark. De ontwikkeling van de milieuprestatie wordt bepaald door de die van de Europese emissie-eisen. Deze uit zich door de geleidelijke instroom van Euro 3 voertuigen in het wagenpark.

Variant 2 Aardgas

Bij de geplande investeringen in nieuwe huisvuilwagens, vrachtauto's en bestelwagens wordt gekozen voor toepassing van aardgas (CNG). Hoewel vrachtauto's een beperkt aandeel in de totale emissies hebben (zie Tabel 9), kan het vanwege het grotere volume aan brandstof dat wordt afgenomen toch interessant zijn om ook hierbij aardgas toe te passen. Een groter afnamevolume zal in het algemeen leiden tot een lagere aardgasprijs per kubieke meter⁶. Voor personenauto's en veegmachines wordt gekozen voor respectievelijk benzine en (rode) diesel, de conventionele techniek.

Variant 3 Elektrisch

Voor de personenauto's en bestelwagens wordt gekozen voor elektrische aandrijving. De overige voertuigen blijven op diesel rijden.

3.3 Ontwikkeling van de milieuprestatie

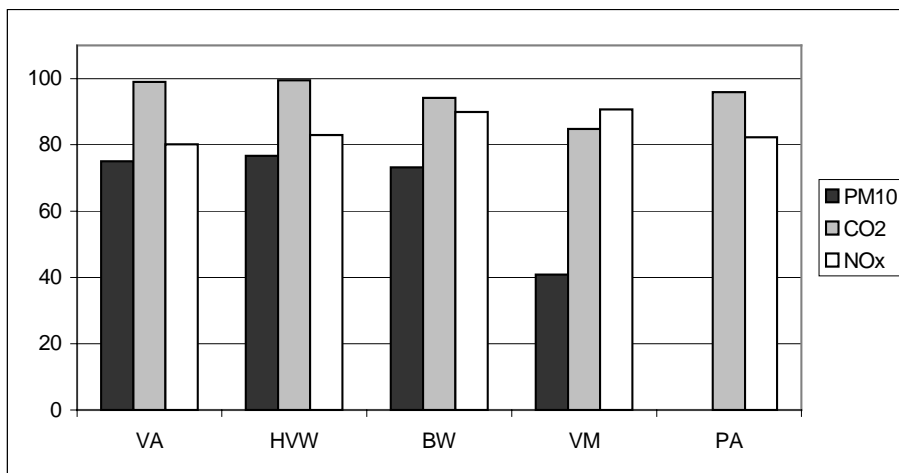
Voor de drie beschouwde varianten is de ontwikkeling van de milieuprestatie voor de jaren 2002 tot en met 2004 berekend.

⁶ Een en ander zal in de praktijk afhangen van de overeenkomst die met de leverancier van het aardgas wordt afgesloten. Naast de kosten voor het aardgas zelf maken hierbij vaak ook de (exploitatie)kosten van een aardgasvulstation onderdeel uit van een dergelijke overeenkomst.

3.3.1 Variant 1 Europa

In deze variant worden bij de te vervangen voertuigen steeds de conventionele aandrijftechnieken ingezet. Door de steeds strenger wordende Europese emissie-eisen zullen de emissies van het wagenpark echter afnemen naarmate er oude voertuigen vervangen worden door nieuwe, schonere voertuigen. Het effect hiervan op voertuigniveau komt tot uitdrukking wanneer de milieuprestatie van het gehele wagenpark voor het jaar 2004 wordt vergeleken met de huidige milieuprestatie. Dit is weergegeven in Figuur 1.

Figuur 1 Milieuprestatie gehele wagenpark per voertuigcategorie in 2004, Europa-variant (index 2001 = 100)



Vergeleken met de emissies in het jaar 2001 neemt vooral de uitstoot van deeltjes (PM_{10}) af. Bij de veegmachines is de afname het sterkst, namelijk bijna 60%. Dit komt voornamelijk doordat vier van de zes veegmachines worden vervangen in de periode 2002-2004. De emissie van CO_2 neemt nauwelijks af. Dit komt doordat naar verwachting het brandstofverbruik van de voertuigen in de toekomst nauwelijks zal wijzigen, omdat de emissienormen geen eisen voor de emissie van CO_2 bevatten.

De emissies van de personenauto's vormen een zeer gering deel van de emissie van het totale park (zie Tabel 9). De emissie van roetdeeltjes is zelfs verwaarloosbaar en om deze reden weggelaten uit Figuur 1.

In Tabel 13 is de milieuprestatie voor het jaar 2004 van het gehele wagenpark samengevat. Deze milieuprestatie kan worden vergeleken met de huidige milieuprestatie (zie Tabel 9). Het blijkt dat voor het totale park de uitstoot van deeltjes (PM_{10}) met ruim 35% zal afnemen en de uitstoot van NO_x met ca. 16%. De emissie van CO_2 neemt slechts met enkele procenten af. Voor CO_2 en NO_x blijven de aandelen van de verschillende voertuigtypen vrijwel gelijk.



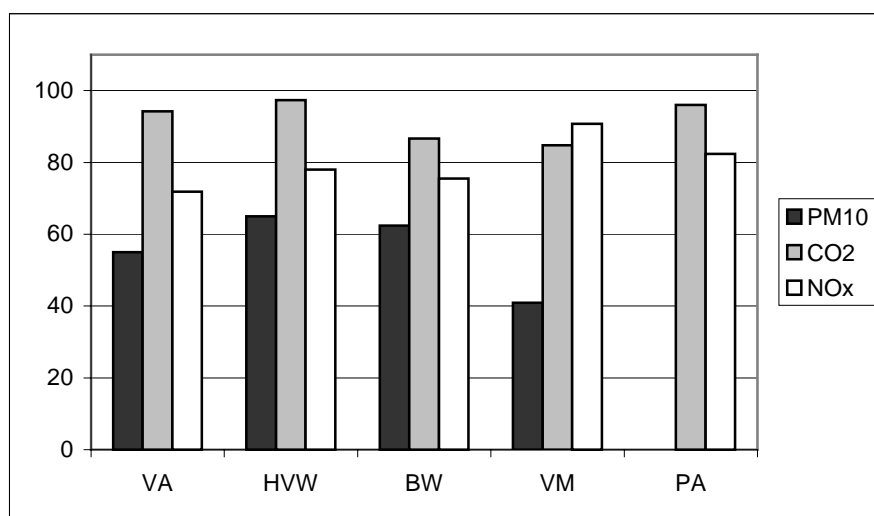
Tabel 13 Milieuprestatie van het gehele wagenpark in 2004 in Europa-variant

Categorie	PM ₁₀ (kg)	Aandeel	CO ₂ (ton)	aandeel	NO _x (kg)	Aandeel
Vrachtauto (VA)	15	11%	103	12%	769	21%
Huisvuilwagen (HVV)	46	33%	372	42%	1976	55%
Bestelwagen (BW)	53	38%	290	32%	543	15%
Veegmachine (VM)	27	19%	106	12%	313	9%
Personenauto (PA)	0	0%	24	3%	14	0%
Totaal	141	100%	895	100%	3.615	100%

3.3.2 Variant 2 Aardgas

In deze variant wordt bij de geplande investeringen in nieuwe huisvuilwagens, vrachtauto's en bestelwagens steeds gekozen voor toepassing van aardgas (CNG)⁷. Voor personenauto's en veegmachines wordt gekozen voor de conventionele variant. Bij de personenauto is de voornaamste reden hiervoor de geringe bijdrage aan de emissies van het wagenpark. Bij de veegmachines is het op dit moment technisch niet mogelijk aandrijving op aardgas toe te passen.

Figuur 2 Milieuprestatie gehele wagenpark per voertuigcategorie in 2004, aardgas-variant (index 2001 = 100)



Zoals blijkt uit Figuur 2, leidt toepassing van aardgas tot een verdergaande reductie van de uitstoot dan bij de Europa-variant (vergelijk Figuur 1). De PM₁₀-emissie van vrachtauto's, huisvuilwagens en bestelwagens is in 2004 tussen 35% en 45% verminderd ten opzichte van de huidige emissie. Op-

⁷ Er wordt in deze studie van uit gegaan dat toepassing van aardgas vrijwel direct mogelijk is. Van de op dit moment geplande vervanging van 4 huisvuilauto's in 2002 worden daarom 3 voertuigen verondersteld op aardgas te gaan rijden. Het vierde voertuig wordt al zeer binnenkort geleverd en is niet meer op aardgas te bestellen. In de praktijk zal een snelle toepassing van aardgas niet mogelijk zijn doordat eerst een vulstation zal moeten worden geïnstalleerd. De aardgasvariant heeft dan ook sterk illustratief karakter.

vallend is ook dat toepassing van aardgas leidt tot een (geringe) afname van de CO₂-emissie. Dit heeft te maken met de geringe koolstofinhoud van aardgas.

Tabel 14 laat zien dat de milieuprestatie van het gehele wagenpark in de aardgasvariant aanzienlijk beter is dan in de Europa-variant. In 2004 is de extra emissiereductie van deeltjes 13%, van NO_x 8% en van CO₂ 4%.

Tabel 14 Milieuprestatie van het gehele wagenpark in 2004 in de aardgas-variant

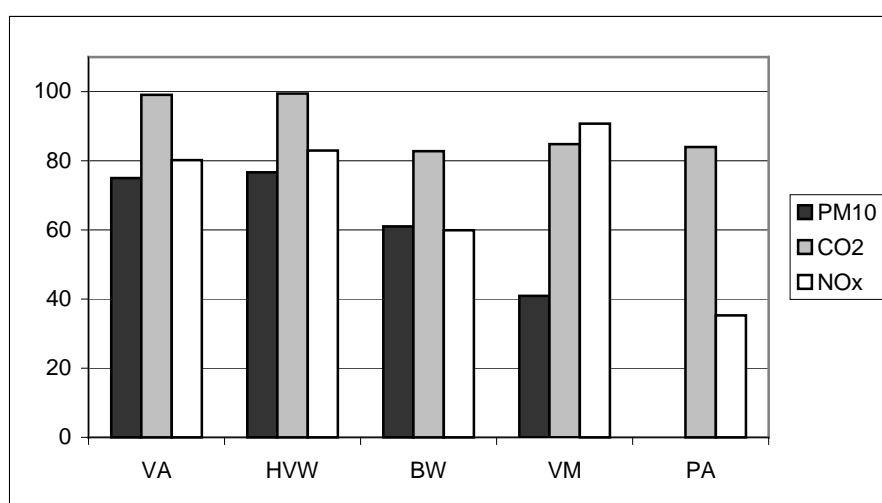
Categorie	PM ₁₀ (kg)	Aandeel	CO ₂ (ton)	Aandeel	NO _x (kg)	Aandeel
Vrachtauto	11	9%	98	11%	689	21%
Huisvuilwagen	39	32%	364	42%	1858	56%
Bestelwagen	45	37%	267	31%	456	14%
Veegmachine	27	22%	106	12%	313	9%
Personenauto	0	0%	24	3%	14	0%
Totaal	122	100%	859	100%	3330	100%

3.3.3 Variant 3 Elektrisch

In deze variant wordt ervoor gekozen de bestelwagens en personenauto's elektrisch aan te drijven. Voor de overige voertuigen wordt gekozen voor de conventionele technieken (diesel).

De toepassing van elektrische voertuigen heeft bij de bestelwagens tot gevolg dat de uitstoot van NO_x met 15 procentpunt meer afneemt dan bij de aardgas-variant. De afname van uitstoot van deeltjes is vrijwel gelijk aan de aardgas-variant, terwijl de uitstoot van CO₂ slechts iets lager is. Bij de personenauto's is de uitstoot van NO_x bijna 50 procentpunt lager dan in de andere varianten en de uitstoot van CO₂ is ruim 10 procentpunt lager.

Figuur 3 Milieuprestatie gehele wagenpark per voertuigcategorie in 2004, elektrisch-variant (index 2001 = 100)



Toepassing van elektrische voertuigen bij bestelwagens en personenauto's heeft voor het totale wagenpark tot gevolg dat de uitstoot van deeltjes met 6% lager is ten opzichte van de Europa-variant in 2004. De uitstoot van NO_x is 5% en van CO₂ 4% lager dan in de Europa-variant. De vermindering van emissies is lager dan bij de aardgas-variant, omdat personenauto's een zeer laag aandeel hebben in de totale uitstoot. Toch heeft de lagere uitstoot van de bestelwagens nog een behoorlijke invloed op de uitstoot van het totale wagenpark.

Tabel 15 Milieuprestatie van het gehele wagenpark in 2004, elektrisch-variant

Categorie	PM ₁₀ (kg)	Aandeel	CO ₂ (ton)	Aandeel	NO _x (kg)	Aandeel
Vrachtauto	15	11%	103	12%	769	22%
Huisvuilwagen	46	35%	372	43%	1976	58%
Bestelwagen	44	33%	255	30%	362	11%
Veegmachine	27	20%	106	12%	313	9%
Personenauto	0	0%	21	2%	6	0%
Totaal	132	100%	857	100%	3426	100%

3.4 Ontwikkeling van de kosten

In deze paragraaf wordt een inschatting gemaakt van de verwachte meerkosten van de varianten waarin aanvullende milieumaatregelen worden getroffen ten opzichte van de Europa-variant (de situatie waarin geen aanvullende milieumaatregelen worden genomen).

3.4.1 Beschouwde kostenposten

De volgende kostenposten worden in de berekeningen meegenomen:

- aanschafkosten;
- brandstofkosten;
- onderhoudskosten.

Deze kosten zijn direct toe te rekenen aan de nieuwe voertuigen. Voor de overige kostenposten, zoals vulinstallaties of aanpassingen in de werkplaats, wordt alleen een indicatie gegeven van de verwachte totaalkosten. Bij de beschouwing van de kosten dient verder het volgende in acht te worden genomen:

- de referentiekosten in het milieuscan programma dienen ter vergelijking van investeringsvarianten. Ze dienen niet tot doel een beeld te geven van de absolute kosten van het wagenpark;
- de kosten geven slechts een indicatie van de werkelijke (meer)kosten. De kosten zijn mede vastgesteld op grond van eerdere ervaringen met soortgelijke voertuigen. Deze ervaringen hoeven niet representatief te zijn voor toekomstige ervaringen met soortgelijke voertuigen;
- de verdeling van de kosten is niet meegenomen in de analyse. Eventuele subsidieregelingen of sponsering blijven in de analyse buiten beschouwing. Wettelijke vaststaande regelingen die algemeen geldend zijn, zoals differentiatie van MRB en accijnzen voor LPG, zijn wel meegenomen.

3.4.2 Uitgangspunten

De volgende uitgangspunten zijn bij de berekeningen gehanteerd:

Algemeen

- de afschrijvingsperiode en de jaarkilometrage van voertuigen zijn ontleend aan de voertuiggegevens van de Gemeente Zoetermeer. Voor de restwaarde zijn standaardwaarden gehanteerd. De jaarkilometrage van de te vervangen voertuigen staat vermeld in Tabel 8 tot en met Tabel 11;
- de afschrijving is lineair met een rentepercentage van 6,1 procent;
- de gehanteerde brandstofprijzen zijn:
 - Benzine f 2,48 (€ 1,13) per liter (gemiddelde 2000)
 - Diesel f 1,67 (€ 0,76) per liter (gegevens Zoetermeer)
 f 1,58 (€ 0,72) per liter voor huisvuilauto's⁸
 - Rode diesel f 1,07 (€ 0,49) per liter (gegevens Zoetermeer)Voor CNG (aardgas) is een bedrag van f 0,40 (€ 0,18) per m³ gehanteerd en voor elektriciteit f 0,15 (€ 0,07) per kWh. Dit komt overeen met het grootverbruikertarief.

Zware voertuigen

- de meerkosten bij aanschaf van een Euro 3 dieselmotor ten opzichte van een Euro 2 dieselmotor bedragen ca. f 5.000,= (€ 2.269) voor vrachtauto's en huisvuilwagens [CE, 1997];
- de meerkosten bij aanschaf van een aardgasmotor in vrachtauto's en huisvuilwagens bedragen ca. f 65.000,= (€ 29.496) ten opzichte van een dieselmotor (Euro 3) [CE, 1999];
- voor vrachtauto's en huisvuilwagens op aardgas is ervan uitgegaan dat de onderhoudskosten f 0,10 (€ 0,045) per kilometer hoger zijn dan bij dieselveertuigen [NEA,1997];
- voor vrachtauto's geldt geen differentiatie van de MRB naar brandstofs-oort. Voor de hoogte van de MRB is uitgegaan van de gegevens die geleverd zijn door de Gemeente Zoetermeer;

Lichte voertuigen

- voor kleine personenauto's is er van uitgegaan dat de aanschafkosten van elektrische aandrijving f 17.500,= (€ 7.941) hoger zijn en voor grote personenauto's f 24.500,= (€ 11.118, PowerShift, 2000 en CE, 2000c). Voor bestelwagens zijn de aangenomen meerkosten f 28.000,= (€ 12.706). Bovendien gaan we bij elektrisch aangedreven auto's uit van meerkosten van f 20.000,= (€ 9.076) voor de aanschaf van een accu;
- de aanschafkosten voor dieselaandrijving voor een bestelwagen bedraagt f 1.200,= (€ 545) meer dan voor benzine;
- de aanschafkosten voor bestelwagens op aardgasmotoren zijn f 6.000,= (€ 2.723) hoger dan benzinemotoren;

8 Voor huisvuilauto's kan voor het deel van de dieselbrandstof dat gebruikt wordt voor het aandrijven van de kraakpers restitutie van accijns worden verkregen. In de praktijk hanteert de belastingdienst daarbij 50% van de totaal verbruikte brandstof. De restitutie bedraagt het verschil tussen het hoge accijnstarief (f 748,70 per 1000 l) en het lage accijnstarief (f 102,60 per 1.000 l). Wel dient over het deel waarvoor restitutie wordt verkregen regulerende energiebelasting (REB) betaald te worden. Deze belasting bedraagt f 281,10 per 1.000 l (alle bedragen op moment van schrijven). Netto bedraagt de restitutie f 0,365 per liter ofwel € 0,166 per liter.



- er is aangenomen dat Euro 3 voertuigen ca. *f* 2.000,= (€ 908) duurder zijn dan Euro 2 voertuigen;
- aangenomen is dat IDI dieselmotoren zijn toegepast in Euro 0 en Euro 1 voertuigen. De modernere direct ingespoten dieselmotoren (DI) worden verondersteld te zijn toegepast in Euro 3 voertuigen. De Gemeente Zoetermeer heeft gegevens aangeleverd over de toepassing van DI in de Euro 2 voertuigen. De meerkosten ten opzichte van een IDI motor bedragen ca. *f* 500,= (€ 227) en ten opzichte van een benzinemotor ca. *f* 1.000,= (€ 454);
- voor bestelwagens en personenauto's is aangenomen dat het onderhoud van dieselvoertuigen 1 cent (0,45 Eurocent) per kilometer hoger is dan het onderhoud van benzinemotoren [CE, 1997];
- voor personenauto's en bestelwagens is het MRB-tarief zoals aangeleverd door de Gemeente Zoetermeer gehanteerd. Elektrische voertuigen zijn vrijgesteld van MRB.

3.4.3 Resultaten

Tabel 16 Indicatie van meerkosten per jaar (in *f*) ten opzichte van de Europa-variant

	2002	2003	2004	Totaal ⁹	Gasafname 2010 (m ³) ¹⁰
Aardgas					
Vrachtauto	6.500	6.500	18.500	31.500	31.500
Huisvuilwagen	500	500	500	1.000	152.000
Bestelwagen	-12.500	-18.000	-28.000	-58.500	124.500
Veegmachine	0	0	0	0	
Personenauto	0	0	0	0	
Totaal	-5.500	-11.000	-9.000	-26.000	308.000
Totaal in €	-2.500	-5.000	-4.000	-12.000	
Elektrisch					
Vrachtauto	0	0	0	0	
Huisvuilwagen	0	0	0	0	
Bestelwagen	155.000	200.500	378.000	734.000	
Veegmachine	0	0	0	0	
Personenauto	21.500	21.500	21.500	64.500	
Totaal	177.000	222.000	400.000	798.500	
Totaal in €	80.500	100.500	181.500	362.500	

De ontwikkeling van de kosten bij de verschillende investeringsvarianten ten opzichte van de referentievariant staat weergegeven in Tabel 16. We zien dat toepassing van aardgas bij bestelwagens kan leiden tot een besparing in de kosten van ca. *f* 58.500,= (€ 26.500) over de periode 2002-2004. Dit wordt veroorzaakt door de beduidend lagere brandstofkosten van aardgas ten opzichte van diesel en benzine, in combinatie met een relatief hoog verbruik van de bestelwagens. Deze lagere brandstofkosten compenseren de

⁹ Totalen kunnen afwijken van de jaarlijkse optellingen vanwege afrondingsverschillen.

¹⁰ Voor de berekening van de afname van aardgas zijn de volgende omrekeningsfactoren gebruikt: 1 liter diesel komt overeen met 1,13 m³ aardgasequivalent en 1 liter benzine komt overeen met 1,04 m³ aardgasequivalent (Senter, 2000).

hogere afschrijvingskosten door de duurdere aanschaf en de hogere onderhoudskosten ruimschoots.

Bij huisvuilwagens is toepassing van aardgas vrijwel budgetneutraal; alleen bij vrachtauto's leidt toepassing van aardgas tot extra kosten (ca. f 31.500,= (€ 14.500) voor de periode 2002-2004). In dit geval zijn de brandstofkosten en verbruik in het referentiescenario (dieselaandrijving, Europa-variant) dusdanig laag dat toepassing van aardgas onvoldoende kostenbesparing met zich mee brengt om de hogere afschrijvingskosten te compenseren. De bestelwagens compenseren de extra kosten voor vrachtauto's echter ruimschoots. Tevens leidt toepassing van aardgas bij vrachtauto's tot een hogere afname van aardgas (zie Tabel 16), wat voor een eventueel vulstation interessant kan zijn. Toepassing van aardgas bij vrachtauto's, bestelwagens en huisvuilwagens samen leidt voor de periode 2002 tot en met 2004 tot een besparing van ca. f 26.000,= (€ 12.000).

Toepassing van elektrisch aangedreven voertuigen leidt voor zowel personenauto's als bestelwagens tot extra kosten. Voor de gehele periode 2002-2004 zullen de meerkosten ten opzichte van de Europa-variant ca. f 798.500,= (€ 362.500) bedragen. Toepassing van elektrisch aangedreven auto's is financieel gezien geen goede optie, omdat de gemiddelde jaarkilometrage van bestelwagens erg laag is.



4 Conclusies

4.1 Inleiding

Met de analyses en beschrijvingen in dit rapport is geprobeerd om meer inzicht te verschaffen in de alternatieven voor het verbeteren van de milieuprestatie van het eigen wagenpark van de Gemeente Zoetermeer. Met name voor de vraag of toepassing van aardgas bij huisvuilwagens, vrachtauto's, veegmachines en bestelwagens een zinvolle en betaalbare optie is, kan deze studie een eerste indruk geven. De resultaten geven vooral aan welke alternatieven er zijn en wat de gevolgen van deze alternatieven kunnen zijn voor de milieuprestatie en de kosten. De 'beste' keuze is afhankelijk van de milieudoelstellingen ten aanzien van het eigen wagenpark die de gemeente zichzelf stelt. Een alternatieve techniek is niet een doel, maar een middel om de negatieve effecten van het verkeer op het milieu te verminderen.

4.2 De meest opvallende resultaten

De meest opvallende resultaten worden hieronder kort samengevat:

- alle varianten leiden tot een verbetering van de milieuprestatie van het gehele wagenpark;
- het referentiescenario (Europa-variant) leidt via de aangescherpte Europese emissie-eisen in het jaar 2004 tot een aanzienlijke reductie van de uitstoot van roetdeeltjes (ca. 35%) en in mindere mate van NO_x (ca. 16%), in vergelijking met de huidige milieuprestatie. De emissie van CO₂ neemt slechts enkele procenten af;
- de aardgas-variant leidt in 2004 tot een aanzienlijke verdere afname van NO_x (ca. 13%) en PM₁₀ (ca. 8%) in vergelijking met de Europa-variant. Ook de emissie van CO₂ kan 4% verder afnemen. De toepassing van aardgas bespaart ook nog eens in totaal f 26.000,= (€ 12.000) aan kosten (voor de voertuigen!). Dit komt neer op gemiddeld f 8.500,= (€ 4.000) per jaar. Alleen voor vrachtauto's betekent toepassing van aardgas een kostenverhoging. Indien er voor gekozen wordt om bij vrachtauto's geen aardgas toe te passen, zal de besparing oplopen tot in totaal f 57.500,= (€ 26.000). Dit is gemiddeld f 19.000,= (€ 8.500) per jaar;
- toepassing van elektrisch aangedreven voertuigen bij personenauto's en bestelwagens leidt ertoe dat de uitstoot van deeltjes door het gehele wagenpark met 6% kan verminderen ten opzichte van het referentiescenario. De uitstoot van NO_x en CO₂ kan dalen met respectievelijk 5 en 4%. De vermindering in uitstoot is ten opzichte van de aardgasvariant laag, omdat vrachtauto's en huisvuilwagens niet elektrisch aangedreven kunnen worden (maar wel op aardgas kunnen rijden). De meerkosten van toepassing van elektrische voertuigen bedragen gemiddeld f 266.000,= (€ 121.000) per jaar ten opzichte van het referentiescenario.

4.3 Tot slot

Aardgas interessant?

Naast de kosten die in deze studie zijn beschouwd zijn er nog andere kostenposten van belang voor de keuze voor een alternatieve techniek.

Voor toepassing van aardgas in voertuigen is een vulstation nodig. Voor deze brandstof bestaat momenteel nog geen wijd vertakt, dekkend netwerk van vulstations. Dit kan betekenen dat geïnvesteerd zal moeten worden in

de aanschaf van een vulstation. De aanschafkosten van een vulstation worden voor een groot deel bepaald door de capaciteit. De kosten van een CNG compressorinstallatie met vijftientig afleverpunten zijn in 1997 geraamd op ca. 1,85 miljoen gulden [Ministerie V&W, 1998]. Voor kleinere installaties liggen de aanschafkosten ruwweg tussen 2 ton en 1,5 miljoen gulden. De meerkosten per voertuig als gevolg van deze installatie zijn afhankelijk van het aantal voertuigen waarover het vulstation wordt afgeschreven. Toepassing van een snelvulinstallatie zal leiden tot hogere kosten (ca. 50 tot 75 duizend gulden per installatie).

Naast de aanschafkosten van een vulstation zal ook het onderhoud ervan kosten met zich meebrengen. Naar schatting gaat het dan om een bedrag van ca. f 5.000,= (€ 2.250) tot f 10.000,= (€ 4.500) per jaar. Een schatting van de totale jaarlijkse kosten van een vulstation (afschrijving en onderhoud) bedraagt bij een rentevoet van 6,1 procent en een afschrijfstermijn van 10 jaar ca. f 250.000,= (€ 113.500) per jaar (Ministerie van V&W, 1998). Daarnaast zullen in veel gevallen de kosten voor verzekering van het vulstation ook hoger zijn dan bij een tankinstallatie voor diesel.

Bij toepassing van CNG zullen tenslotte ook de volgende kostenposten een rol kunnen spelen [Ministerie V&W, 1998]:

- aanpassen ventilatie werkplaats en stalling;
- aanpassen elektrische installatie werkplaats en stalling;
- aanbrengen gasdetectie werkplaats en stalling;
- extra meet-, test- en handgereedschap.

Het totaal van deze vier kostenposten kan in eerste benadering worden geschat op ca. 150 duizend gulden (€ 68.000).

Al met al lijkt toepassing van aardgas in financieel opzicht alleen interessant voor de Gemeente Zoetermeer indien de kosten van een tankinstallatie aanzienlijk kunnen worden gereduceerd. Dit zou wellicht mogelijk zijn door een tankstation gezamenlijk met andere partijen te gebruiken en te bekostigen. Andere mogelijkheden zijn dat de aardgasleverancier het tankstation bekostigt of dat er een substantiële subsidie kan worden verkregen op de aanschaf.



Informatiebronnen

CE, 1997

Optimale brandstofmix voor het wegverkeer

J.M.W. Dings et al.

Delft, 1997

CE, 1999

Een schoner en stiller stads- en streekvervoer via concessieverlening

D. Metz et al.

Delft, 1999

CE, 2000a

Milieu- en efficiencyscan wagenpark Amsterdamse stadsdelen

D. Metz en J.P.L. Vermeulen

Delft, 2000

CE, 2000b

Milieu- en efficiencyscan wagenpark Amsterdamse stadsdelen

B. Kampman et al.

Delft, 2000

CE, 2000c

Accumateriaal verwerkt

B. Klimbie et al.

Delft, 2000

Gemeente Zoetermeer, 2001

Dienst Stadswerken

Overzichten samenstelling eigen wagenpark

Zoetermeer, 2001

IEA, 1999

International Energy Agency

Assessment of electrical vehicle impacts on energy, environment and transportation systems

1999

Min. V&W, 1998

Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Discussienotitie van de Werkgroep Gasconvenant

Den Haag, 1998

NEA, 1997

Evaluatie exploitatie electrocar

Rijswijk, 1997

Powershift, 2000

<http://www.est-powershift.org.uk/register/powershift/calc/quick.html>

Senter, 2000

Uitvoeringsregeling energie-investeringsaftrek 2001



CE

**Oplossingen voor
milieu, economie
en technologie**

Oude Delft 180
2611 HH Delft
tel: 015 2 150 150
fax: 015 2 150 151
e-mail: ce@ce.nl
website: www.ce.n

Milieuscan wagenpark Zoetermeer

Bijlagen

Delft, september 2001

Opgesteld door: drs. Andries Hof
dr. ir. Joost Vermeulen





A Europese emissienormen

In deze bijlage zijn drie tabellen opgenomen die een overzicht geven van de Europese emissie-eisen voor verschillende voertuigtypen: zware dieselvoertuigen, bestelauto's en personenauto's. Dit zijn niet de hoeveelheden die in de praktijk worden geëmitteerd, maar de maximum emissies die bij een bepaalde, voorgeschreven testcyclus vrij mogen komen. De ontwikkeling van de emissie-eisen geeft echter wel een idee van de mate waarin de emissies per voertuig in de toekomst zullen afnemen.

Tabel 17 Emissienormen wegvoertuigen zwaarder dan 3,5 ton (gr/kWh)

Ingangsjaar ^{a)} : Testcyclus ^{b)}	Euro1	Euro2	Euro3		Euro4		Euro5	
	1992 ESC	1996 ESC	2000 ESC	ETC	2005 ESC	ETC	2008 ESC	ETC
CO	4,5	4,0	2,1	5,45	1,5	4,0	1,5	4,0
VOS	1,1	1,1	0,66		0,46		0,46	
NMVOS				0,78		0,55		0,55
CH ₄				1,6		1,1		1,1
NO _x	8,0	7,0	5,0	5,0	3,5	3,5	2,0	2,0
PM ₁₀ ^{c)}	> 85 kW	0,61	0,26	0,13	0,21			
	< 85 kW	0,36	0,15	0,10	0,16	0,02	0,03	0,02

- a Het vermelde jaar is het jaar waarin alle nieuw geproduceerde voertuigen aan de norm dienen te voldoen. Ongeveer een jaar later dienen ook de nieuw verkochte voertuigen aan de desbetreffende norm te voldoen.
- b Vanaf 2000 zijn er twee verschillende testcycli voorgeschreven: de Steady State test (ESC) en de transcient test (ETC).
- c Voor motoren met een vermogen minder dan 85 kW geldt een hogere eis dan voor motoren met een vermogen boven 85 kW.

Tabel 18 Emissienormen bestelauto's (gr/km)

Ingangs- jaar: Categorie a):	Euro 1 1992			Euro 2 1996			Euro 3 2000			Euro 4 2005		
	L	M	Z	L	M	Z	L	M	Z	L	M	Z
Benzine												
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
Diesel												
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 b)	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 < 1250 kg; Midden: RM > 1250 kg en < 1700 kg; Zwaar: RM > 1700 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 19 Emissienormen personenauto's (gr/km)

Ingangsjaar:		Euro 1 1992	Euro 2 1996	Euro 3 2000	Euro 4 2005
Benzine					
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
Diesel					
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



B Alternatieve technieken

B.1 Inleiding

In deze bijlage volgt een algemene beschrijving van de technische alternatieven voor de verschillende beschouwde voertuigcategorieën:

- vrachtauto's en huisvuilwagens (paragraaf B.2);
- bestelwagens, veegwagens en personenauto's (paragraaf B.3).

Voor elk van deze voertuigcategorieën is onderscheid gemaakt tussen technieken die momenteel beschikbaar zijn op de markt en technieken die naar verwachting pas op de langere termijn een alternatief zullen vormen.

B.2 Vrachtauto's en huisvuilwagens

B.2.1 Inleiding

De mogelijkheden voor alternatieve aandrijvingen zijn afhankelijk van het totaalgewicht van de vrachtauto. Bepaalde alternatieve technologieën zullen toepasbaar zijn in alle vrachtauto's, terwijl andere bijvoorbeeld alleen voor lichte vrachtauto's geschikt zullen zijn.

De voertuigen die ingezet worden voor de inzameling van huisvuil vertonen grote overeenkomsten met vrachtauto's. De functie van een huisvuilwagen legt evenwel wel een aantal beperkingen op aan de toepasbaarheid van alternatieve technieken.

Bij de beschrijving van de technieken zullen de verschillen in toepasbaarheid en beschikbaarheid tussen lichte trucks, zware trucks en huisvuilwagens worden aangegeven.

B.2.2 Beschikbare alternatieven

Voor vrachtauto's en huisvuilwagens zijn momenteel drie alternatieve aandrijftechnieken beschikbaar:

- dieselmotoren (mogelijk in combinatie met een roetfilter.);
- LPG motoren;
- CNG (aardgas) motoren.

Dieselmotoren

De dieselmotor is zeer dominant in het vrachtverkeer en is toepasbaar in elk type vrachtauto en huisvuilwagen. Het huidige marktaandeel is bijna honderd procent. Belangrijke redenen hiervoor zijn:

- diesel heeft uitstekende verbrandingseigenschappen;
- diesel heeft een hoge energie-inhoud, zowel per kilogram als per liter, en dit betekent een lichte en kleine tank;
- de verkoop en het gebruik van diesel vereist weinig speciale veiligheidsmaatregelen;
- het distributienetwerk van diesel is uitstekend;
- de dieselmotor is zeer bedrijfszeker en vereist weinig onderhoud.

De scherpe concurrentie tussen de producenten heeft de dieseltechniek op een hoog peil gebracht. Tot het einde van de jaren tachtig uitte zich dit vooral in steeds verdere verbetering van het rendement, doordat het brandstof-

verbruik een zeer belangrijk verkoopargument in het segment van de zwaardere voertuigen is. Vanaf het begin van de jaren negentig wordt de ontwikkeling van de dieselmotor vooral gestuurd door de steeds strenger wordende normstelling voor nieuwe motoren in zware vrachtvoertuigen, met name voor de emissies van NO_x en PM₁₀. Er kan onderscheid worden gemaakt naar verschillende generaties van dieselmotoren. Elke generatie sluit aan bij de Europese normering die voor deze generatie geldt:

- Diesel Euro 1 (vanaf 1992.);
- Diesel Euro 2 (vanaf 1996.);
- Diesel Euro 3 (vanaf 2000.);
- Diesel Euro 4 (vanaf 2005.).

De dieselmotoren uit de periode voor 1992 worden aangeduid met Euro 0. Dit correspondeert niet met een norm, maar geeft wel een indicatie voor de milieuprestatie. De milieuprestatie en de kosten van de dieselmotor verschillen per generatie. Een nieuwe vrachtauto met een dieselmotor die nu wordt verkocht zal voldoen aan de Euro 3 normen.

Bij dieselmotoren kan onderscheid worden gemaakt tussen indirecte injectietechnologie (IDI) en directe injectietechnologie (DI). Directe injectie leidt tot een efficiënter verbruik van de brandstof. De CO₂ uitstoot zal lager zijn, maar door de hogere verbrandingstemperatuur kan de uitstoot van NO_x toenemen. In het vrachtverkeer zijn vrijwel alle dieselmotoren uitgaan van het directe injectie (DI) principe.

Om de uitstoot van PM₁₀ te reduceren kan een dieselmotor worden gecombineerd met een zogenaamd *roetfilter*. Het roetfilter kan eenvoudig worden ingebouwd in bestaande voertuigen ('retrofit'). Hiermee kan met name voor de oudere voertuigen, die voldoen aan Euro 1 of eerdere normen, de uitstoot van deeltjes aanzienlijk worden gereduceerd. Voor Euro 2 kan het ook nog een substantiële milieuwinst opleveren, maar de Euro 3 normen voor deeltjes zijn zo laag gesteld dat de toegevoegde waarde een roetfilter niet groot meer is.

Voor zover bekend is, kan een roetfilter de emissie van deeltjes verminderen met ca. 90 procent. Voor een goede werking van het roetfilter is het van belang dat de dieselbrandstof een laag zwavelgehalte heeft. Vanaf 2005 is diesel met een laag zwavelgehalte verplicht. Momenteel is deze diesel reeds alom beschikbaar.

LPG motoren

LPG (Liquefied Petrol Gas) is een brandstof met zeer weinig verontreinigingen. Net zoals de benzinemotor is de LPG motor een Ottomotor (ontbranding door vonkontsteking). De LPG motor kan *stoichiometrisch* draaien en daarmee is toepassing van een driewegkatalysator mogelijk. Bij stoichiometrische verbranding is precies die hoeveelheid lucht aanwezig die theoretisch nodig is om het mengsel te verbranden. Hierdoor is het mogelijk om, ten opzichte van een gangbare dieselmotor (Euro 2), zeer lage emissies van NO_x, benzeen en CO. De uitstoot van NO_x zal met ongeveer 80 procent worden verminderd. Door de toepassing van LPG in plaats van diesel wordt de uitstoot van deeltjes 90 tot 95 procent lager.

Naast de stoichiometrische LPG-motor bestaat ook de zogenaamde *lean burn* LPG-motor. Bij de verbranding in een lean-burn motor is meer zuurstof aanwezig dan nodig is ('een brandstofarm mengsel'). De toepassing van een driewegkatalysator met een NO_x-reducerende werking is daardoor niet mogelijk. Er komt bij lean burn verbranding dan ook meer NO_x vrij dan bij een stoichiometrische verbranding. Ten opzichte van een dieselmotor (Euro 2) is



de uitstoot van NO_x evenwel nog ongeveer 50 procent lager. Bij lean burn verbranding kan wel een oxidatiekatalysator worden toegepast voor de naverbranding van benzeen en CO. De emissies van deeltjes is voor de lean burn LPG-motor gelijk aan de emissies van een stoichiometrische LPG-motor. Het voordeel van een lean burn motor is dat, door de goede verbranding, het rendement hoger is dan bij een stoichiometrische motor. De CO_2 emissie van een lean burn motor is daarmee lager dan dat van een stoichiometrische motor.

Het kenmerkende verschil tussen stoichiometrisch en lean burn is dat de stoichiometrische motor geoptimaliseerd is op emissiereductie en de lean burn motor op het minimaliseren van brandstofverbruik.

Indien een voertuig speciaal is ontworpen voor het gebruik van een LPG motor ('dedicated'), dan is deze in het algemeen uitgerust met een driewegkatalysator (stoichiometrisch). DAF heeft een dedicated 8.65 liter LPG motor ontwikkeld. Deze motor is vooral geschikt voor het distributievervoer tot ongeveer 20 ton. Op korte termijn zijn er geen plannen om ook een sterkere dedicated LPG motor te ontwikkelen die geschikt is voor de zwaardere trucks.

Indien het voertuig oorspronkelijk is ontworpen voor diesel, is het mogelijk om de dieselmotor om te bouwen tot een LPG motor ('retrofit'). Een retrofit motor is veelal een lean burn motor, omdat dit met koeling minder problemen oplevert. Met retrofit kan wel een zwaardere LPG motor worden gecreëerd dan de dedicated 8.65 liter LPG motor van DAF. Het ombouwen van een diesel naar een LPG motor kan wel betekenen dat de garantie van de fabrikant van de oorspronkelijke dieselmotor vervalt. Bovendien lijkt met de toepassing van steeds meer elektronica in motoren ombouwen steeds lastiger te worden.

Belangrijke kenmerken van de toepassing van LPG zijn:

- het rendement van een LPG-motor is ongeveer 20 procent lager dan dat van een moderne dieselmotor;
- een LPG motor is stiller dan een dieselmotor;
- de energiedichtheid van LPG in MJ per liter is een stuk lager dan bij diesel en dit vereist grotere brandstoftanks;
- behalve meer volume (brandstoftanks), brengt een LPG installatie ook meer massa met zich mee;
- omdat LPG zwaarder is dan lucht ('het blijft hangen op de grond') brengt het veiligheidsrisico's met zich mee. Er zijn daarom strenge eisen gesteld aan het vervoer, het tanken en de stalling. De eisen volgen uit richtlijnen van de Commissie Preventie Rampen (CPR);
- in Nederland is een goede LPG infrastructuur aanwezig;
- een LPG motor is duurder dan een dieselmotor. Indien de series groter worden, zullen de meerkosten naar verwachting dalen.

Er bestaat nog enige onbekendheid met de toepassing van de LPG motor in vrachtoertuigen. Op basis van de resultaten in de praktijk kan worden gesteld dat de betrouwbaarheid van een goede LPG motor niet onder hoeft te doen voor een dieselmotor. Het onderhoud is evenwel duurder.

CNG motoren

Aardgas is een ottomotorbrandstof waarvan bij verbranding de emissies van PM_{10} en NO_x vergelijkbaar zijn met die van LPG. Dit geldt zowel voor de stoichiometrische variant (met driewegkatalysator) als voor de lean burn variant. Aardgas kan op twee manieren in het voertuig worden opgeslagen: onder hoge druk (Compressed Natural Gas: CNG) of vloeibaar (Liquefied

Natural Gas: LNG). CNG is in Europa het meest gangbaar. Momenteel worden nauwelijks dedicated CNG motoren geproduceerd.

De CNG motoren die momenteel beschikbaar zijn op de markt voor vrachtauto's en huisvuilwagens zijn omgebouwde dieselmotoren. Vooral grotere dieselmotoren van 12 liter (MAN) worden omgebouwd tot een CNG motor. Voor toepassing in bijvoorbeeld huisvuilwagens is deze motor 'oversized' maar bij gebrek aan kleinere, meer dedicated motoren zal men de komende jaren genoeg moeten nemen met dit type CNG motoren. MAN is wel bezig met de ontwikkeling van een kleinere motor (6.7 liter), maar deze zal naar verwachting niet voor 2002 op de markt komen. Mercedes heeft ook een aardgasvariant ontwikkeld die toegepast kan worden in huisvuilwagens (Mercedes-Benz Econic). Kenmerkend voor deze variant is de lage instap cabine.

Een belangrijk nadeel van CNG is het ontbreken van een afdoende infrastructuur van vulpunten. De benodigde investeringen voor een CNG vulstation zijn hoog en het ontbreken van een dekkend netwerk kan leiden tot meer kilometers om te kunnen tanken. Dit kan worden beschouwd als een kip-ei probleem: wanneer de vraag (aantal CNG voertuigen) groot genoeg is komt het netwerk er wel, maar de vraag is niet groot genoeg omdat het netwerk ontbreekt. Een ander probleem bij het tanken is dat snelvulininstallaties erg duur zijn en normale vulinstallaties traag.

Andere nadelen van CNG zijn:

- een CNG-installatie is duurder dan een LPG installatie;
- het vermogen is lager dan dat van een LPG motor;
- het ruimtebeslag van tanks is groter dan van LPG;
- het kost veel energie om het aardgas te comprimeren;
- bij gelijke energie-inhoud is een CNG tank bijna 3 maal zwaarder dan een dieseltank;
- ook voor toepassing van CNG geldt dat de onderhoudskosten hoger zijn dan bij een dieselveertuig.

Een belangrijk voordeel van CNG zijn de lage kosten van de brandstof, doordat deze is vrijgesteld van accijnzen. Ook zijn de veiligheidsrisico's bij toepassing van CNG minder groot dan bij toepassing van LPG. CNG is lichter dan lucht en zal, bijvoorbeeld bij lekkage in een garage, snel vervluchten. Daarom gelden er minder strenge veiligheidseisen voor het gebruik, het tanken en stallen van CNG voertuigen dan voor LPG voertuigen.

CNG is mogelijk een goed alternatief voor bedrijfsvoertuigen die veel kilometers maken en een min of meer vast ritpatroon kennen. De besparing op de brandstofkosten kan hierbij substantieel zijn en door het vaste ritpatroon hoeft het ontbreken van een netwerk van vulstations geen beperking te zijn: één vulstation kan dan genoeg zijn. Bijvoorbeeld op het afleverpunt van huisvuilwagens bij de vuilverbrandingsinstallatie. De mogelijk grote noodzakelijke investeringen in het vulstation maken het wel gewenst om een voldoende grote afname te garanderen.



Overzicht

Momenteel zijn voor lichte en zware vrachtauto's en huisvuilwagens de volgende technieken beschikbaar:

- Diesel Euro 0 (DI) + roetfilter
- Diesel Euro 1 (DI) + roetfilter
- Diesel Euro 2 (DI)
- Diesel Euro 2 (DI) + roetfilter
- Diesel Euro 3 (DI)
- LPG stoichiometrisch
- LPG lean burn
- CNG stoichiometrisch
- CNG lean burn

Ter illustratie zijn in de onderstaande tabel de gemiddelde emissiefactoren aangegeven die zijn vastgesteld voor kilometers afgelegd binnen de bebouwde kom. De factoren gelden voor vrachtauto's (>20 ton totaalgewicht) binnen de bebouwde kom en gaan uit van het vermelde verbruikscijfer.

Tabel 20 Gemiddelde emissiefactoren voor kilometers binnen de bebouwde kom, vrachtauto's

	Referentie verbruik (km/l ¹¹)	Emissiefactoren in g/km		
		NO _x	PM ₁₀	CO ₂
Diesel Euro 0	2,7	15,0	0,83	973
Diesel Euro 1	2,7	11,4	0,28	973
Diesel Euro 2	2,7	8,8	0,17	973
Diesel Euro 3	2,7	6,1	0,12	973
LPG stoichiometrisch	1,5	2,0	0,02	1119
LPG lean burn	1,6	3,9	0,02	1071
CNG stoichiometrisch	2,6	2,0	0,02	944
CNG lean burn	2,7	3,9	0,02	915

Bron: CE op basis van cijfers TNO, RIVM (1999)

B.2.3 Toekomstige alternatieven

In de voorgaande paragraaf is reeds een aantal technische ontwikkelingen genoemd die op de langere termijn tot schonere of zuiniger voertuigen kunnen leiden:

- zwaardere dedicated LPG motoren;
- Diesel Euro 4 motoren.

Voor de lichtere trucks (distributieverkeer) heeft DAF een dedicated 8.65 liter LPG motor ontwikkeld. Het lijkt technisch mogelijk om ook een zwaardere dedicated LPG motor (12 liter) te ontwikkelen die geschikt is voor de zwaardere trucks, maar op korte termijn zijn hier geen plannen voor bekend. Voor zwaardere LPG motoren blijft men voorlopig aangewezen op het ombouwen van dieselmotoren.

¹¹ Voor CNG geldt: km/m³.

De Euro 4 normen zullen in 2005 van kracht zijn. Naar verwachting zullen een jaar voor deze invoering de eerste vrachtauto's met een dieselmotor die aan deze normen voldoet, kunnen worden aangeschaft. De technische aanpassingen aan de dieselmotor die nodig zijn om de stap van Euro 3 naar Euro 4 te maken zijn ingrijpender dan de eerdere stappen. Met het optimaliseren van de huidige dieselmotor is het bijvoorbeeld wel mogelijk om aan de Euro 3 normen te voldoen, maar om te voldoen aan de Euro 4 normen die gelden voor de emissies van NO_x en fijn stof (PM₁₀) zullen technische aanpassingen nodig zijn die zich momenteel nog niet of onvoldoende hebben bewezen.

De technologische ontwikkelingen om te komen tot een Euro 4 dieselmotor vindt voornamelijk plaats via twee sporen: DeNO_x-katalysatoren en EGR/CRT (uitlaatsgasrecirculatie in combinatie met een reductie van NO_x). De NO_x-reductie die bereikt kan worden met een DeNO_x-katalysator is groter, maar de kosten lijken ook hoger. Het komende jaar zijn proeven te verwachten met EGR/CRT en DeNO_x-katalysatoren.

Naast de verbeterde dieseltechnologie en de ontwikkeling van LPG-aandrijving, zijn in de toekomst ook de volgende technieken op de weg te verwachten:

- hybride aandrijving;
- brandstofcellen.

Bij een *hybride aandrijving* wordt een elektromotor gecombineerd met een verbrandingsmotor. Er kunnen vier vormen van hybride aandrijving worden onderscheiden:

- 1 Diesel/LPG-elektrische aandrijving. Het voertuig wordt aangedreven door een elektromotor die via een generator rechtstreeks door een verbrandingsmotor wordt gevoed.
- 2 Parallel hybride tractie: óf de verbrandingsmotor, óf de elektromotor. Lokaal emissievrij rijden is mogelijk. In de praktijk worden de emissies grotendeels slechts verplaatst: wat niet in de stad wordt geëmitteerd gebeurt er wel buiten omdat dan de accu's weer moeten worden opgevuld.
- 3 Serie hybride aandrijving. Het voertuig wordt aangedreven door de elektromotor, die gevoed wordt door accu's die door een verbrandingsmotor worden opgeladen. Lokaal emissievrij rijden is mogelijk.
- 4 Gecombineerd hybride aandrijving. Het voertuig wordt ofwel aangedreven door de elektromotor, ofwel door zowel de elektromotor als de verbrandingsmotor.

Milieutechnisch is de meest aantrekkelijke optie voor zware stedelijke voertuigen serie- dan wel gecombineerde hybride tractie met een LPG verbrandingsmotor. Dit hoeft niet te betekenen dat de overige opties buiten beschouwing moeten worden gelaten. De achterliggende filosofie hierbij is dat ontwikkeling van alle hybride technologie welkom is. De precieze vormgeving van het elektrische gedeelte is dan minder belangrijk; alle ervaring die ermee wordt opgedaan is welkom en wordt beschouwd als een stap in de juiste richting (LPG serie/gecombineerd hybride, brandstofcel).

MAN heeft in samenwerking met Spijkstaal al een aantal (diesel)hybride trucks geproduceerd en beproefd (onder andere in Veenendaal). De resultaten zijn voorzichtig positief. Als er voldoende vraag bestaat naar de hybride truck, dan is deze binnen een jaar te leveren.

Een technologie die zich in de fase van het prototype bevindt, is de aandrijving met *brandstofcellen*. Er wordt veel van deze ontwikkeling verwacht. Een brandstofcel is een elektrochemisch conversiesysteem waarmee chemische



energie die is opgeslagen in een brandstof (meestal waterstof) kan worden omgezet in elektrische energie (en in warmte). Kenmerken zijn:

- de 'verbranding' is schoon (waterstof vormt met zuurstof water);
- het systeem is in potentie efficiënt (het verwachte omzettingsrendement is ongeveer 60 procent);
- de kosten zijn aanzienlijk (een bus met brandstofcellen kost nu bijvoorbeeld ongeveer een miljoen gulden);
- er bestaan nog knelpunten met betrekking tot het vermogen, de elektriciteitsvoorziening, de veiligheid en de omvang van het brandstofcellenpakket.

De ontwikkeling van brandstofcellen gaat de laatste jaren snel. In Noord-Amerika rijden bijvoorbeeld tientallen brandstofcelbussen rond. Voor een succesvolle marktintroductie is echter nog een verkleining van de omvang en het gewicht van de cellen nodig, hetgeen nog een aanzienlijke onderzoeksinspanning vergt.

Naast veranderingen in aandrijftechnologieën zijn ook veranderingen in brandstofsamenstelling mogelijk. Bijvoorbeeld door de introductie van bio-brandstoffen. De vraag hierbij is echter of dit niet zal leiden tot meer luchtverontreiniging.

B.3 Bestelauto's en personenauto's

B.3.1 Inleiding

De beschikbare alternatieve technieken voor bestelwagens, veegmachines en personenauto's vertonen onderling grote overeenkomsten. Daarom worden deze voertuigcategorieën in deze paragraaf gezamenlijk beschouwd. Daar waar verschillen in toepasbaarheid bestaan tussen bestelwagens, veegmachines en personenauto's zal dit worden aangegeven.

Bestelwagens en personenauto's hebben een GVW van maximaal 3,5 ton. Bestelwagens zijn voertuigen die voldoen aan wettelijk vastgelegde inrichtingseisen. Door kleine aanpassingen kan een personenauto bijvoorbeeld ook voldoen aan deze eisen.

B.3.2 Huidige alternatieven

De momenteel beschikbare technieken omvatten de volgende categorieën:

- dieselmotoren;
- benzinemotoren;
- LPG-motoren;
- CNG-motoren;
- elektromotoren.

Dieselmotoren

Ongeveer 95 procent van de verkochte nieuwe bestelwagens is voorzien van een dieselmotor. Signalen uit de markt wijzen eerder op een versterking dan op een verzwakking van de dieseltrend. Het aandeel van diesel personenauto's is lager: ongeveer 11 procent. Dit aandeel neemt echter licht toe. Ook bij de lichtere dieselmotoren is onderscheid te maken tussen motoren met indirecte injectie (IDI) en directe injectie (DI). Directe injectie is de moderne en zuinige technologie die langzamerhand in de nieuwverkoop een groter aandeel begint te verwerven. De verwachting is dat in 2000 ongeveer

30 procent van het park bestaat uit DI dieselmotoren en in 2010 ongeveer 80 procent. In overeenstemming met de zware voertuigen is ook in het lichtere segment de technische ontwikkeling van dieselmotoren sterk gestimuleerd door de Europese normen voor personenauto's en bestelwagens.

Er kan onderscheid worden gemaakt naar verschillende generaties van dieselmotoren. Elke generatie sluit aan bij de Europese normering die voor deze generatie geldt:

- Diesel Euro 1 (vanaf 1992.);
- Diesel Euro 2 (vanaf 1996.);
- Diesel Euro 3 (vanaf 2000.);
- Diesel Euro 4 (vanaf 2005.).

De dieselmotoren uit de periode voor 1992 kunnen worden aangeduid met Euro 0. De NO_x uitstoot en vooral ook de uitstoot van PM₁₀ door dieselveertuigen worden met deze normen sterk gereduceerd.

De PM₁₀-uitstoot van deze dieselveertuigen kan, zoals ook bij het zware vrachtverkeer gebeurt, worden gereduceerd met een *roetfilter*. Eind 2000 zal naar verwachting een regenererend (zelfreinigend) roetfiltersysteem beschikbaar komen¹². Een brede toepasbaarheid zal naar verwachting langer op zich laten wachten. Het filter kan niet achteraf (retrofit) op een voertuig worden geïnstalleerd zoals wel het geval is bij de roetfilters voor het zware verkeer. Daarnaast vereist het filter ook een verlaging van het zwavelgehalte in de brandstof. Het vereiste lage zwavelgehalte zal pas in 2005 verplicht zijn, maar is reeds alom op de markt verkrijgbaar. Bovendien kunnen dieselmotoren ook zonder het roetfilter aan de Euro 2 en Euro 3 normen voldoen. De druk op fabrikanten om meer vaart achter de marktintroductie van het filter te zetten is daarmee nog niet groot.

Benzinemotoren

De dieselmotor domineert in de markt voor bestelwagens, maar in de markt voor personenauto's heeft de Ottomotor op benzine verreweg het grootste aandeel: ruim 80 procent. Bij Ottomotoren kan onderscheid worden gemaakt tussen stoichiometrische motoren en lean burn motoren.

Sinds de zeventiger jaren (ingegeven door de oliecrisis) hebben autofabrikanten zich toegelegd op de productie van efficiëntere motoren. Hierdoor zijn personenauto's op benzine geleidelijk aan ook steeds schoner geworden. De standaard benzinemotor ging uit van het lean burn principe.

Evenals de dieselmotor heeft de ontwikkeling van de benzinemotor een wending genomen door de Europese normen:

- Benzine Euro 1 (vanaf 1992.);
- Benzine Euro 2 (vanaf 1996.);
- Benzine Euro 3 (vanaf 2000.);
- Benzine Euro 4 (vanaf 2005).

¹² Dit filter is ontwikkeld door de PSA groep, waar Peugeot en Citroën deel van uitmaken.



Om aan de Euro 1 normen te voldoen was het noodzakelijk om een driewegkatalysator in te zetten. Deze ontwikkeling leidde ertoe dat benzinemotoren overschakelden van lean burn naar stoichiometrische verbranding¹³. Aan de Euro 2, 3 en 4 normen kan door verbeteringen in de werking van de driewegkatalysator worden voldaan. Momenteel voldoen benzinevoertuigen aan de Euro 3 normen. In 2000 voldoen de nieuwe voertuigen aan de Euro 3 normen en naar verwachting zal een aantal Duitse fabrikanten ook op de markt komen met voertuigen (personenauto's) die voldoen Euro 4 normen. Dit laatste is vooral het gevolg van een stimuleringsprogramma door de Duitse overheid.

In de jaren negentig is de zuinigheid van nieuwe auto's nauwelijks meer toegenomen doordat de auto's gemiddeld steeds zwaarder zijn geworden door inbouw van extra veiligheidsvoorzieningen, elektronica en accessoires. Vanwege het toegenomen gewicht worden steeds zwaardere motoren toegepast die meer brandstof verbruiken.

Op de markt van benzinevoertuigen lijkt de komende jaren daarom vooral winst boekt te kunnen worden in het verbruik.

De huidige technieken om personenauto's op benzine zuiniger te maken grijpen vooral aan op het verbrandingsproces in de cilinders van de motor. Hierbij is onder andere gekeken naar het vulproces van de cilinders het compressie- en ontstekingsstijdstip en de samenstelling van het lucht-brandstofmengsel. Technieken die hieruit zijn voortgekomen zijn de multi-kleppen technologie (meer dan twee in- en uitlaatkleppen per cilinder) en de variabele kleptiming (tijdspit van compressie)

Een ontwikkeling die navolging zal krijgen is de combinatie van het lean burn principe met directe benzine-injectie. Dit levert een zuinige benzinemotor op (bijvoorbeeld Mitsubishi GDI).

LPG motoren

Een LPG motor is in het algemeen een omgebouwde benzinemotor. Een LPG voertuig is daarmee een zogenoemde bi-fuel auto: het is mogelijk om zowel op LPG als op benzine te rijden. Een benzinemotor die wordt omgebouwd naar LPG is een stoichiometrisch LPG motor.

Het is niet mogelijk om een dieselmotor om te bouwen tot een LPG motor. Deze beperking houdt in dat de samenstelling van het huidige park sterk bepalend is voor de mogelijke keuze voor LPG. Aangezien vrijwel alle bestelwagens voorzien zijn van een dieselmotor is LPG voor deze voertuigen vaak geen alternatief.

Er is een tendens om ook voertuigen met een LPG motor in serie te produceren. Deze voertuigen zullen naar verwachting ook geschikt blijven voor benzine, maar wel meer geoptimaliseerd zijn voor het gebruik van LPG dan de huidige omgebouwde LPG motoren. Deze trend is ingezet in Frankrijk, maar gerezen problemen met de betrouwbaarheid en de veiligheid, lijken een serieproductie van LPG voertuigen de komende jaren in de weg te staan. Het ombouwen van benzinevoertuigen blijft daarmee de komende jaren nog de standaardprocedure voor het realiseren van LPG motoren voor lichte voertuigen.

¹³ Fabrikanten van benzinemotoren protesteerden in eerste instantie tegen de driewegkatalysator, omdat het energiegebruik (en daarmee de CO₂ uitstoot) van een stoichiometrische motor ongeveer drie procent hoger ligt dan dat van een lean burn motor. De politiek koos uiteindelijk toch voor de driewegkatalysator omdat de grote reductie van andere stoffen als NO_x en PM₁₀ ruim opwoog tegen het hogere energiegebruik.

De kenmerken van de toepassing van LPG in personenauto's zijn ook genoemd in paragraaf B.2.2. In tegenstelling tot het zware verkeer waar de toepassing van LPG nog in de kinderschoenen staat is LPG in het personenvervoer breed toegepast. Ongeveer 5 procent van de personenauto's in Nederland is voorzien van een LPG installatie. LPG is net zoals diesel een brandstof die vooral voordelen biedt wanneer relatief veel kilometers worden afgelegd. De bedrijfszekerheid van een LPG auto is goed, mede doordat altijd de mogelijkheid blijft bestaan om op benzine te rijden.

CNG motoren

Voor CNG geldt, net als voor LPG, dat een bestaande benzinemotor zal moeten worden omgebouwd. Ook hier geldt dat het resultaat een stoichiometrische motor is. De belangrijkste voor- en nadelen van CNG zijn genoemd in paragraaf B.2.2. Voor personenauto's lijkt CNG geen alternatief op korte of middellange termijn. Het is mogelijk wel een alternatief voor bedrijfsvoertuigen als bestelwagens.

Elektromotoren

Personenauto's en bestelwagens met een elektrische aandrijving zijn beschikbaar, maar zijn relatief duur, zwaar en hebben een beperkte actieradius. De milieuvoordelen zijn evident. Een elektrisch voertuig kent geen lokale emissie (wel bij de elektriciteitscentrale). Ook de geluidsproductie van een elektromotor is minimaal. Een ander, zeer belangrijk milieuvoordeel van personenauto's is dat elektriciteit op langere termijn sneller en tegen lagere kosten duurzaam is te maken dan andere autobrandstoffen, bijvoorbeeld via wind- en zonne-energie.

Elektrische voertuigen lijken met name kansrijk voor korte ritten in stedelijke gebieden (kleine personenauto's en voertuigen voor stadsdistributie). Daar zijn de milieubaten het grootst en is de beperkte actieradius minder een probleem.

Het functioneren van een elektrisch voertuig wordt in zeer belangrijke mate bepaald door de batterijen. Het aanbod van batterijen is zeer divers en ontwikkelt zich snel. De belangrijkste drijfveren achter deze ontwikkelingen zijn de hoge kosten en het grote gewicht van de batterijen. De hoge kosten zijn vooral het gevolg van de hogere aanschafprijs en de beperkte levensduur van de batterijen, die ongeveer elke vijf jaar vervangen dienen te worden. Een andere belemmering is het opladen van de batterijen, dat relatief veel tijd kost.

In een recente studie van het International Energy Agency (IEA) wordt geconcludeerd dat een succesvolle doorbraak van elektrische voertuigen op de Nederlandse markt sterk zal afhangen van beleidsinitiatieven van de overheid. Met financiële ondersteuning alleen lijkt een verschuiving naar elektrische voertuigen niet mogelijk. Er zullen vooral kansen ontstaan wanneer met wetgeving de aanwezigheid van conventionele voertuigen in stedelijke gebieden, zoals de binnensteden, wordt beperkt. Hierbij kan gedacht worden aan een stadsdistributiesysteem waar alleen elektrische voertuigen deel van mogen uitmaken [IEA, 1999].

Overzicht

Momenteel zijn voor personenauto's en bestelwagens de volgende technieken beschikbaar:



- Diesel Euro 2 (DI, IDI)
- Diesel Euro 3 (DI, IDI)
- Benzine Euro 2
- Benzine Euro 3
- Benzine Euro 4
- LPG (stoichiometrisch)
- CNG (stoichiometrisch)
- Elektrisch

Ter illustratie is in de onderstaande tabel een aantal gemiddelde emissiefactoren aangegeven die zijn vastgesteld voor kilometers afgelegd binnen de bebouwde kom. De factoren gelden voor bestelwagens binnen de bebouwde kom en gaan uit van het vermelde verbruikscijfer.

Tabel 21 Gemiddelde emissiefactoren voor kilometers binnen de bebouwde kom, bestelwagens

	Referentie verbruik (km/l ¹⁴)	Emissiefactoren in g/km		
		NO _x	PM ₁₀	CO ₂
Diesel Euro 0 IDI	9,1	0,91	0,250	287
Diesel Euro 2 IDI	9,2	0,72	0,116	285
Diesel Euro 3 DI	11,8	0,71	0,060	222
Benzine Euro 0	6,8	0,60	0,005	352
Benzine Euro 2	6,9	0,23	0,005	345
Benzine Euro 3	7,3	0,18	0,005	327
LPG stoichiometrisch Euro 0	5,5	1,17	0,003	295
LPG stoichiometrisch Euro 2	5,6	0,26	0,003	291
LPG stoichiometrisch Euro 3	5,8	0,25	0,003	277
CNG stoichiometrisch Euro 0	9,4	1,17	0,003	248
CNG stoichiometrisch Euro 1	9,4	0,26	0,003	245
CNG stoichiometrisch Euro 3	9,6	0,25	0,003	234

Bron: CE op basis van cijfers TNO, RIVM (1999)

B.3.3 Toekomstige mogelijkheden

In de ontwikkeling van motoren voor personenauto's en bestelwagens zijn twee sporen te onderscheiden. Een spoor is de verdere verbetering van de huidige diesel- en benzinetechnologie. Het andere spoor is de ontwikkeling van auto's met een elektrische, hybride en brandstofcelaandrijving.

De huidige ontwikkeling van benzinemotoren richt zich op een directe insputing van de benzine, waardoor een betere, meer optimale verbranding mogelijk is. Hiermee kan het brandstofverbruik en de CO₂ emissie worden vermindert. De directe insputing vraagt wel om een motor die uitgaat van het lean burn principe. Bij dit type motor bevat het mengsel een relatief grote hoeveelheid lucht. De traditionele driewegkatalysator achter een benzine-motor gaat echter uit van een stoichiometrische motor ('precies genoeg zuurstof') en is niet geschikt om de stikstofoxiden die vrijkomen bij een lean burn verbranding te reduceren.

¹⁴ Voor CNG geldt: km/m³.

Deze ontwikkeling naar directe injectie van benzinemotoren zal naar verwachting niet voldoende zijn om aan de strengere emissienormen voor 2001 (Euro 3) en zeker 2005 (Euro 4) te voldoen. Om toch aan deze normen te voldoen is een DeNO_x katalysator nodig. Deze katalysator is nog in ontwikkeling, maar naar verwachting zal hiermee wel aan de Euro 3 en Euro 4 normen kunnen worden voldaan. Het huidige, hoge zwavelgehalte van de brandstoffen verhindert echter een effectieve toepassing van de DeNO_x katalysator. In 2005 (mogelijk zelfs eerder) worden brandstoffen met een laag zwavelgehalte verplicht, waardoor de lean burn technologie optimaal kan worden toegepast. Hiermee kan enige reductie van CO₂ en een sterke reductie van de andere emissies worden bereikt.

Voor dieselmotoren geldt dat de emissienormen voor 2000 waarschijnlijk gehaald kunnen worden met een verdere verbetering van de huidige dieseltechnologie. Ook voor dieselmotoren geldt echter dat vanaf 2005 (Euro 4) toepassing van een DeNO_x katalysator onvermijdelijk is.

Naast deze ontwikkelingen in benzine en dieselmotoren, wordt ook gewerkt aan de ontwikkeling van:

- elektrische aandrijvings- en motormanagement systemen, die kunnen worden toegepast in toekomstige auto's met elektrische, hybride- en brandstofcelaandrijving;
- accu's, accutestprocedures en veiligheidsstandaards voor auto's. Ook wordt gewerkt aan verbetering van inductie-oplaadsystemen voor elektrisch aangedreven voertuigen;
- aandrijvings- en motormanagement systemen voor een nieuwe generatie hybride auto's;
- technieken en productiemethoden voor elektrische auto's met brandstofcelaandrijving. Hierbij wordt ook onderzoek gepleegd naar geschikte brandstoffen.

Op dit moment worden bijvoorbeeld door autofabrikanten praktijkproeven gedaan met hybride personenvoertuigen. De Toyota Prius is de eerste in serie geproduceerde auto ter wereld met zowel een elektromotor als een benzinemotor die in ons land te koop is. Afhankelijk van de verkeersomstandigheden wordt één van beide motoren ingeschakeld, of beide tegelijk.



C Handleiding bij het Milieuscanprogramma

C.1 Functie van het programma

De functie van het programma is tweeledig:

Doel 1: monitoring

Inzicht in de gevolgen van gemaakte investeringsbeslissingen voor de milieuprestatie van het eigen wagenpark.

Doel 2: vergelijking alternatieven

Inzicht in de gevolgen van toekomstige investeringsbeslissingen voor de milieuprestatie van het eigen wagenpark en de meerkosten van een investering ten opzichte van de conventionele techniek.

C.2 Structuur en werking van het programma

Een korte toelichting op de werking en mogelijkheden:

Kilometrage (Input)

- wanneer het programma wordt gestart, verschijnt een invulblad 'variant 1';
- er zijn 5 voertuigcategorieën: huisvuilwagen, vrachtwagen, bestelwagen, veegmachine en personenauto. Links onder in het scherm staat een selectiemogelijkheid waarmee kan worden aangegeven welke voertuigcategorie moet worden getoond. Iedere voertuigcategorie heeft een vast aantal, eigen milieutechnieken, deze staan in deze tabellen steeds verticaal opgesomd. Combinaties van voertuigcategorie en milieutechniek worden verder aangeduid als "combinatie";
- voor elke combinatie kan een kilometrage worden ingevoerd en het aantal voertuigen. De ingevulde kilometrage is het totaalkilometrage van alle voertuigen in die milieuklasse gezamenlijk!;
- de variant kan op elk gewenst moment worden opgeslagen. Daarbij kan ook de naam van de variant worden aangepast (bijvoorbeeld 'basisvariant', 'LPG variant', etc);
- er kunnen meerdere bestanden (varianten) naast elkaar worden geopend. De functietoetsen (pictogrammen) hiertoe staan links boven in het scherm.

Kengetallen

- de kengetallen zijn ingedeeld in drie groepen:
 - milieubelasting;
 - kosten;
 - overige kosten;

De kengetallen die in de tabellen zijn ingevuld zijn standaardwaarden. De gebruiker kan deze naar eigen inzicht wijzigen. De standaardwaarden kunnen weer worden teruggevonden door een nieuwe variant te openen.

- de kengetallen 'milieubelasting' geven per combinatie emissiefactoren voor NO_x, CO₂ en PM₁₀ en geven ook een verbruik aan (aantal km per liter vloeibare brandstof, m³ aardgas of kWh elektriciteit). Bij een verandering van het verbruik veranderen de emissiefactoren evenredig mee met het veranderende verbruik. Bijvoorbeeld: als het verbruik wordt verlaagd van 2 km per liter naar 2.2 km per liter, dalen emissiewaarden ook

- met 10 procent. Voor NO_x en PM₁₀ is deze relatie weliswaar niet een op een, maar het is wel een redelijk goede benadering;
- de kengetallen 'kosten' geven per combinatie waarden voor de volgende kostencategorieën en daaraan gerelateerde categorieën:
 - aanschafkosten (voertuig, roetfilter of batterij);
 - afschrijvingstermijn (voertuig, roetfilter of batterij);
 - restwaarde voertuig;
 - rente;
 - onderhoudskosten;
 - motorrijtuigenbelasting;
 - brandstofkosten;
 - de kengetallen 'overige kosten' geven de brandstofkosten per liter weer.

Resultaat

- op grond van de inputgegevens (kilometrage en aantallen) en de kengetallen milieu worden berekend:
 - de emissies per combinatie;
 - de totale emissies per voertuigcategorie.De emissies per voertuigcategorie worden ook gepresenteerd in een grafiek;
- ook worden kosten per combinatie en voertuigcategorie berekend. Het berekende bedrag geeft niet de prijs weer en ook niet de meerkosten. Het is een kosten niveau voor een bepaalde variant, waarin zowel absolute bedragen (bijvoorbeeld de brandstofkosten) als meerkosten (bijvoorbeeld de meerkosten van de investering in het voertuig) zijn verwerkt. Het berekende kostenniveau is alleen interessant als het vergeleken wordt met andere kostenniveaus. Als bijvoorbeeld een truck met een Diesel Euro 2 motor een kostenniveau van 2.000 heeft, en een gelijke truck met een LPG motor een kostenniveau van 8.000, dan betekent dit dat de meerkosten van de LPG truck 6.000 gulden per jaar zijn. De 'bedragen' 2.000 of 8.000 apart zeggen niet zoveel: het zijn zogenoemde *referentiekosten* en pas als ze met elkaar vergeleken worden, zijn de meerkosten bekend.

Vergelijking varianten

- wanneer meerdere varianten zijn geopend kan via de functietoets 'bestand' (linksboven in het scherm) de functie 'vergelijken' worden geactiveerd;
- de totale emissies per variant worden vervolgens in een tabel naast elkaar zichtbaar. Ook de totale referentiekosten staan hierin weergegeven;
- de vergelijking wordt ook grafisch inzichtelijk gemaakt.

