

Mobiliteit en (groot)stedenbeleid

Steden zijn knooppunten van talrijke socio-economische activiteiten. De doeltreffende en efficiënte uitvoering van deze activiteiten creëert een grote vraag naar mobiliteit. Die vraag leidt tot belangrijke infrastructurele uitdagingen, maar ook tot problemen van congestie, diverse vormen van pollutie, en verkeersonveiligheid.

In dit boek worden de teksten samengebracht van het 27ste Vlaams Wetenschappelijk Economisch Congres. Het 27ste VVEC heeft de mobiliteitsproblematiek in kaart gebracht, en een aantal originele oplossingen aange-reikt voor deze problemen. Het boek omvat 18 artikels, opgebouwd rond zes thema's: een situatieschets, de externe effecten van transport, duurzame mobiliteit gericht op het personenvervoer, complementariteit tussen de transport-modi bij het goederenvervoer, het mobiliteitsbeleid en het stedelijk-ruimtelijk beleid.

Kortom, door de uitvoerige presentatie van de huidige stand van zaken in het wetenschappelijk onderzoek, is *Mobiliteit en (groot)stedenbeleid* een onmisbaar boek voor alle actoren en geïnteresseerden in het brede mobiliteitsdebat.

De Vlaamse Wetenschappelijke Economische Congressen worden om de twee jaar volgens een beurtrol ingericht aan de verschillende Vlaamse universiteiten. Dit gebeurt onder de koepel van de Vereniging voor Economie, met telkens een actieve deelname van alle univer-siteiten. Bij deze congressen is het steeds de bedoeling een thema aan te snijden dat zowel de academische als de socio-economische en de politieke wereld kan boeien. Het 27ste VVEC had als thema 'Mobiliteit en (groot)stedenbeleid' en werd georganiseerd door VEHUB alumnivereniging van de Vrije Universiteit Brussel.



ISBN 90-5487-397-3



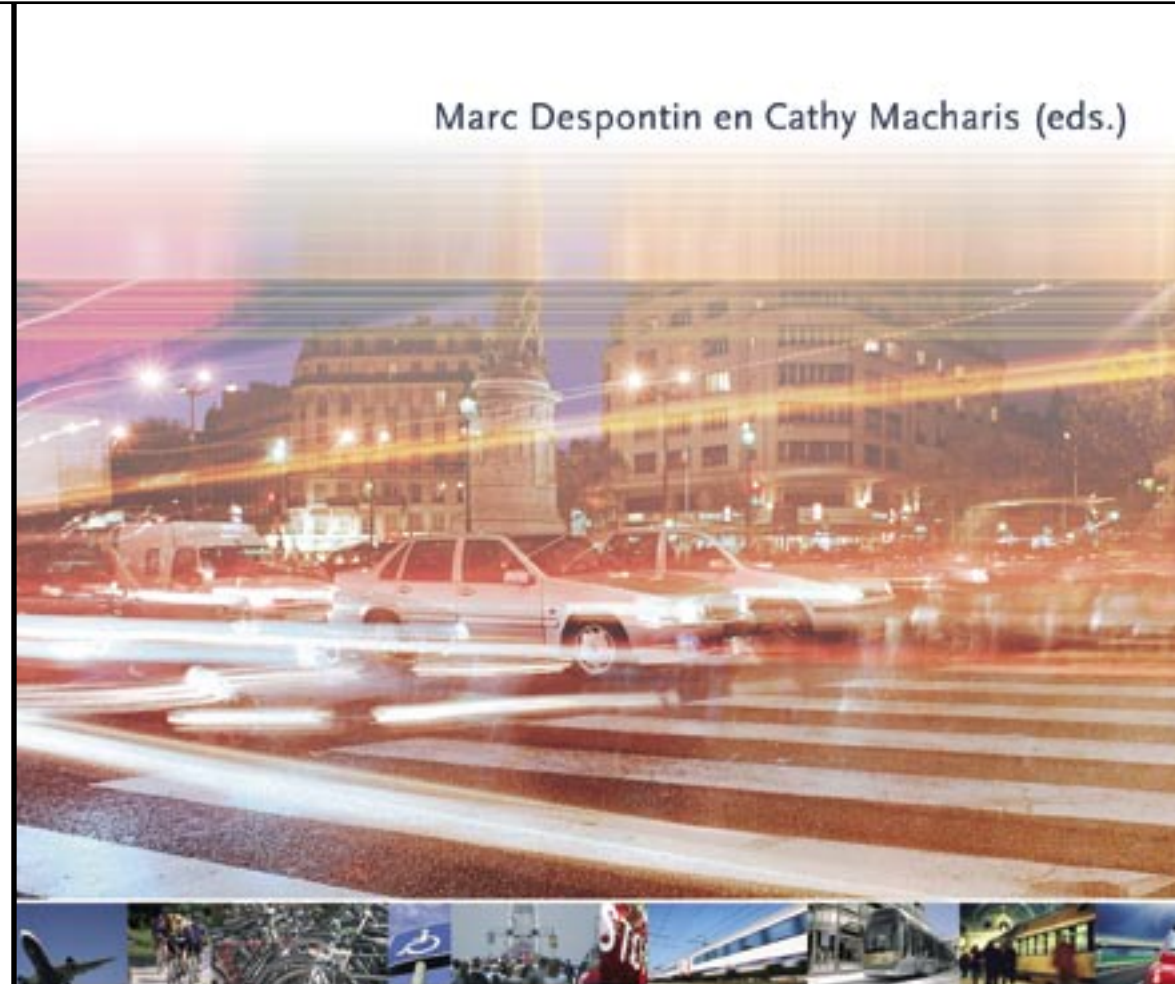
9 789054 873976



VVEC

Mobiliteit en (groot)stedenbeleid

Marc Despontin en
Cathy Macharis (eds.)



Marc Despontin en Cathy Macharis (eds.)

Mobiliteit en (groot)stedenbeleid



27^{STE} VLAAMS WETENSCHAPPELIJK ECONOMISCH CONGRES
BRUSSEL, 19 EN 20 OKTOBER 2006

ve
VERENIGING
VOOR ECONOMIE

VUBPRESS

Milieuvriendelijke voertuigen

Joeri Van Mierlo

Vrije Universiteit Brussel

Brussel, België, joeri.van.mierlo@vub.ac.be

Jean-Marc Timmermans

Vrije Universiteit Brussel

Brussel, België, jean-marc.timmermans@vub.ac.be

Julien Matheys

Vrije Universiteit Brussel

Brussel, België, jmatheys@vub.ac.be

Peter Van den Bossche

Erasmushogeschool Brussel

Brussel, België, peter.van.den.bossche@docent.ehb.be

Abstract

Er zijn twee belangrijke factoren die aanleiding geven tot grote evoluties en ontwikkelingen in de transport- en automobielsector en zodoende aansporen om nieuwe technologieën te gebruiken voor onze transportmiddelen en -systemen:

- de beschikbaarheid van de energiebronnen (ten gevolge van de politieke en economische afhankelijkheid van de verbruikers ten opzichte van de olieproducerende landen en van de uitputting van de reserves aan fossiele brandstoffen);
- de belangrijke negatieve effecten van het huidige transportsysteem op het milieu.

Vertrekkende vanuit de beschrijving van de transportgebonden emissies en de energieafhankelijkheid worden verschillende alternatieve brandstoffen en aandrijvingen besproken.

Wanneer men het over milieuvriendelijke voertuigen heeft, dan bedoelt men een complex geheel van technologieën die in hun totaliteit bijdragen tot een lagere milieuschade over (delen van) de totale keten van energietransitie.

Mobiliteit en (groot)stedenbeleid

gen (van de bron tot het wiel of “*well-to-wheel*”). Men heeft het over verschillende primaire energiebronnen en de hieruit gewonnen “brandstoffen” waarmee bijvoorbeeld de auto gevoed wordt (zoals benzine, ethanol, biodiesel, waterstof, maar ook elektriciteit), en over allerlei technische verbeteringen in het voertuig zelf. Ondanks de beschikbaarheid van steeds schonere aandrijfconcepten hangt de keuze voor aanschaf van een schoon voertuig slechts ten dele af van de technologie zelf. Zaken als beschikbaarheid van brandstoffen, het gebruikersprofiel, de vereiste extra investeringen (infrastructuur), de risico’s ten aanzien van de nieuwe technologie en onderhoudsnetwerk zijn minstens even belangrijk (Buning L. et al., 2005).

Een vergelijking wordt gemaakt tussen voertuigen met verschillende brandstoffen en/of aandrijfsystemen: benzine, diesel, LPG, aardgas, biobrandstof, waterstofgas, batterij elektrische en hybride aandrijvingen. Na een overzicht van de vereiste infrastructuur, kostprijs, actieradius, laad- of tankduur, volgt een uitgebreide analyse betreffende de energie-efficiëntie, de milieu-impact op basis van een integrale milieu-evaluatie methodologie, ‘Ecoscore’ genaamd en de kost per kilometer. Aandacht wordt hierbij besteed aan de typische stedelijke situatie.

KERNWOORDEN: Transport, Milieu, Voertuig, Ecoscore, Energie.

1 Inleiding

1.1 Stedelijke mobiliteit

Verkeer, vervoer en mobiliteit zijn ingeburgerde begrippen geworden. Dagelijks maken we er gebruik van om ons te verplaatsen van en naar de universiteit of het werk, naar de winkel of de bioscoop. Ook ondernemingen hebben behoefte aan het transporteren van goederen. We beschikken over grote zee- en luchthavens die goed bereikbaar moeten zijn. Tussen 10 en 20 procent van de economische inspanningen en tijdbesteding van een land heeft op één of andere manier met vervoer te maken (Van Mierlo & Macharis, 2005).

In stedelijke gebieden is de verzoening van de economische, de sociale en de milieudimensie de grootste uitdaging (EC, 2006). Steden zijn gebieden waar zich veel milieuproblemen concentreren, maar zij zijn ook economische aantrekkingspolen, zakencentra en lokaties voor investeringen. Vier van de vijf Europese burgers leven in stedelijke gebieden, en hun levenskwaliteit wordt rechtstreeks beïnvloed door de toestand van het stadsmilieu (EC, 2006).

Milieuvriendelijke voertuigen

De meeste steden hebben te maken met hetzelfde basispakket milieuproblemen, zoals slechte luchtkwaliteit, druk verkeer en congestie, veel omgevingslawaai, slechte kwaliteit van de gebouwde omgeving, braakliggende percelen, emissies van broeikasgassen en luchtverontreinigende stoffen, stedelijke wildgroei, afval- en afvalwaterproductie. De milieuproblemen in de steden zijn bijzonder complex omdat de oorzaken daarvan onderling samenhangen. Plaatselijke initiatieven om een bepaald probleem op te lossen kunnen elders nieuwe problemen doen ontstaan en kunnen in aanvaring komen met het nationale of regionale beleid (EC, 2006).

Om deze uitdagingen aan te gaan is het nodig de interacties tussen de verschillende aspecten van het verkeer goed te kennen en is een multidisciplinaire aanpak dus onontbeerlijk. Al te vaak wordt de verkeersproblematiek immers te eenzijdig benaderd. Nieuwe wegen of hogere brandstofprijzen op zich, zullen de problemen niet oplossen. Een integrale aanpak, waar zowel civiele, aandrijftechnische als wetgevende, psychologische en socio-economische aspecten in vervat zitten, is een absolute vereiste (Van Mierlo & Macharis, 2005).

De uitdagingen op milieugebied waarmee steden geconfronteerd worden hebben aanzienlijke consequenties voor de volksgezondheid, de levenskwaliteit van de stadsbevolking en de economische prestaties van de steden zelf. In het Zesde Milieuactieprogramma (6de MAP) werd opgeroepen tot de ontwikkeling van een thematische strategie voor het stadsmilieu. In overeenstemming met het 6de MAP heeft de Commissie in een tussentijdse mededeling een eerste analyse gepresenteerd van de uitdagingen waarmee stedelijke gebieden te maken hebben, en heeft zij acties voorgesteld rond vier prioritaire onderwerpen: duurzaam stadsbeheer, duurzaam stadsvervoer, duurzaam bouwen en duurzame stadsplanning (EC, 2006).

Ook de ruimtelijke ordening heeft een belangrijke invloed op de mobiliteit en dit voornamelijk op de langetermijnevoluties (Allaert, 1991). Verkeer en vervoer zijn mede het gevolg van het feit dat we activiteiten op verschillende plaatsen willen uitoefenen. Vanuit deze optiek ligt de ruimtelijke verdeling van locaties van activiteiten aan de basis van alle verkeer (Van Wee, 2002). Door een goede ruimtelijke ordening kan men verplaatsingen vermijden of de verplaatsingsafstanden verkorten. Het verkeersvolume kan ingeperkt worden door in eerste instantie de verplaatsingsafstand in te korten, door bijvoorbeeld ervoor te zorgen dat mensen dicht bij hun werk gaan wonen. Dat houdt onder meer in dat de stadsvlucht tegengehouden moet worden.

Een effectieve vervoersplanning vereist een langetermijnvisie voor het in kaart brengen van de financiële eisen voor infrastructuur en rollend materieel, het opzetten van stimuleringsplannen ter bevordering van openbaar ver-

Mobiliteit en (groot)stedenbeleid

voer van hoge kwaliteit, veilig fietsen en wandelen, en het tot stand brengen van de nodige coördinatie met de activiteiten op het gebied van ruimtelijke ordening op de geëigende administratieve niveaus (EC, 2006).

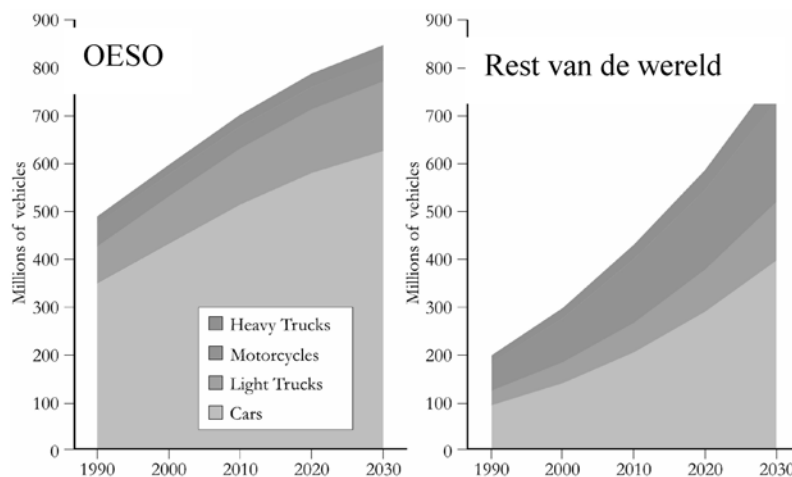
Er zijn dus tal van mogelijke oplossingen om de negatieve impact van onze mobiliteit op ons milieu te beperken. In eerste instantie dienen verplaatsingen vermeden of verminderd te worden door een goede ruimtelijke inrichting. Vervolgens is een kwalitatief aanbod voor verplaatsingen te voet of met de fiets voor kortere verplaatsingen belangrijk alsook een kwalitatief aanbod voor openbaar vervoer voor langere verplaatsingen. Het gebruik van de wagen dient te worden afgeraden daar waar mogelijk door bijvoorbeeld rekeningrijden, autoluwe zones, verhoging parkeerkost, edm. Er zullen echter steeds autoverplaatsingen bestaan. Een milieuvriendelijk rijgedrag en/of car-poolen dienen te worden aangemoedigd, alsook het gebruik van milieuvriendelijke voertuigen.

Het is de milieuvriendelijkheid van de aangeboden aandrijftechnieken binnen deze automarkt waarop deze paper dieper ingaat. Milieuvriendelijke voertuigen kunnen namelijk binnen een grootstedenbeleid een belangrijke rol vervullen. Andere papers in dit VWEC 2006 congres zullen dieper ingaan op de andere transportgerelateerde aspecten van het beleid (pendelgedrag, verplaatsingspatroon, modale verschuiving, goederendistributie, rekeningrijden, sociaal-ruimtelijke spreiding, duurzame stadsontwikkeling, enz.).

1.2 Groei van transport

De voorziene toename tussen 1998 en 2010 van het Europese personenvervoer, uitgedrukt in passagierskilometers, bedraagt 24%, waarvan een toename van 90% in het luchtvervoer (Europese Commissie, 2001). Voor het goederenvervoer, uitgedrukt in tonkilometers, wordt een globale toename van 38% verwacht. Voor België betekent deze groei een toename vertrekkende van 4,56 miljoen wagens in 2000 tot 5,22 miljoen in 2010 en 5,53 miljoen in 2020. Meer zorgwekkend is de mondiale toename van het aantal voertuigen, zoals weergegeven in Figuur 1.

Figuur 1: Evolutie van het aantal voertuigen in de OESO en in de rest van de wereld, 1990 – 2030



Bron: OESO (2000a) and OESO, (2000b)

Tegen 2030 zullen er evenveel voertuigen zijn in de OESO (Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling) landen als in de rest van de wereld (elk ongeveer 800 miljoen), wat bijna neerkomt op een verdubbeling ten opzichte van de huidige situatie. Deze toename is voornamelijk te wijten aan de uitbreiding van het wagenpark in de economisch opkomende landen, maar ook in de OESO zone voorziet men nog voor lange tijd een jaarlijkse toename van het wagenpark met ongeveer 2%.

1.3 Energieafhankelijkheid van transport

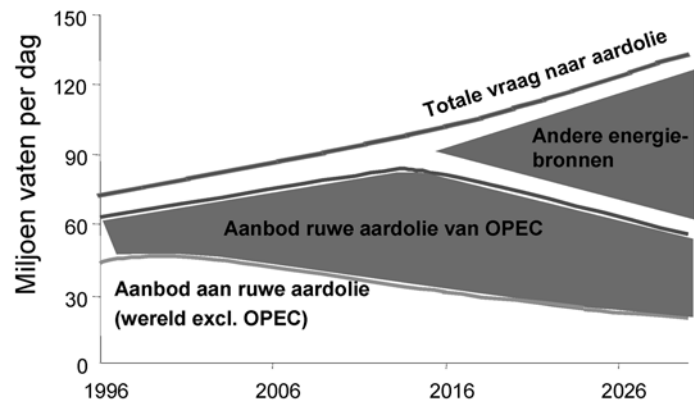
De in bovenstaande figuur weergegeven groei heeft een belangrijke invloed op de energiebevoorrading. De afhankelijkheid van externe energiebronnen in de EU is teruggelopen van 40% in 1990 tot 35% in 2000, maar binnen 20 à 30 jaar kan deze afhankelijkheid gemiddeld 60% bedragen. In het bijzonder is deze afhankelijkheid 80% voor aardolie, 70% voor aardgas en 50% voor steenkool (Europese Commissie, 2000).

De continuïteit van de beschikbaarheid van “conventionele” (goedkope) olie wordt duidelijk in vraag gesteld. Volgens het Internationaal Energie Agentschap (Pershing J., 2000) zal er binnen een tiental jaar een maximale aardolieproductie op basis van “goedkoop” ontginbare aardoliereserves worden bereikt. Deze zal onvermijdelijk gevolgd worden door een terugval. Dit wordt weergegeven in Figuur 2. Dit is te verklaren doordat de ontdekking van nieuwe aardoliereserves hun hoogtepunt hebben bereikt rond het

Mobiliteit en (groot)stedenbeleid

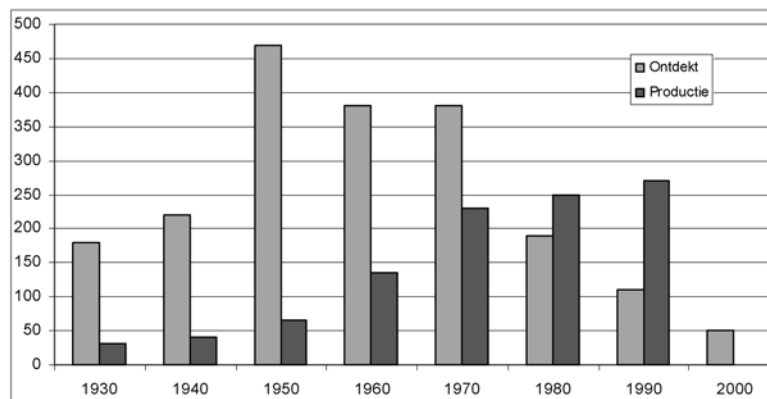
begin van de jaren '60 en dat de omvang van de ontdekkingen sindsdien enkel is afgenomen (zie Figuur 3) (Zegers P., 2005).

Figuur 2: Vraag en aanbod aardolie op wereldschaal



Bron: op basis van Pershing J. (2000); Colin J. (1998); Maggetto G. (2005) en Van Mierlo (2006)

Figuur 3: Ontdekte reserves en aardolieproductie (in miljard vaten)



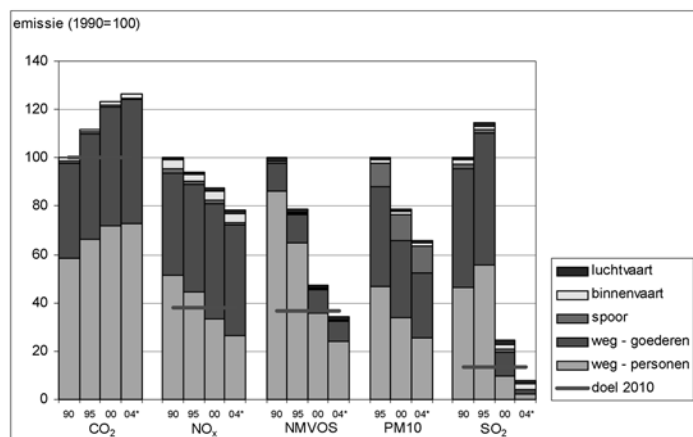
Bron: op basis van Zegers P. (2005)

Zonder bijzondere maatregelen zal de vraag naar conventionele olie nog stijgen en leiden tot een stijging van de prijzen. Eveneens zal de productie van “niet-conventionele” olie afkomstig van minder toegankelijke of kwalitatief minder hoogstaande reserves toenemen (diepzee boren tot 2000 m in 2010, teerzanden in Canada) of zullen alternatieve brandstoffen aangewend moeten worden. Voor aardgas geldt een gelijkaardige analyse, met een verschuiving van 10 tot 20 jaar ten opzichte van aardolie.

1.4 Milieubelasting door transport

In Vlaanderen draagt transport sterk bij tot de globale emissies van polluenten: 47% van de NO_x emissies zijn afkomstig van transport, voor CO_2 is dat 19 %, voor NMVOS 17 % en voor PM_{10} 14 %. De bijdrage van het autoverkeer aan de uitstoot van schadelijke emissies is dus aanzienlijk. Enkel voor SO_2 is de bijdrage van transport zeer beperkt, namelijk 1 % (MIRA-T, 2005). Figuur 4 toont het verloop van de uitlaatemissies van CO_2 , NO_x , NMVOS en SO_2 voor transport. Deze worden vergeleken met de Vlaamse emissiedoelstellingen voor 2010 (gebaseerd op de Belgische emissieplafonds opgelegd door Europa). Voor PM_{10} worden zowel de uitlaat- als de niet-uitlaatemissies (slijtage van banden, remmen, wegdek, rails en bovenleidingen) weergegeven.

Figuur 4: Emissies van CO_2 , NO_x , NMVOS, PM_{10} en SO_2 door transport (Vlaanderen, 1990, 1995, 2000, 2004)



(* voorlopige cijfers)

Bron: MIRA-T (2005) op basis van Energiebalans Vlaanderen VITO, VITO, VMM

De meeste polluenten vertonen een dalende trend behalve het broeikasgas CO_2 . Voor de NO_x (87 925 ton in 2004) is nog maar 35 % van de doelstelling gerealiseerd in 2004 t.o.v. 1990. Bovendien bevatten de weergegeven emissieplafonds ook de emissies van niet-voor-de-weg-bestemde voertuigen van de landbouw en industrie en de emissies van visserij en SSS (short sea shipping). De totale emissies liggen dus nog hoger dan aangegeven in Figuur 4. Veder blijkt uit recent onderzoek (ARTEMIS, 2004) dat de emissies van vrachtwagens in praktijk hoger liggen dan aanvankelijk ingeschat op basis van de emissiegrenswaarden voor vrachtwagens. Het beleidstekort dat hierdoor ontstaat dient op Europees niveau aangepakt te worden.

Mobiliteit en (groot)stedenbeleid

Merk op dat het vrachtverkeer voor slechts 14% van het totaal aantal afgelegde kilometers in België bijdraagt (t.o.v. 84% voor personenwagens) en toch een zeer aanzienlijke bijdrage levert tot de emissies voorgesteld in Figuur 4 (Van Mierlo & Macharis, 2005).

Fijn stof heeft een belangrijke invloed op de volksgezondheid, zeker in dichtbevolkte stedelijke gebieden. PM wordt voornamelijk uitgestoten door dieselveertuigen. Uitlaatemissies van stof bestaan in hoofdzaak uit zeer kleine deeltjes (PM_{2,5}), terwijl de stofdeeltjes van niet-uitlaatemissies groter zijn (PM₁₀). De kleinste stofdeeltjes (PM_{2,5}) zijn juist het schadelijkst voor de gezondheid, omdat die het diepst in het lichaam kunnen doordringen. Bovendien bevat het fijn stof van diesels ongezonde stoffen zoals roetdeeltjes en PAK's.

De uitstoot van PM₁₀ toont een dalende trend. Strenger worden emissienormen zullen de PM emissies verder reduceren. Er zijn echter nog geen doelstellingen (emissieplafonds) voor 2010 opgesteld. Roetfilters kunnen de PM emissies tot meer dan 85% reduceren.

De geleidelijke invoering van de emissierichtlijnen Euro I (1992), Euro II (1996), Euro III (2000), Euro IV (2005) en Euro V (2008) laat de beheersing toe van CO-, NO_x-, koolwaterstof- en fijn stofemissies.

Niettegenstaande de toename van het aantal voertuigkilometers, dalen deze emissies in hun geheel gevoelig. Dit geldt voor België, de EU en het geheel van de OESO landen. Voor de rest van de wereld is er een gevoelige toename van de emissies voorzien, zodat de globale emissies met 45 tot 55% zullen stijgen (Maggetto & Van Mierlo, 2002).

Voor de CO₂-emissies is de toestand helemaal anders: de CO₂ emissies zijn immers rechtstreeks afhankelijk van de totale hoeveelheid verbruikte brandstof en dus van het aantal voertuigkilometer voor het personenvervoer en tonkilometer voor het goederenvervoer. De CO₂-emissie bedroeg 14 900 kton in 2004 en zal moeten tegen 2010 met 27 % moeten verminderen.

Het is opvallend vast te stellen dat een gemiddelde wagen jaarlijks tot 5 ton CO₂ uitstoot, hetzij vier tot vijfmaal zijn eigen gewicht.

De Europese Commissie heeft met de vereniging van autoconstructeurs (ACEA/KAMA/JAMA) een convenant afgesloten om tot een daling van de CO₂-uitstoot te komen. De gemiddelde CO₂-uitstoot van nieuwe personenwagens moet van gemiddeld 186 g/km in 1995 dalen naar gemiddeld 140 g/km in 2008. Vanaf 2000 worden wagens op de markt gebracht die 120 g CO₂/km of minder uitstoten. De constructeurs beschouwen dit echter niet als een officiële doelstelling. De Europese doelstelling is om het verbruik verder te laten dalen tot een CO₂ uitstoot van 120g in 2012. Hiervoor wordt

gerekend op de overeenkomst met de voertuigconstructeurs en op andere instrumenten zoals de verkeersbelastingen. ACEA twijfelt thans aan de haalbaarheid van de 140 g CO₂/km tegen 2008, de oorspronkelijke gunstige daling tot 2002 lijkt zich immers minder sterk door te zetten in 2005 (MIRA, 2005). Ook andere studies stellen zich kritisch op ten opzichte van de haalbaarheid van deze doelstelling (Kågeson, 2000).

Op stedelijk gebied dient men rekening te houden met specifieke, lokale effecten. Tabel 1 geeft een overzicht van enerzijds de relatieve verhouding van de lengte van het wegennet en de afgelegde afstanden en anderzijds de emissies veroorzaakt door personenwagens in deze verschillende gebieden. De cijfers van de verdeling van de emissies over de verschillende type wegen dateren van 1998. De relatieve verhouding zal thans niet grondig gewijzigd zijn, waardoor een vergelijking mogelijk is.

Opvallend is dat een beperkt aandeel van de voertuigkilometers in de stad (23 %) toch een aanleiding geeft tot een hogere bijdrage in verkeersemisies (tussen 31 en 69 %). Bovendien moet men hierbij rekening houden dat deze emissies grotere schade kunnen toebrengen aan de menselijke gezondheid daar er een grotere bevolkingsconcentratie aan blootgesteld wordt.

Tabel 1: Lengte van het wegennet (% op 148.216 km in 2001, België), afgelegde afstanden per type weg (% op 52.2 miljard voertuigkilometers in 2001, Vlaanderen) en emissie personenwagens (% in Vlaanderen, 1998)

	Lengte	Vtg.km	Emissie personenwagens Vlaanderen				
	(km)	(miljard)	CO ₂ (%)	CO (%)	KWS (%)	NOx (%)	PM10 (%)
Gemeentewegen	89.4%	23%	42%	64%	69%	31%	45%
Gewest- en provinciewegen	9.4%	40%	27%	20%	18%	24%	25%
Autosnelwegen	1.2%	37%	31%	17%	13%	46%	30%

Bron: op basis van Van Mierlo J. & Macharis C. (2005), Van Mierlo et al. (2002) en Ministerie van Verkeer en Infrastructuur, (2003)

Tot slot is het belangrijk te vermelden dat lawaai of geluidshinder in stedelijke gebieden een belangrijke bedreiging vormt voor de levenskwaliteit. Het wegverkeer is actueel de belangrijkste groep als veroorzaker van geluidshinder in Vlaanderen. Het percentage van de bevolking in Vlaanderen dat gedurende de dag in de week wordt blootgesteld aan een geluidsdruk niveau van 65 dB(A) of meer, nam in de periode tussen 1996 en 2001 zelfs toe. Verkeer en vervoer veroorzaken samen 54 % van het aantal potentieel ernstig gehinderden, gevolgd door de bevolking (18 %) en toerisme & recreatie (10 %)

Mobiliteit en (groot)stedenbeleid

(MIRA, 1999). De actuele reglementering met betrekking tot de geluidsproductie van voertuigen heeft vooral tot gevolg gehad dat het motorgeluid gereduceerd is. De winst per geluidsbron wordt evenwel teniet gedaan door de toename van het aantal voertuigen. De huidige normen houden bovendien onvoldoende rekening met het rolgeluid dat belangrijk wordt bij hoge snelheid. Naast technische aspecten speelt het rijgedrag een grote rol (Van Mierlo, 2000).

2 Technologieën voor transport

Uit de analyse beschreven in bovenstaande sectie blijkt duidelijk dat er nog een hele weg af te leggen is ter vermindering van de CO₂, NO_x en PM emissies, in het bijzonder in stedelijk gebied. De geopolitieke spanningen die op korte termijn vermoedelijk zullen voortvloeien uit de uitputting van de olie-reserves, onderlijnen bovendien op dramatische wijze het probleem van een fundamentele herziening van de energievoorziening in het algemeen en van mobiliteit en vervoer in het bijzonder.

Mogelijke oplossingen worden geboden door alternatieve brandstoffen en aandrijvingen. De tekst van onderstaande sectie is gebaseerd op de bijdrage die de auteurs geleverd hebben aan het Milieuraapport Vlaanderen (MIRA, 2005).

2.1 Klassieke brandstoffen

2.1.1 Benzine en dieselvoertuigen

Kleine benzinevoertuigen verbruiken ongeveer 7 liter per 100 km, terwijl het verbruik van grotere gezinswagens gemiddeld rond de 9 liter per 100 km ligt. Kleine dieselvoertuigen verbruiken ongeveer 5 liter per 100 km en het verbruik van grotere gezinswagens op diesel ligt rond de 7 liter per 100 km. Dit zijn officiële waarden, het verbruik in de praktijk ligt meestal hoger omwille van onder andere het rijgedrag en de verkeerssituatie (bv. fileverkeer). Wanneer men de energie-inhoud van de brandstof in beschouwing neemt (uitgedrukt in MJ/km of kWh/km), merkt men dat binnen een bepaalde voertuigklasse de benzinevoertuigen meer primaire energie verbruiken dan vergelijkbare dieselvoertuigen. Primaire energie bevat zowel het energieverbruik van het voertuig (direct energieverbruik) als de energie nodig voor de productie van de brandstof (indirect energieverbruik).

Thans stoten dieselwagens, vergeleken met benzinewagens, relatief veel fijn stof of roetdeeltjes en stikstofoxiden uit. De milieu-impact (zie verder in de sectie over Ecoscore) is daarom, ondanks een doorgaans lagere CO₂-uit-

stoot, meestal ongunstig omwille van de belangrijke impact van de roetdeeltjes op de menselijke gezondheid. De installatie van katalysatoren en deeltjesfilters zou dit moeten verhelpen.

De afgelopen jaren zijn meerdere technische ontwikkelingen doorgevoerd bij conventionele voertuigen. Eén van de eerste stappen daarbij was het beter beheersen van het ontstekingsmoment, de ingespoten brandstofhoeveelheid en het inspuitsmoment. Dit wordt geregeld door het motormanagementsysteem. Daarvoor worden in moderne motoren sensoren ingebouwd om luchtinlaat, temperaturen (koelvloeistof, buiten), rijsnelheid, toerental en restzuurstof in het uitlaatgas (lambdasensor) te meten. Daarmee is het mogelijk het motorgedrag beter af te stemmen op omstandigheden (zoals koude start) of op de samenstelling van de uitlaatgassen, om op die basis de werking van katalysatoren te optimaliseren en daarmee de uitstoot van emissies te beperken (Buning L. et al., 2005). Voor benzinemotoren zijn, om het lage rendement bij lage belasting te verbeteren (gesloten gasklep, toenemende ladingsverliezen), verschillende technologische oplossingen al toegepast op productiemotoren of zijn deze oplossingen in een ver stadium van ontwikkeling: GDI, volledig variabele kleptiming en klep lift, Miller cyclus, downsizing, HCCI,....

Katalysatoren zijn een vorm van uitlaatgasnabehandeling, waarbij stoffen als NO_x en CO worden opgevangen. Andere vormen van dergelijke nabehandeling zijn de recirculatie van uitlaatgassen (EGR: exhaust gas recirculation) en de selective catalytic reduction (SCR). EGR (het terugvoeren van uitlaatgassen in de cilinder) levert extra warmtecapaciteit in de verbrandingskamer ten koste van het vermogen, waardoor de verbrandingstemperatuur verlaagt en daarmee de NO_x -uitstoot. Bij SCR wordt door inspuiting van een geringe hoeveelheid ongevaarlijk carbamide stikstofoxide omgezet in stikstof en zuurstof. Ten slotte worden bij duurdere modellen van bepaalde automerken al roetfilters toegepast, om de fijn-stof-emissie terug te dringen. Vanaf Euro V (2008, richtlijn in onderhandeling) zullen wellicht alle dieselwagens met een roetfilter worden uitgerust. Ook een aantal stadsbussen is hiermee uitgerust (Buning L. et al., 2005).

2.1.2 LPG-voertuigen

LPG (liquefied petroleum gas) bestaat hoofdzakelijk uit propaan (C_3H_8) en butaan (C_4H_{10}) en is een bijproduct van de olieraffinage. Bij omgevingsdruk (ongeveer 1 bar) is LPG gasvormig, maar het kan vanaf een druk van 4 bar vloeibaar gemaakt worden. Vandaar de naam "*liquefied petroleum gas*".

Momenteel bestaat het merendeel van de LPG-voertuigen uit aangepaste ('retrofit') benzinevoertuigen. Er is een tendens bij de autofabrikanten om meer voertuigen op de markt te brengen die specifiek ontwikkeld zijn voor LPG, maar hun aandeel in het wagenpark is momenteel nog steeds beperkt.

Mobiliteit en (groot)stedenbeleid

De verhouding van de samenstellende componenten van LPG verschilt zeer sterk naargelang het land van oorsprong en naargelang de periode van het jaar. In het Verenigd Koninkrijk bijvoorbeeld bestaat LPG uit 90 % propaan terwijl die in Italië slechts uit 20 % propaan bestaat. In België is de propaan/butaan verhouding 60/40. Oorspronkelijk leidde dit tot problemen tijdens het reizen doorheen verschillende landen, maar tegenwoordig kunnen motoren deze variabiliteit zonder veel problemen aan.

Om eenzelfde autonomie te bereiken als conventionele benzinevoertuigen, zou het LPG-reservoir zowat 1,4 maal groter moeten zijn dan een benzine-tank. Dit is te wijten aan de lagere volumetrische energetische inhoud van LPG vergeleken met benzine en aan de beperking dat de tank slechts voor 80 % gevuld wordt omwille van veiligheidsredenen.

Kleine LPG-voertuigen, type stadswagen, verbruiken 9 tot 10 liter LPG per 100 km. Grotere LPG-wagens, type gezinswagens, verbruiken daarentegen 11 tot 12 liter per 100 km. Uitgedrukt in liter per 100 km is het verbruik van LPG-voertuigen hoger dan van benzinevoertuigen en zeker hoger dan van diesel voertuigen, wat voor een groot stuk te maken heeft met de lagere volumetrische energie-inhoud van LPG. Het gewicht van LPG is 0.54 kg/l tegenover ± 0.78 kg/l voor benzine en ± 0.86 kg/l voor dieselbrandstof. Dit is de reden van het hoger verbruik (aan de pomp) voor een LPG motor. Energetisch wordt echter gerekend met de massa van de brandstof (kg). Het rendement van de LPG-motor is vergelijkbaar met het rendement van de benzinemotor, en dus iets lager dan dat van de dieselmotor. De aanmaak van LPG vergt iets minder energie dan benzine (dit resulteert dus in een lager indirect energetisch verbruik).

Rekening houdend met het directe en indirecte energiegebruik, hebben LPG-voertuigen een hogere emissie van CO₂ dan dieselveertuigen maar iets lager dan benzinevoertuigen.

Indien LPG-wagens goed worden afgesteld, zijn alle schadelijke emissies (NO_x, SO₂, CO, KWS) doorgaans lager vergeleken met de emissies van benzinewagens. Dit vereist echter een goed onderhoud en een blijvend goede regeling. Zoniet kunnen sommige emissies (i.e. NO_x en KWS) oplopen. De emissiereductie bij het ombouwen van een bestaand benzinevoertuig naar een LPG-voertuig is zeer variabel en is sterk afhankelijk van de kwaliteit van de installatie. Enkel door het gebruik van hoogtechnologische LPG-installaties kan LPG een daadwerkelijke vermindering van de emissies bewerkstelligen.

LPG is verkrijgbaar over heel Europa, met de grootste concentraties aan verdeelpunten in Nederland, België, Frankrijk, Italië en Groot-Brittannië. In België is LPG beschikbaar in ongeveer 550 tankstations.

2.2 Alternatieve brandstoffen

2.2.1 Aardgasvoertuigen

Aardgas is een geurloos product dat voorkomt in de natuur en voor het merendeel bestaat uit methaan. De verhouding van de componenten waaruit aardgas is samengesteld verschilt naargelang de plaats van ontginning. Het methaangehalte varieert tussen 80 en 99 %. Dit kan problemen geven aangezien de motor niet werd ontworpen om te functioneren met grote verschillen in gassamenstelling. Aardgasvoertuigen kunnen ook gebruik maken van biogas, dat gemaakt wordt via anaërobe vergisting van mest en/of plantaardige (afval)stoffen.

Aardgasmotoren zijn vonkontstekingsmotoren, net als benzine- of LPG-motoren. Het aardgas wordt onder hoge druk (tot 200 bar) in de wagen getankt. Naast het comprimeren van het aardgas, kan men het eveneens opslaan onder vloeibare vorm. Hieraan wordt de naam 'Liquefied Natural Gas' (LNG) gegeven, in plaats van 'Compressed Natural Gas' (CNG). De moeilijkheid bij deze technologie is dat het vloeibare aardgas dient te worden opgeslagen bij een zeer lage temperatuur van -160°C . Het overgrote deel van de aardgasvoertuigen wereldwijd maakt gebruik van CNG.

Net zoals bij LPG-voertuigen, bestaat momenteel het merendeel van de CNG-voertuigen uit aangepaste benzinevoertuigen, maar er is een tendens naar ontwikkelen van motoren specifiek voor CNG. Op die manier kan de techniek geoptimaliseerd worden voor het gebruik van het aardgas als brandstof. Dit wordt vooral toegepast voor zwaar vervoer (bussen en vrachtwagens). De voornaamste eigenaars van CNG-voertuigen in België zijn Electabel en de MIVB.

Het energiegebruik bij personenwagens, rijdend op aardgas, is afhankelijk van de motortechnologie. 'Bifuel' voertuigen (aardgas – benzine) kunnen onmogelijk optimaal afgesteld zijn voor zowel aardgas als benzine, waardoor er t.o.v. een benzinevoertuig een energetisch meerverbruik bestaat dat tot 10 % kan oplopen. Bij voertuigen met motoren specifiek ontworpen voor aardgas kan het energiegebruik dalen tot 80 % t.o.v. benzinevoertuigen. Daarenboven vereist de compressie van het aardgas een extra energiegebruik van 10 % tot 20 % van het direct energieverbruik van de aardgaswagens.

Rekening houdend met het direct en indirect energiegebruik hebben aardgasvoertuigen een vergelijkbare of iets lagere emissie van CO_2 ten opzichte van diesellootvoertuigen en 20 % lager t.o.v. benzinevoertuigen. Doordat aardgas grotendeels uit methaan bestaat, stoten aardgasvoertuigen 2 tot 3 maal meer koolwaterstoffen uit dan benzinevoertuigen. Methaan zelf is daarenbo-

Mobiliteit en (groot)stedenbeleid

ven een sterk broeikasgas. De uitstoot van alle andere vervuilende stoffen is echter doorgaans lager bij CNG-voertuigen (zie verder in sectie 3).

Een groot voordeel van aardgas is dat het lichter is dan lucht, zodat het zich onmiddellijk in de atmosfeer verspreidt en er geen ontvlambare mengsels kunnen ontstaan. In afgesloten ruimten kan dit echter wel.

Aardgasvoertuigen zijn significant stiller dan conventionele voertuigen en de motorvibratie is eveneens kleiner. Een nadeel van aardgasvoertuigen is de kleinere kofferruimte, daar ze een speciale gastank nodig hebben, die een deel van de nuttige ruimte in beslag neemt.

De autonomie van CNG-personenwagens is 200 tot 250 km. Om eenzelfde autonomie te bereiken als conventionele benzinevoertuigen, zou het CNG-reservoir zowat 5 maal groter moeten zijn dan een benzinetank.

Er bestaan twee manieren om een aardgasvoertuig van brandstof te voorzien, namelijk via een 'quick fill' of via een 'slow fill'. In het geval van een 'quick fill' wordt gebruik gemaakt van een bufferopslag bij een druk van ongeveer 250 bar. Het voltanken van een voertuig neemt hier slechts een tiental minuten in beslag. In landen waar CNG op grote schaal wordt toegepast, zijn publieke CNG-tankstations veelal uitgerust met een 'quick fill' systeem. In het geval van een 'slow fill' wordt de tank door een compressor op directe wijze gevoed. Dit neemt ongeveer een 5-tal uur in beslag. Deze methode wordt voornamelijk toegepast voor aardgasbussen zoals bij de MIVB.

Het aantal tankstations voor aardgas is in België heel beperkt. Het grote voordeel vergeleken met andere alternatieven (zoals b.v. LPG), is dat er, net zoals voor elektriciteit, wél een aardgasdistributienetwerk bestaat, in het bijzonder kan de infrastructuur voor huishoudelijke verwarming ingezet worden.

In 1998 bedroeg het aantal aardgasvoertuigen in België 243, waarvan 202 wagens en bestelwagens, 27 bussen en 14 vrachtwagens. Dit aantal is weinig veranderd in 2005. Wereldwijd rijden er al meer dan 4 miljoen aardgasvoertuigen rond. Met 1,5 miljoen voertuigen is Argentinië de belangrijkste markt.

2.2.2 Waterstof

Waterstof kan ondermeer worden gebruikt in een verbrandingsmotor of in een brandstofcel (zie verder).

De conversie van een benzinemotor naar waterstof is vergelijkbaar met de omschakeling van benzine naar LPG. Bij waterstofconversie dient echter de ontstekings- en injectietiming (en injectieduur) volledig opnieuw ingesteld

te worden. Voor veiligheidsdoeleinden dient eventueel de caterventilatie verbeterd te worden en zijn klopsensoren onmisbaar.

De waterstofverbrandingsmotor heeft wel een aantal belangrijke voordelen t.o.v. andere brandstoffen; zeer snelle verbranding (hoger thermisch rendement), belasting geregeld door aanpassing van de rijkheid van het brandstof-lucht mengsel i.p.v. met de gasklep (geen obstructie door de gasklep, geen ladingsverliezen en hoger rendement), hogere compressieverhouding mogelijk (hoger theoretisch rendement). Dit maakt dat het totaal rendement van een waterstofverbrandingsmotor hoger is dan dat van een benzineverbrandingsmotor (Sierens-Rosseel 2000, Sierens-Verhelst 2000, Verhelst 2006, Ciatti et al, 2006)

Waterstof op zich komt slechts in beperkte mate voor in de natuur, maar het waterstofatoom is overvloedig aanwezig in water van meren, rivieren en oceanen en natuurlijk ook in fossiele brandstoffen en brandstoffen afkomstig van biologische processen (methanol, ethanol, biomassa,...). Drie productiesystemen zijn denkbaar en onderling combineerbaar: oxidatie van gas afkomstig van organische plantaardige of fossiele stoffen, elektrolyse van water en de directe productie uit biomassa of door gebruik te maken van bacteriën. Op dit ogenblik wordt 96% van het verbruikte waterstof (voornamelijk in de chemische industrie) geproduceerd uit aardgas (CH_4), dus uit een fossiele brandstof.

Enerzijds kan de produktie van waterstofgas gebeuren aan boord van de wagen door benzine, ammoniak, methanol, of aardgas om te zetten tot waterstof met behulp van een “*reformer*”. Het nadeel van deze “*reformer*-methode” is dat het voertuig hierdoor niet volledig emissieloos is. Anderzijds kan er ook rechtstreeks waterstofgas getankt worden (onder vloeibare of gasvorm). De vloeibare opslag vereist zeer lage temperaturen (20 K of -253°C) en geeft aanleiding tot verliezen in de opslagtank. De opslag onder hoge druk (700 bar) gaat gepaard met grote verliezen voor de compressie van het gas. Een massa-verhouding van 5% (verhouding van het gewicht van de opgeslagen waterstof t.o.v. het gewicht van de opslagtank) is realiseerbaar. Een alternatieve oplossing is de opslag van waterstof in metaalhydride structuren of door absorptie in nanotubes uit koolstof.

Waterstofgas heeft het imago gevaarlijk te zijn (door het Hindenburg ongeluk en het Challenger ongeluk bijvoorbeeld), maar *crash tests* hebben uitgezien dat deze brandstof op een veilige manier kan gebruikt worden. Figuur 5 toont een vergelijking van een brand met waterstof (linker wagen) en benzine (rechter wagen). De benzinewagen brandt helemaal uit. Bij het waterstofvoertuig daarentegen ontstaat er een kortstondige steekvlam die het interieur van de wagen nauwelijks verhit.

Figuur 5: Vergelijking van een brand met waterstof (linker wagen) en benzine (rechter wagen); Links: begin van de ontsteking; rechts na één minuut



Bron: Swain M.R., (2001)

In vergelijking met benzine heeft waterstofgas een hogere specifieke energie-inhoud nl. 120MJ/kg t.o.v. 45MJ/kg, maar wel een kleinere energiedichtheid. 4,6 liter waterstof bij 700 bar komt namelijk overeen met 1 liter benzine.

Eveneens bestaan er verbrandingsmotoren die gebruik maken van een mengeling van aardgas en waterstof. Hythane is een brandstofmengsel van aardgas en waterstof waarbij het aandeel waterstof meestal 20 % in volume bedraagt.

Het Instituut voor Duurzame Mobiliteit (met zetel UGent) heeft sedert 2004 een aantal pilot-studies verricht over de maatschappelijke valorisering van waterstof binnen een Belgische ruimtelijke context (Allaert, 2005).

De waterstofverbrandingsmotor kan de overschakeling naar een waterstofeconomie geleidelijk laten gebeuren dit in tegenstelling tot de waterstofbrandstofcel. Bi-fuel (waterstof – benzine) verbrandingsmotoren zijn door BMW (Rottengrubber H. et al, 2004) en Ford (Stockhausen W.F. et al) productierijp verklaard. Ze zullen toelaten het waterstofnetwerk geleidelijk uit te bouwen en de nodige ervaring op te doen met waterstof. De topping of de elektriciteitsproductie van het wisselend windvermogen (anders niet bruikbaar) laat toe een hoeveelheid zeer goedkope waterstof te bekomen (Allaert et al, 2004).

2.2.3 Biobrandstoffen

In tegenstelling tot benzine en diesel, die geproduceerd worden uit aardolie, zijn biobrandstoffen hernieuwbare brandstoffen. Ze worden immers geproduceerd uit landbouwgewassen, hout of organisch afval. Er bestaan dus ver-

Milieuvriendelijke voertuigen

schillende soorten biobrandstoffen. Biobrandstoffen hebben het voordeel dat ze in grote mate compatibel zijn met conventionele aandrijftechnologieën (benzine- en dieselmotoren).

Tegen eind 2005 streefde de Europese Commissie naar een aandeel van 2% biobrandstoffen in de totale hoeveelheid verbruikte transportbrandstoffen. Tegen eind 2010 loopt dit streefcijfer op tot 5,75 %. Op korte termijn wordt daarbij vooral gerekend op biodiesel, bio-ethanol en in mindere mate ook op biogas en puur plantaardige olie (PPO). Op middellange termijn wordt er gerekend op de verdere ontwikkeling van de productieprocessen van de 2de generatie. Deze processen gaan voornamelijk uit van biomassa die in een eerste stap vergast wordt en daarna omgezet wordt naar een vloeibare brandstof. Voorbeelden hiervan zijn: Fisher-Tropsch biobrandstoffen, bio-DME (Dimethylether) en bio-methanol. Theoretisch zijn biobrandstoffen CO₂-neutraal: de CO₂ wordt opgenomen door planten en via fotosynthese omgezet tot energierijke biomassa. Deze biomassa wordt daarna door verbranding in de voertuigmotoren terug omgezet in CO₂. Tijdens het landbouwproces en de verwerking van de gewassen tot biobrandstof worden echter wel schadelijke pollutanten, waaronder broeikasgassen, geëmitteerd waardoor het proces niet CO₂ neutraal is.

Biodiesel kan gemaakt worden uit plantaardige olie, zoals koolzaad-, zonnebloem-, palm- of soja-olie, eventueel ook zelfs uit gebruikte frituurolie of dierlijke vetten. Om een hoge brandstofkwaliteit te verkrijgen, ondergaan deze oliën een chemische reactie (verestering) met methanol. Het resultaat is een methylester, zoals koolzaadmethylester (*Rapeseed methyl ester* of RME). Dit product beschikt over eigenschappen die nauw aanleunen bij de eigenschappen van conventionele dieselolie.

Men kan biodiesel in pure vorm gebruiken in een gewone dieselmotor, mits een aantal kleine aanpassingen (zoals het voorzien van dichtingen en brandstofleidingen in een geschikt materiaal, om zo het aantasten van rubber te vermijden). Ook is biodiesel perfect mengbaar met fossiele diesel. Alle dieselmotoren van na 1980 kunnen zonder probleem mengsels ontvangen die tot 5 % biodiesel bevatten. Dit aandeel kan zelfs oplopen tot 20 of 30 %. Voorlopig aanvaarden de constructeurs bijmenging tot 5% voor gebruik in het huidige voertuigenpark. Bepaalde voertuigmodellen zijn standaard voorzien van biodieselcompatibele materialen en kunnen dus rijden op pure biodiesel.

Net zoals dieselwagens stoten biodieselveertuigen meer NO_x en PM uit dan benzinewagens. Een dieselmotor die op pure biodiesel draait, zal iets meer NO_x uitstoten (rond 10 %) dan wanneer hij op conventionele diesel draait, terwijl de emissies van PM, CO en koolwaterstoffen doorgaans met 50 % dalen bij gebruik van biodiesel. Een nadeel van biodiesel is dat het kan zorgen

Mobiliteit en (groot)stedenbeleid

voor geuroverlast (“frituurlucht”), maar dit kan grotendeels worden opgevangen door een oxidatiekatalysator (standaard aanwezig bij nieuwe personenwagens). De meeste netto broeikasgasemissies zijn te wijten aan de landbouwfase (vooral N_2O emissies), de olie-extractie en de verestering. Algemeen wordt gesteld dat biodiesel leidt tot een globale reductie van 40 tot 60 % in broeikasgasemissies t.o.v. fossiele diesel (IEA, 2004). Biodiesel wordt op natuurlijke wijze voor 98 % biologisch afgebroken binnen een termijn van 21 dagen. Dit betekent dat een lek niet leidt tot blijvende bodem- of waterverontreiniging.

Puur plantaardige olie (PPO) kan tevens ingezet worden in dieselmotoren, maar hiervoor dient de motor speciaal omgebouwd te worden (voornamelijk voor de voorverwarming en de filtratie van de brandstof, alsook eventueel voor de aanpassing van de injectoren). De meeste toepassingen werden tot zover op oudere dieselmotormodellen aangebracht. De ervaring op nieuwe dieseltechnologieën (b.v. common-rail) is nog beperkt. Ook zijn niet alle merken van dieselpompen ervoor geschikt. De kost van dergelijke ombouw ligt tussen 2000 en 3000 euro voor personenwagens.

Het voordeel van zuivere koolzaadolie t.o.v. biodiesel (veresterde koolzaadolie) ligt in het eenvoudiger productieproces (wegvallen van het veresteringsproces). Hierdoor is de brandstof goedkoper, vereist het productieproces minder fossiele energie en zijn de broeikasgasemissies ook lager. Wat betreft de andere schadelijke emissies zijn de effecten minder eenduidig. Tegenover het gebruik van zuivere koolzaadolie (of andere oliën) staan de motorconstructeurs vrij afkerig, omdat dit de motorwerking te sterk zou beïnvloeden (en de emissies daardoor vermoedelijk zouden stijgen) en ook omdat er minder controle is op de kwaliteit van de brandstof, wat op termijn schade aan de motor zou kunnen veroorzaken.

Een derde soort biobrandstof is *Bio-ethanol*. Bio-ethanol is een alcohol dat verkregen wordt door fermentatie van suikerhoudende gewassen (zoals suikerbiet of suikerriet) of van zetmeelhoudende gewassen (zoals tarwe, maïs of aardappelen). Op langere termijn zouden ook cellulose-houdende materialen (stro, grassen, hout) ingezet kunnen worden voor ethanolproductie.

Door zijn hoog octaangetal is ethanol het meest geschikt voor toepassing in vonkontstekingsmotoren. Bijmenging van ethanol bij benzine stelt tot 20 % voor moderne benzinevoertuigen in het overgrote deel van de gevallen nauwelijks problemen. Voor hogere ethanolconcentraties (zoals E85 = 85% ethanol, 15% benzine) of gebruik van pure ethanol dienen materialen in het brandstofsysteem aangepast te worden en dient de inspuithoeveelheid verhoogd te worden, gezien de lagere verbrandingswaarde van ethanol. Zogenaamde Flexible Fuel voertuigen (FFV) kunnen op om het even welke mengverhouding van benzine en ethanol functioneren. Verscheidene voor-

tuigconstructeurs hebben reeds FFV-modellen ontwikkeld, maar deze zijn vooral bestemd voor de Amerikaanse of Braziliaanse markt.

Op dit moment zijn er twee voertuigen, die geschikt zijn voor ethanol, op de markt. Beide zijn zogenaamde Flexible Fuel Vehicles (FFV): de Ford Focus FFV en de Saab 95 FFV. Beide Flexible Fuel Vehicles rijden op zowel benzine als op ethanol. Het motormanagement systeem reageert op de brandstofsamenstelling (Buning et al., 2005).

De productie van ethanol vergt veel energie. Hoeveel energie juist nodig is, hangt sterk af van de gebruikte grondstof. Ook de globale reductie in broeikasgasemissies hangt sterk af van de grondstof en van het productieproces. Het IEA (International Energie Agentschap) stelt dat ethanol met de huidige productietechnologieën uit graan of maïs globaal slechts 30 à 40% lager scoort in broeikasgasemissies in vergelijking met benzine. Indien ethanol gemaakt wordt uit suikerhoudende gewassen zoals suikerbiet en vooral suikerriet ligt de reductie een stuk hoger (IEA, 2004).

Ethanol is minder toxisch dan benzine en vooral dan methanol, dat voornamelijk in de jaren '90 in de Verenigde Staten werd aangewend. Methanol werd meestal aangemaakt uit aardgas, wat globaal geen voordeel opleverde op het vlak van broeikasgasemissies. Daarnaast is methanol vluchtiger dan ethanol en is het bovendien sterk corrosief.

Indien ethanol in beperkte hoeveelheid (typisch 5 %) wordt bijgemengd bij benzine, verhoogt dit de vluchtigheid van de brandstof (en dus ook de verdampingsemisies). Om dit probleem op te vangen wordt, vooral in Europa, gekozen voor de toepassing van ETBE (ethyltertiairbutylether). *Bio-ETBE* is een octaanverhoger die gemaakt wordt uit bio-ethanol en uit het fossiele isobutyleen. ETBE mag tot 15 % bijgemengd worden bij benzine zonder dat het een verhoging van de vluchtigheid ervan teweeg brengt. Voorlopig wordt bio-ETBE vooral in Frankrijk en Spanje aangewend.

De 1^e generatie biobrandstoffen vormen vooral een eerste stap om de overheersende afhankelijkheid van aardolieproducten in de transportsector te verminderen. Ook is hun lagere impact op het broeikaseffect van belang in het kader van het Kyoto-protocol. De milieuvriendelijkheid van de 1ste generatie biobrandstoffen moet echter vaak worden gerelativeerd. De gebruikte planten vereisen kunstmest en bestrijdingsmiddelen. Bovendien vergen de landbouw- en productieprocessen veel energie en leiden ze tot veel bijkomende emissies. Tevens worden er grote landbouwoppervlaktes opgeëist: om voldoende brandstof te produceren om een auto een jaar te laten rijden, heeft men ongeveer één hectare landbouwgrond nodig. Biobrandstoffen op basis van tropische gewassen dienen ook met de nodige voorzichtigheid ge-

Mobiliteit en (groot)stedenbeleid

hanteerd te worden. Ze kunnen immers leiden tot het kappen van tropisch regenwoud of kunnen ten koste gaan van de lokale voedselvoorziening.

2.3 Alternatieve aandrijvingen

Naast voertuigen met een “klassieke” aandrijflijn met verbrandingsmotor, bestaan er voertuigen met een “alternatieve” aandrijflijn, zoals batterij-elektrische voertuigen, hybride voertuigen en brandstofcelvoertuigen.

2.3.1 Batterij-elektrische voertuigen

Elektrisch aangedreven voertuigen bestaan sinds het einde van de 19de eeuw, maar zijn door de verbrandingsmotor verdrongen geweest. In de jaren '80 en '90 kregen elektrische voertuigen echter opnieuw meer aandacht dankzij hun milieuvriendelijke eigenschappen. Bovendien werd het na de oliecrisis midden jaren '70 duidelijk dat onze olieafhankelijkheid te groot is en aldus beperkt dient te worden. Elektrische voertuigen zijn voor hun energietoevoer immers veel minder afhankelijk van de olieproducerende landen. Een elektrisch voertuig wordt aangedreven door een elektrische motor en haalt zijn energie uit een herlaadbare batterij. Door de karakteristieken van de elektrische motor is een versnellingsbak in de meeste gevallen niet nodig. Bovendien wordt een deel van de remenergie gerecupereerd om de batterij opnieuw bij te laden. Men heeft zelfs de mogelijkheid de motor te integreren in de wielen (zowel voor een tweewiel als voor een vierwielaandrijving). Vanuit stilstand kan de elektrische motor zijn maximaal koppel ontwikkelen, wat aanleiding geeft tot een groot acceleratie vermogen. Een ander fundamenteel verschil met klassieke wagens is dat de motor hier niet draait wanneer de wagen stilstaat en dus geen energie verbruikt.

Een groot pluspunt van elektrische voertuigen is dat zij bij gebruik geen uitlaatgassen uitstoten. In stadsverkeer, omwille van hun gunstig effect op het leefmilieu, vormen elektrische voertuigen een belangrijke factor voor de verbetering van het verkeer en meer in het bijzonder voor een gezondere leefomgeving. De productie van elektriciteit kan echter wel gepaard gaan met emissies. Indien de verbruikte elektriciteit echter zou worden opgewekt met hernieuwbare energiebronnen zoals wind en zonne-energie of waterkrachtcentrales, zouden de emissies verwaarloosbaar zijn. De samenstelling van het elektriciteitsproductiepark is dus bepalend voor de emissies geassocieerd aan deze voertuigen.

Een elektrische motor heeft een veel hoger rendement (80 tot 90 %) dan zijn thermische tegenhangers (10 tot 40 %). Zelfs indien men het rendement voor productie van elektriciteit in rekening brengt alsook de op- en ontlaadverliezen van de batterij, verbruikt een elektrisch voertuig steeds minder

energie. Het regeneratief remmen en het nulverbruik bij stilstand leiden ertoe dat elektrische voertuigen tot 40 % meer energie-efficiënt zijn dan benzinevoertuigen (zie verder).

Voor elektrische voertuigen bestaan drie types laadinfrastructuur, nl. de “gewone”, de “semi-snelle” en de “snel”-laadinfrastructuur. Bij het gewone type wordt gebruik gemaakt van een standaard stopcontact (230 V, 16 A, 3,5 kW) en duurt een volledige lading 5 tot 8 uur. Bij het semi-snelle type (7 kW) duurt het half zo lang en bij het snelle type (20 kW en meer) slechts een tiental minuten. Naast de privé-stopcontacten, die ruim aanwezig zijn in woningen en in garages, kunnen ook publieke laadstations gebruikt worden. Deze zijn echter nog niet beschikbaar in ons land, maar vereisen slechts beperkte aanpassingen of uitbreidingen van het bestaande elektriciteitsnetwerk.

Meer dan 95 % van de stoffen in de batterijen kunnen gerecycleerd worden. Een netwerk voor de ophaling en recyclage van batterijen is aanwezig en verloopt heel efficiënt (Van den Bossche 2005, Matheys et al., 2005).

De huidige batterij-elektrische voertuigen hebben een beperkte autonomie en kunnen met een volledig opgeladen batterij gemiddeld 80 tot 120 km afleggen. Ze zijn bijgevolg zeer geschikt voor gebruik in de stad of voor toepassingen waarbij korte trajecten afgelegd worden. Er wordt verwacht dat deze actieradius in de toekomst zal toenemen tot 300 km door gebruik te maken van nieuwe batterijtechnologieën (zoals Lithiumbatterijen).

In het jaar 2000 waren er in België zowat 1053 elektrische voertuigen ingeschreven, waarvan 30 personenvoertuigen, 6 motorvoertuigen, 2 bussen, 78 vrachtwagens, 5 tractoren en 932 speciale voertuigen (vnl. vorkliften).

Het grootste financiële obstakel voor het doorbreken van elektrische voertuigen is de uitbatingkost van de batterij, aangezien zij thans om de paar jaar moet worden vervangen (afhankelijk van batterijtype en aantal laad-ontlaad cycli). De meerkost dat dit met zich meebrengt voor de eindgebruiker kan echter over de tijd gespreid worden door *leasing* van de batterij. Men verwacht dat de kostprijs van de batterij zal dalen, dankzij massaproductie en verdere technische ontwikkelingen. Aan de andere kant is elektriciteit in vergelijking met diesel, benzine, LPG en biodiesel, veruit de goedkoopste energiebron. Tegen een prijs van 0,08 euro per kWh, schommelt de elektriciteitskost per 100 km tussen 1,6 en 1,7 euro voor kleine en gezinswagens. De brandstofkost van dieselvoertuigen per 100 km is 3 tot 5 maal hoger dan wat er moet betaald worden voor het bijladen van elektrische voertuigen. (brandstofkosten dd. 2001; zie verder).

2.3.2 Brandstofcel elektrische voertuigen

Elektrische voertuigen kunnen ook voorzien worden van een brandstofcel in plaats van een batterij. In een brandstofcel wordt gebruik gemaakt van zuurstof (uit de omgevingslucht) en waterstof (uit een gastank) om elektriciteit te produceren.

De brandstofcel technologie is nog in volle ontwikkeling en er bestaan nog geen commerciële brandstofcelvoertuigen. Thans bestaan er slechts enkele prototypes. De consument zal vermoedelijk pas binnen 10 tot 20 jaar dergelijk voertuig kunnen aanschaffen.

Het energiegebruik van een brandstofcelvoertuig ligt, tengevolge van het hogere rendement van een brandstofcel in combinatie met de elektrische aandrijving, lager dan bij conventionele voertuigen met verbrandingsmotor (zie verder).

De huidige brandstofcelvoertuigen (BCEV) (prototypes) hebben een autonomie van ongeveer 300 km, maar op termijn wordt gestreefd naar een autonomie van 600 km. De hoge productiekost (3000 €/kW tot 8000 €/kW) van een brandstofcel is gedeeltelijk te wijten aan het gebruik van dure materialen, zoals b.v. platina voor de separatoren. Bij overgang naar massaproductie en het gebruik van goedkopere materialen kan de prijs echter dalen (200 €/kW) (Zegers, 2005). Deze prijs dient vergeleken te worden met de lagere brandstofkosten en de vermeden externe kosten ten gevolge van de lagere luchtverontreiniging ten opzichte van conventionele voertuigen.

2.3.3 Hybride voertuigen

De term “hybride voertuigen” omvat een verzameling voertuigtechnieken die gebruik maken van twee (of meer) aandrijfsystemen of energiebronnen. Meestal bevatten ze een verbrandings- en een elektrische motor.

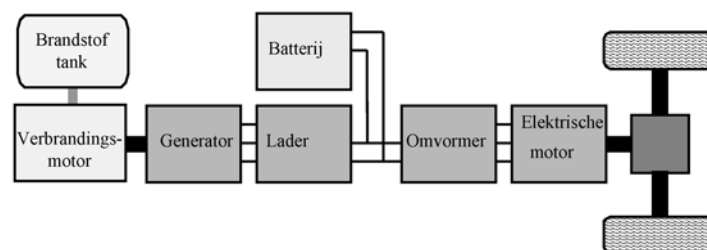
Men onderscheidt twee grote deelgroepen; nl. de parallel hybride en de serie hybride voertuigen. Bij de eerste soort zijn de elektrische en thermische motor mechanisch gekoppeld en kunnen ze beide de wielen aandrijven. Bij de tweede soort worden de wielen enkel aangedreven door de elektrische motor, die zijn energie haalt uit een batterij of uit een generator die aangedreven wordt door een thermische motor.

De *serie hybride* structuur (zie Figuur 6) kan de werking van de verbrandingsmotor optimaliseren, door de batterij de piekvermogens voor het accelereren te laten leveren (b.v. Irisbus, Renault Kangoo RE). De batterij kan ook de remenergie recupereren. In het geval er geen batterij is, dus wanneer men enkel beschikt over een generator-groep – bekomt men de aandrijving die gewoonlijk het ‘diesel-elektrisch’ systeem wordt genoemd en feitelijk

geen hybride aandrijving is (vb. Mercedes Cito bus). De familie van *hybride brandstofcel aandrijvingen* behoort tot de serie hybride groep. De verdeling van het vermogen gebeurt deze keer tussen de brandstofcel en de batterij (vb. Citaro Mercedes bus).

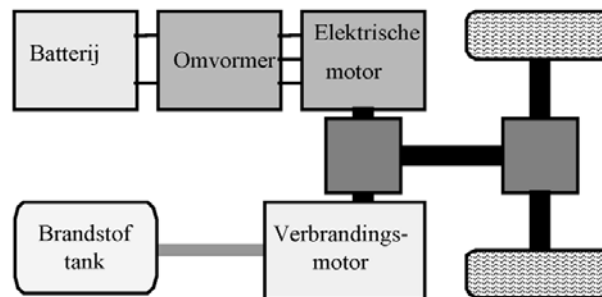
Bij de *parallel hybride* (zie Figuur 7) assisteert een elektrische motor de verbrandingsmotor. Beide motoren zijn mechanisch gekoppeld aan de wielen (b.v. Honda Civic).

Figuur 6: Serie hybride aandrijving



Bron: Van Mierlo (2000)

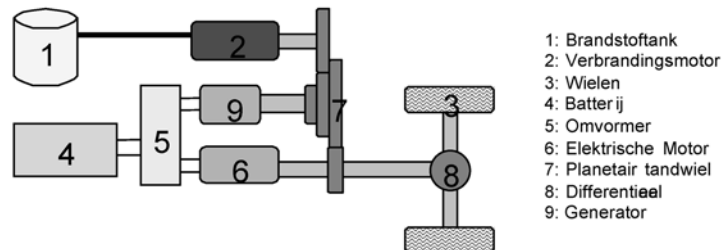
Figuur 7: Parallel hybride aandrijving



Bron: Van Mierlo (2000)

De combinatie van een serie hybride structuur en een parallel hybride structuur (zie Figuur 8) wordt een 'gecombineerd' of serie – parallel hybride structuur genoemd (b.v. Toyota Prius).

Figuur 8: Gecombineerd hybride aandrijving



Bron: Van Mierlo (2000)

Men ziet dus dat er zeer veel combinaties mogelijk zijn en toegepast worden. Uiteraard hebben deze verschillende opties niet allen dezelfde waarde op het gebied van energetisch rendement, noch op ecologisch of economisch gebied. De evaluatie van de te beschouwen criteria werd ondergebracht in een computermodel, dat in het kader van een doctoraatsonderzoek ontwikkeld werd aan de Vrije Universiteit Brussel (Van Mierlo, 2000).

De keuze van de structuur is afhankelijk van de geviseerde markt. Voor stadsbussen zal men bijvoorbeeld eerder een serie hybride structuur verkiezen. Een parallelle structuur is dan weer aan te raden voor (gezins)wagens die vooral op snelwegen rijden. Een gecombineerde structuur komt eerder in aanmerking voor gemengd gebruik (stedelijk-buitenstedelijk).

De verbrandingsmotor in hybride voertuigen maakt meestal gebruik van benzine (bij personenvoertuigen) maar voertuigen met andere brandstoffen zoals (bio)diesel, LPG, CNG, enzovoort, zijn eveneens denkbaar.

Er bestaan hybride voertuigen waarbij men de batterij ook kan opladen via het elektriciteitsnet ("Plug-in-hybride") en andere hybride voertuigen waar de batterijlading automatisch gebeurt met een generatorgroep aan boord van de wagen.

Hybride voertuigen kunnen de emissies en het brandstofverbruik sterk reduceren doordat:

- De verbrandingsmotor kan uitgeschakeld worden wanneer er geen vermogen gevraagd wordt (wanneer men bijvoorbeeld in de file of voor een rood licht stilstaat). Het brandstofverbruik, en de hieraan gekoppelde CO₂-uitstoot, kan hierdoor gereduceerd worden met 8 tot 15 %.
- Tijdens het remmen kan de remenergie terug opgeslagen worden in de batterij, hetgeen een energiebesparing tot 15 % kan opleveren voor personenwagens.
- De verbrandingsmotor kan benut worden in een werkingsgebied dat overeenstemt met lage emissies en een laag brandstofverbruik.

Hybride voertuigen kunnen zodoende 15 tot 30 % minder primaire energie verbruiken dan conventionele voertuigen. In stadsverkeer kan dit zelfs tot 50 % minder zijn. Sommigen bezitten tevens de mogelijkheid om zuiver elektrisch te rijden en zijn zodoende in staat om plaatselijk emissieloze verplaatsingen te maken.

Op heden zijn er slechts enkele hybride wagens verkrijgbaar op de Belgische markt (Toyota Prius, Honda Civic IMA, Renault Kangoo Elect'Road, Lexus RX400h, Lexus GS450h). De aankoopprijs van deze wagens is iets hoger dan de aankoopprijs van een conventionele wagen van dezelfde klasse. Anderzijds zijn ze goedkoper in gebruik dankzij hun lager brandstofverbruik en eventuele fiscale voordelen (zie verder).

3 Vergelijking van voertuigtechnieken

In sectie 2 werden verschillende alternatieve brandstoffen en aandrijvingen beschreven. In deze sectie wordt dieper ingegaan op volgende drie belangrijke aspecten:

- het energiegebruik;
- de milieu-impact;
- de kost.

3.1 Energetische vergelijking

Men staat er (zelfs vandaag nog) vaak niet bij stil dat het energetisch rendement van een conventioneel voertuig lager is dan 15% in een stedelijke omgeving (80% van de voertuigen verplaatsen zich voornamelijk in de stad). Nochtans wil dit zeggen dat er van de 50 liter brandstof in een doorsnee brandstoftank minder dan 7,5 liter ten volle benut wordt om te rijden terwijl dat de overige 42,5 liter wordt omgezet in ongebruikte warmte! In de lijst van huidige aandrijvingen vertonen dieselmotoren de beste energie efficiëntie, gevolgd door benzinemotoren en daarna door de motoren die gebruik maken van gasvormige brandstoffen (aardgas en LPG).

Het brandstofverbruik wordt daarenboven ook bepaald door het rijgedrag. Men kan brandstof besparen door het motortoerental laag te houden (<2500 tpm voor benzine en <2000 tpm voor diesel). Buiten de bebouwde kom (niet op autosnelwegen) kan een brandstofbesparing van 25% bekomen worden door het toerental van de motor laag te houden. In de stad is men sterker afhankelijk van externe factoren zoals verkeersflux, verkeerslichtenregeling, enz., waardoor de brandstofbesparing door een aangepast rijgedrag beperkter is (ongeveer 5%) (Van Mierlo et al. 2004, Van Mierlo et

Mobiliteit en (groot)stedenbeleid

al. 2002). Om een idee te hebben van de globale impact op de voertuigemisies betreft het vooral een kwestie van de individuele automobilist weten te motiveren tot gebruikmaking van een zuinige rijstijl. Op basis van corporate communicatie (massa media, en dergelijke) stelt men vast dat 18% van de bestuurders de belangrijkste elementen van milieuvriendelijk rijden in de praktijk toepast. Indien men voor het Vlaamse wagenpark de potentiële brandstofbesparing doorrekent, stelt men vast dat een aanpassing van het rijgedrag een besparing van 1,8% bewerkstelligt. (Van Mierlo et al., 2002).

Het gewicht van het voertuig en het vermogen van de motor (aantal kilowatt) bepalen eveneens het brandstofverbruik van het voertuig. Uit onderzoek (Van Mierlo J., 2002) blijkt dat een toename van de massa van het voertuig met 200kg, het verbruik doet stijgen met 8 tot 13% bij lichtere voertuigen (< 1 ton) en met 3 tot 5% bij zwaardere voertuigen (1.7 ton). Volgens het Nederlandse Ecodrive (2002) blijkt ook dat het brandstofverbruik met 6.7% verhoogt voor een middelgroot voertuig van 1500 kg indien het een extra last van 100kg vervoert. Voor eenzelfde bouwjaar en brandstoftype blijkt dat hoe kleiner het motorvermogen, hoe zuiniger de wagen (Van Mierlo J., 2002).

De toegenomen veiligheids- en comfortmaatregelen in voertuigen, maar ook de toegenomen volumes van de voertuigen hebben ertoe geleid dat het gewicht tussen 1993 en 2004 met bijna 30 % is toegenomen (De Mol J., 2006). Ook de grootte van het motorvermogen is toegenomen met 51 % tussen 1983 en 2004 (De Mol J., 2005). Febiac (2006) geeft een gemiddelde gewichtstoename van 24 % en toename van het motorvermogen met 22 % in de periode van 1995-2005. In diezelfde periode is het officiële brandstofverbruik met een 15 % gedaald. Een beter brandstofreductie zou mogelijk zijn, indien meer kleinere wagens met kleine motor zouden gebouwd en gekocht worden.

Tevens heeft het beladen van de wagen zijn invloed. Volgens Vito (2002) geeft een bagagerek aanleiding tot een meerverbruik van 7.5% bij een snelheid van 120km/u, een beladen bagagerek zelfs 38.7% en een skibox 16.1%. Algemeen stelt Vito (2002) een meerverbruik van 10% voor een skibox en 20 a 30% voor een fietsendrager op het dak van de wagen.

Bovenstaande analyse had vooral betrekking op conventionele voertuigen. Hoe verhouden zich nu voertuigen met alternatieve brandstoffen en aandrijvingen zich t.o.v. deze conventionele brandstoffen? Hiervoor moeten we gebruik maken van een “Well-to-Wheel” (WTW) benadering. Tabel 2 toont de brandstofkarakteristieken, het direct energiegebruik (“Tank-to-Wheel”, of TTW, overeenstemmend met het energiegebruik in het voertuig zelf), het indirecte energiegebruik (“Well-to-Tank” (WTT), overeenstemmend met het energieverbruik voor de productie van de brandstof) en het primair

Milieuvriendelijke voertuigen

(WTW) energiegebruik. De voertuigen uit Tabel 2 voldoen alle aan EURO IV en hebben een motor met een cilinderinhoud van ongeveer 1600cc. Alle voertuigen werden op basis van een zelfde rijcyclus vergeleken (NEDC).

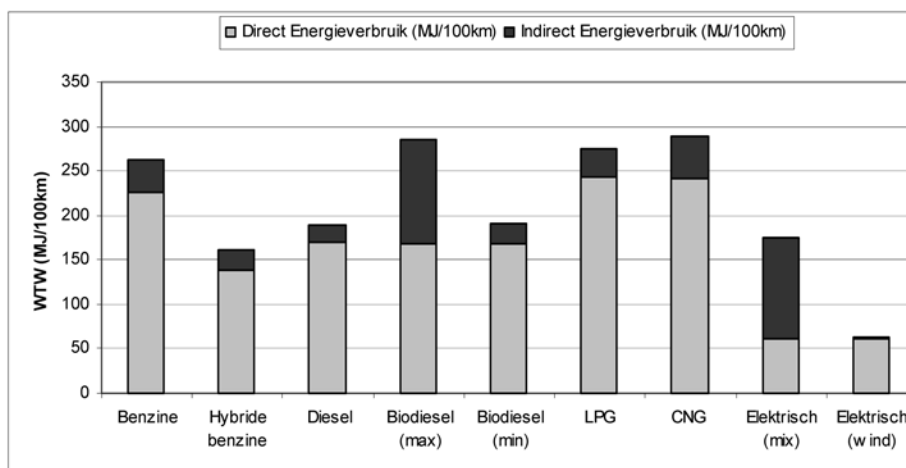
Tabel 2: 'Well-to-Wheel', energiegebruik van personenvoertuigen

	Verbruik		Dicht- heid	LHV		TTW	Energie input	WTT	WTW	
			kg/m ³	MJ/kg	kg/ 100km	MJ/ 100km	MJ/MJ	MJ/ 100km	MJ/ km	
Benzine	7	L/100 km	755	42.715	5.29	226	0.16	36	2.62	100%
Hybride benzine	4.3	L/100 km	755	42.715	3.25	139	0.16	22	1.61	61%
Diesel	4.6	L/100 km	850	43.274	3.91	169	0.12	20	1.90	72%
Biodiesel (min)	5.06	L/100 km	880	37.700	4.45	168	0.70	118	2.85	109%
Biodiesel (max)	5.06	L/100 km	880	37.700	4.45	168	0.14	24	1.91	73%
LPG	9.8	L/100 km	550	45.114	5.39	243	0.13	32	2.75	105%
CNG (min)	6.42	M3/100 km	717	52.367	4.60	241	0.20	48	2.89	110%
Elektrisch (mix)	0.17	kWh/km				61	1.87	114	1.76	67%
Elektrisch (wind)	0.17	kWh/km				61	0.03	2	0.63	24%

Bron: Timmermans et al. (2005)

In Figuur 9 worden deze laatste grafisch weergegeven. Hieruit blijkt het belangrijke voordeel van de hybride aandrijving alsook de invloed van de productie van biobrandstof en elektriciteit op het primaire energieverbruik van biobrandstofvoertuigen, respectievelijk batterij elektrische voertuigen. De voertuigen op LPG en aardgas hebben een hoger energiegebruik dan het benzinevoertuig. Het dieservoertuig heeft een gunstiger energiegebruik dan het benzinevoertuig. Wat energiegebruik betreft scoort in deze vergelijking het hybride voertuig het beste.

Figuur 9: Well-to-Wheel, energiegebruik van personenvoertuigen, in 2005.



Bron: op basis van MIRA-T (2005)

In onderstaande analyse uitgevoerd door EUCAR (het R&D netwerk van de Europese automobiel sector) geeft een projectie van het primaire energieverbruik tegen 2010 en dit voor verschillende brandstoffen en productietechnieken (EUCAR, 2004). De resultaten zijn weergegeven in Figuur 10. Daar de verschillende alternatieve en conventionele voertuigen al dan niet uitgevoerd kunnen worden met een hybride aandrijving, wordt het resultaat na hybridisatie eveneens weergegeven met een horizontale streepje.

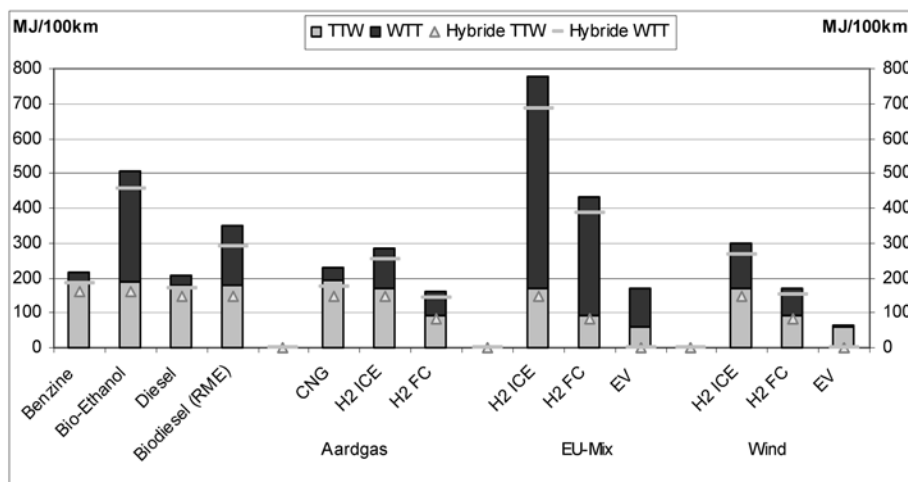
Waterstof kan uit verschillende energiebronnen opgewekt worden, zoals uit aardgas, nucleaire energie, alternatieve energiebronnen (wind, waterkracht, zonnecellen, enz.) (Brinkman et al. 2005; Choudhury et al. 2002; Edwards et al. 2004; Bogart, 2002). Welke productiepaden uiteindelijk gekozen zullen worden voor productie op grote schaal is momenteel nog niet duidelijk. In vele gevallen zal hierbij wellicht elektrische energie gebruikt worden om waterstofgas te produceren via de elektrolyse van water.

Alternatieve vormen van energievoorziening worden besproken in functie van de verwachte situatie in 2010. Voor diesel en benzine wordt een extrapolatie gemaakt naar de verwachte technologie in 2010. Deze worden vergeleken met bio-ethanol en biodiesel (RME). Hierbij zijn de dieselloertuigen uitgerust met een roetfilter. Daarnaast wordt gekeken naar het gebruik van aardgas in een verbrandingsmotor (CNG). Waterstof wordt hier aangeduid met H_2 (compressed). Een onderscheid wordt gemaakt tussen het gebruik van waterstof in een verbrandingsmotor (ICE) of in een brandstofcel (FC). Waterstof kan opgewekt worden op basis van aardgas (Aardgas), elektriciteit

Milieuvriendelijke voertuigen

overeenstemmend met de Europese mix (*EU-mix*) of elektriciteit opgewekt op basis van windenergie (*Wind*). De elektriciteit kan ook rechtstreeks gebruikt worden in een batterij elektrisch voertuig (*EV*).

Figuur 10: Well-to-Wheel, energiegebruik van personenvoertuigen, in 2010.



Bron: eigen bewerking op basis van EUCAR (2004)

Uit deze figuren blijkt dat het voordeel van waterstof vooral zit in het lager *Tank-to-Wheel* energiegebruik indien gebruik gemaakt wordt van een brandstofcel, maar dat dit ten koste gaat van de *Well-to-Tank* energie die nodig is voor de generatie van waterstofgas. De combinatie van waterstof met een verbrandingsmotor blijkt tot 2010 geen alternatief voor benzine en diesel te zijn qua energieverbruik (EUCAR, 2004).

Uit deze analyse blijkt ook dat men bijna 3 keer meer energiecentrales (bv. windmolens) moet bouwen, wanneer waterstofgas wordt gebruikt als energiedrager voor een brandstofcel elektrisch voertuig, dan wanneer men de geproduceerde elektriciteit rechtstreeks zou gebruiken in een batterij elektrisch voertuig.

Aan de andere kant kan waterstofgas als een mogelijke energiebuffer aanzien worden. Bij het gebruik van windmolens is de elektriciteitsproductie afhankelijk van de windomstandigheden. Elektriciteit moet echter opgewekt worden op het ogenblik dat het verbruikt wordt. Daarom dient men bij windmolens steeds te beschikken over elektriciteitscentrales die kunnen worden ingeschakeld op het ogenblik dat er geen wind is. Een andere oplossing is de door de windmolens geproduceerde elektriciteit op te slaan onder de vorm van waterstofgas, die dan benut kan worden op de ogenblikken

Mobiliteit en (groot)stedenbeleid

waarop er te weinig (of teveel) wind is. Ook hier stelt zich de vraag of het economisch niet meer rendabel is om met pompcentrales, zoals in Coö, te werken als energiebuffer in plaats van met waterstof.

3.2 Milieu (Ecoscore)

De milieu-impact van voertuigen hangt van verschillende facetten af, waaronder de manier van rijden alsook de voertuig technologie zelf.

Tabel 3 beschrijft de mogelijke emissie reducties door milieuvriendelijk te rijden. Een milieuvriendelijk rijgedrag zorgt voor een halvering van de NO_x emissies zowel in als buiten de stad (Van Mierlo et al., 2002).

Tabel 3: Invloed van het rijgedrag op voertuigemissies en brandstofverbruik.

		CO ₂ / FC	CO	KWS	NO _x	PM
benzine	Stad	-4%	nc	nc	-55%	
	Buitenweg	-25%	-59%	-39%	-47%	
diesel	Stad	-8%	nc	nc	nc	-27%
	Buitenweg	-22%	-37%	-24%	-29%	-31%

n.c. = niet consistent;

Bron: Van Mierlo et al. (2002)

In opdracht van het departement Leefmilieu, Natuur en Energie van de Vlaamse overheid (vroeger: AMINAL) heeft de Vrije Universiteit Brussel in samenwerking met VITO en de ULB een methode ontwikkeld voor de beoordeling van de milieuvriendelijkheid van voertuigen (Van Mierlo, 2004, Timmermans et al., 2005). Deze methodologie, Ecoscore¹ genaamd, is toepasbaar op conventionele personenwagens en zwaar vervoer (vrachtwagens, vuilniswagens, bussen), omgebouwde voertuigen, alternatieve voertuigen en op tweewielers.

Er bestaan verschillende systemen om de milieuvriendelijkheid van wagens te definiëren: op basis van type brandstof of aandrijving, op basis van CO₂-uitstoot of op basis van homologatieregelgeving (bv. Euro 4). Die benaderingen zijn onvoldoende om de volledige milieu-impact van een voertuig te beschrijven of om een exacte vergelijking tussen verschillende alternatieven te maken.

1. De Vlaamse Gemeenschap gebruikt deze methode voor haar sensibiliseringscampagnes (<http://lucht.milieuinfo.be/>) en onderzoekt in welke mate fiscale maatregelen op deze Ecoscore kunnen gebaseerd zijn. Ook het Brussels en Waals Gewest hebben interesse om deze Ecoscore-indicator te gebruiken.

Bij de Ecoscore-methodologie daarentegen worden verschillende schade-effecten in rekening gebracht. Het broeikaseffect telt voor 50 % mee in de eindscore, gezondheidseffecten voor 20 %, effecten op ecosystemen voor 20 % en geluidshinder voor 10 %. De bijdragen van de verschillende pollutanten tot de schade-effecten worden respectievelijk berekend op basis van GWP (*Global Warming Potential*), externe kosten en decibels. De milieuevaluatie laat toe de verschillende effecten te combineren in één enkele indicator. De Ecoscore geeft een cijfer weer tussen 0 en 100, waarbij 100 het meest milieuvriendelijke is. De methodologie is gebaseerd op een “Well-to-Wheel” analyse. Dat wil zeggen dat er naast de directe emissies die vrijkomen tijdens het rijden, eveneens rekening wordt gehouden met de indirecte emissies die veroorzaakt worden door de productie en distributie van de brandstof.

Tabel 4 geeft een vergelijking tussen een benzinevoertuig en andere voertuigtypes die allen voldoen aan de meest recente emissienorm Euro 4 (van kracht sedert 1 januari 2005) en die eenzelfde cilinderinhoud hebben (1 600 cc). Emissies, energieverbruik en Ecoscore worden vergeleken. Het blijkt dat dieselloftuigen goed scoren op het gebied van CO₂-emissies, maar veel minder gunstig zijn op het gebied van emissies van PM₁₀ en NO_x in vergelijking met benzinevoertuigen. De geselecteerde LPG- en aardgasvoertuigen, alsook de hybride voertuigen hebben over de ganse lijn lagere emissies dan het benzinevoertuig. Elektrische voertuigen kunnen een zeer grote reductie van emissies opleveren, op PM₁₀ emissies na. De PM₁₀ emissies zijn immers iets hoger dan voor het benzinevoertuig, maar nog steeds veel lager dan voor het dieselloftuig.

Tabel 4: “Well-to-Wheel” emissies, energieverbruik en Ecoscore van personenvoertuigen

	CO ₂ (%)	SO ₂ (%)	NO _x (%)	NMVOS (%)	PM ₁₀ (%)	energieverbruik (%)	Ecoscore
benzine Euro 4	100	100	100	100	100	100	64,5
diesel Euro 4	78	56	171	26	421	72	63,2
LPG Euro 4	93	54	90	41	68	105	69,5
aardgas Euro 4	77	25	28	24	34	110	75,8
hybride Euro 4	67	61	39	54	61	61	75,8
elektrisch	27	43	38	1	132	67	85,3

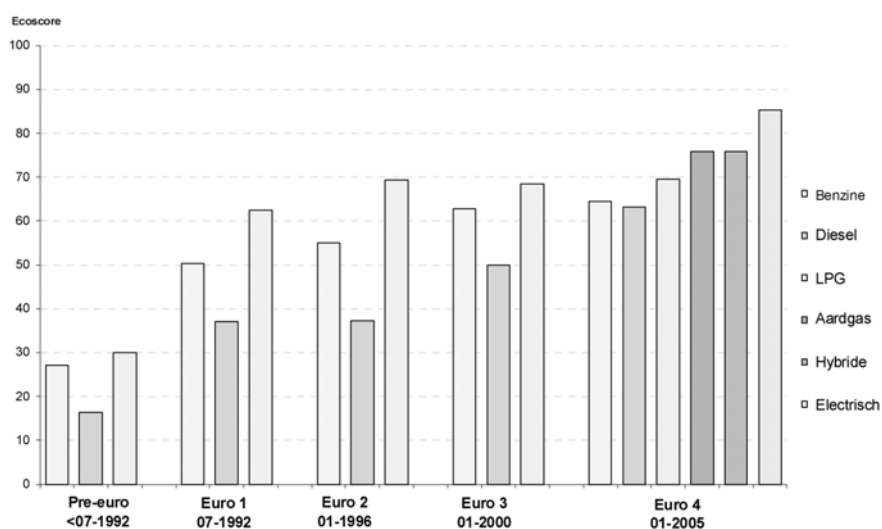
Bron: Timmermans et al. (2005)

In Figuur 11 ziet men de Ecoscore van een set van voertuigen, met verschillende brandstof of aandrijflijn en ouderdom. Naast de emissies uit tabel 3, wordt voor de Ecoscore rekening gehouden met de bijkomende pollutanten

Mobiliteit en (groot)stedenbeleid

CH₄, N₂O en CO alsook met de geluidshinder. Hoe beter de milieuprestaties van een voertuig, hoe hoger de Ecoscore.

Figuur 11: Ecoscore van personenvoertuigen met verschillende brandstof/aandrijflijn en ouderdom, maar met eenzelfde cilinderinhoud



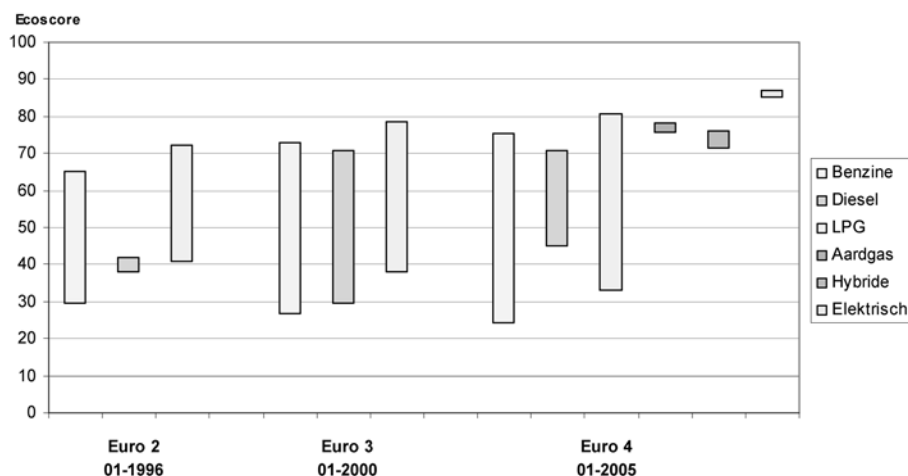
Bron: Timmermans et al. (2005)

Uit Figuur 11 en Tabel 4 blijkt dat een zeer gunstige Ecoscore wordt bekomen voor het batterij elektrisch voertuig (Peugeot 106 electric). Dit resultaat wordt eveneens bevestigd door andere internationale studies zoals Hill (2002). Voor de berekening werden indirecte emissiedata gebruikt die gerelateerd zijn aan een gemiddelde elektriciteitsmix voor België. Indien uitsluitend aardgascentrales worden gebruikt, is de Ecoscore van het elektrisch voertuig nog beter, namelijk 85,7 en indien uitsluitend hernieuwbare energiebronnen worden gebruikt is de Ecoscore 96,7. Het elektrische voertuig blijft in de drie gevallen dus zijn milieuvoordeel behouden. Eveneens scoren het hybride benzinevoertuig (Toyota Prius) en voertuigen op aardgas (Opel Astra) hoog. Het LPG-voertuig (Opel Vectra) scoort het beste onder de voertuigen die de conventionele brandstoffen gebruiken. De benzine- en dieselvoertuigen hebben een vergelijkbare Ecoscore en sluiten de rij. Op basis van leeftijd ziet men dat recentere voertuigen beter scoren dan oudere voertuigen. Dat is vooral te danken aan de opeenvolgende strengere Europese normen wat betreft uitlaatemissies. Ook de positieve evolutie in de tijd van de geluidsemissies zorgt voor een verbetering van de Ecoscore, hoewel de bijdrage van geluid slechts beperkt doorweegt in het eindresultaat. De emissie van CO₂, die gerelateerd is aan het brandstofgebruik, vermindert niet steeds

bij recentere voertuigen. Het positieve effect van een verbeterde motortechnologie wordt soms tenietgedaan door een toename van het voertuiggewicht of een verhoogd energiegebruik door bepaalde accessoires, waaronder airco (Van Mierlo, 2005b). Opvallend is dat de nieuwste generatie dieselveertuigen haar achterstand inzake milieuprestaties op de benzinevoertuigen aan het inhalen is. Ook het verschil tussen die voertuigen en de LPG-voertuigen is kleiner geworden.

Figuur 11 toont duidelijk de gunstige evolutie in de tijd. Echter binnen een bepaalde klasse, met andere woorden voor een bepaald bouwjaar, zijn er grote verschillen in de Ecoscore mogelijk (Figuur 12). Voertuigen met een groter energiegebruik (bv. terreinwagens) scoren een stuk minder goed dan wagens met een gemiddeld of een laag energiegebruik. Een Euro 4-voertuig scoort dus niet steeds beter dan een Euro 3-voertuig.

Figuur 12: Reikwijdte van de Ecoscore van personenwagens



Bron: Timmermans et al. (2005)

Aangezien er geen recente gegevens voorhanden zijn voor de berekening van de indirecte emissies bij het gebruik van biodiesel, werd biodiesel niet opgenomen in de bespreking van de Ecoscore van alternatieven. Een vergelijking van de directe emissies is wel mogelijk. De directe NO_x -emissies liggen 10 % hoger bij biodiesel ten opzichte van diesel en de directe SO_2 -emissies zijn vergelijkbaar. De directe PM_{10} -, CO - en KWS -emissies liggen 50 % lager bij biodiesel ten opzichte van diesel. Dit voordeel in directe emissies wordt echter gedeeltelijk tenietgedaan door een belangrijke verhoging van de milieu-impact door hogere indirecte PM_{10} - en SO_2 -emissies ten gevolge van onder andere het landbouwproces. De totale bijdrage (directe en

Mobiliteit en (groot)stedenbeleid

indirecte emissies) aan het broeikaseffect wordt, bij gebruik van biodiesel in plaats van gewone diesel, gereduceerd met ongeveer 50 % door de opname van CO₂ bij de productie van gewassen. De analyse is slechts geldig voor biodiesel en kan niet veralgemeend worden naar alle biobrandstoffen. Er kan wel worden gesteld dat biobrandstoffen vooral belangrijk zijn voor de verlaging van broeikasgasemissies en om de energieafhankelijkheid van aardolie te verminderen. De wijze waarop biobrandstoffen geproduceerd worden, heeft echter een doorslaggevende invloed op hun milieu-impact.

Openbaar vervoer kan, in het bijzonder in een stedelijke context, een belangrijke bijdrage vormen tot de verhoging van de duurzaamheid van het transport. Recent werd in het kader van een opdracht voor de MIVB een uitbreiding van de Ecoscore methodologie uitgewerkt (Matheys J, et.al., 2006). Aan de hand van de beschikbare gegevens voor de alternatieve aandrijvingen werd een evaluatie van hun milieu prestaties uitgevoerd.

Uit deze evaluatie bleek dat de meest milieuvriendelijke voertuigen de voertuigen zijn met een volledig elektrische aandrijving (fuel cell, batterij elektrisch, trolley), wanneer de elektriciteit gegenereerd wordt aan de hand van hernieuwbare energiebronnen. Voor brandstofcelbussen is de milieu analyse minder gunstig wanneer de waterstof geproduceerd wordt via elektrolyse met elektriciteit die niet afkomstig is van hernieuwbare energiebronnen. De analyse leert ook dat goed afgestelde, moderne aardgasbussen ongeveer even gunstig scoren als hybride diesel bussen en dus zeer goed scoren binnen de familie van de thermische motoren. Deze aardgasbussen zouden nog beter scoren indien deze een (al dan niet plug-in) hybridisatie zouden vertonen met elektriciteit. In de hypothese van een bus rijdend op biogas (b.v. afkomstig van een waterzuiveringsinstallatie), zou de milieuscore nog gunstiger zijn.

3.3 'Life cycle' kost

3.3.1 Huidige kost per kilometer

De toenemende prijs voor diesel en benzine maken milieuvriendelijke alternatieven aantrekkelijker (Figuur 16). Dit is het geval voor kleine stadswagens, voor LPG en hybride voertuigen en in mindere mate voor aardgas (CNG) voertuigen. De hoge aankoopprijs (te wijten aan kleine reeks productie) en de hoge prijs van de batterijen houdt de prijs van de elektrische personenwagens nog hoog bij beperkte jaarlijkse afstand, maar elektrische bestelwagens hebben wel reeds een lage kost per kilometer. Voor biobrandstoffen zullen de opgelegde accijnzen bepalen of ze al dan niet een aantrekkelijk alternatief vormen. Dit zijn alvast de eerste conclusies die kunnen

getrokken worden uit de analyse van de kost per kilometer van enkele bestudeerde modellen.

Figuur 13 bevat een raming van de totale gemiddelde kost per jaar en per kilometer voor de verschillende voertuigtypes. Deze kosten zijn afhankelijk van het jaarlijks aantal afgelegde kilometers. De resultaten zijn weergegeven voor een scenario van 15.000 gereden kilometer op jaarbasis. Eveneens worden met een groene en een rode markering de kost voor 5.000 kilometer en respectievelijk 30.000 kilometer per jaar ook weergegeven

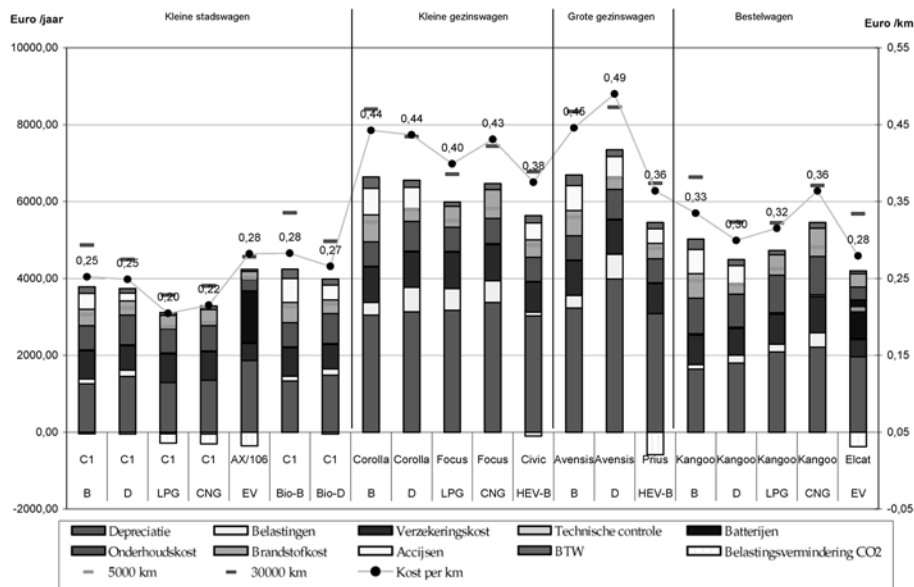
De berekeningen werden gemaakt voor een kleine stadswagen (bv. Peugeot 106 / Citroën C1), voor een kleine gezinswagen (type Toyota Corolla), voor een grote gezinswagen (type Toyota Avensis) en voor een bestelwagen (type Partner). Hierbij werd binnen een bepaalde klasse voor vergelijkbare modellen gekozen op basis van hun prestatie en uitrusting. De resultaten bevatten de aankoopprijs (rekeninghoudend met depreciatie en opportuniteitskost), de inschrijvingstaks, de verzekering, de brandstofkost, het onderhoud en de technische controle. Het huidige fiscale voordeel voor voertuigen met lage CO₂ uitstoot en accijnscompenserende belastingen voor LPG en CNG werd eveneens in rekening gebracht.

In de analyse werd de prijs (incl. accijnzen) voor biodiesel en bio-ethanol aan de pomp gelijk gesteld aan deze van diesel en respectievelijk benzine. De accijnzen en BTW op de brandstof worden echter afzonderlijk weergegeven in Figuur 13, zodat de invloed op de jaarlijkse totale kost kan worden afgelezen. Hieruit blijkt dat de overheid mogelijkheden heeft om biobrandstoffen aantrekkelijk te maken door in te spelen op de accijnzen.

Algemeen valt het op dat er een grote spreiding op de resultaten is: een voertuig kost jaarlijks gemakkelijk van 3000 tot meer dan 7000 euro. De meeste bestuurders zijn zich niet bewust van de hoge kost per kilometer: 0,20 tot zelfs 0,5 euro per kilometer, afhankelijk of men voor een kleine personenwagen of een grote gezinswagen kiest.

Verder stelt men vast dat een hogere aankoopkost gecompenseerd kan worden door een lagere brandstofkost bij toenemend jaarlijks afgelegde kilometers (bv. diesel tov benzine). Bij elektrische personenwagens wordt de dure batterijkost (leasing 93€ per maand, excl BTW) bij het elektrisch voertuig enkel gecompenseerd door de zeer lage energiekost, bij grote jaarlijkse afstanden. De brandstofkost van diesel en LPG-voertuigen per 100 km bedraagt 60% meer en de brandstofkost van benzine en aardgasvoertuigen dubbel zoveel als de energiekost van een elektrisch voertuig. Elektrische bestelwagens zijn nu reeds een aantrekkelijk alternatief (zie bijvoorbeeld Elcat).

Figuur 13: Totale gemiddelde kost per jaar en totale gemiddelde kost per kilometer



Met als hypothesen:

- brandstofprijzen dd 28/06/06: benzine en bio-ethanol 1.465 €/l, diesel en biodiesel 1.113 €/l, LPG 0.483 €/l, CNG 0.73 €/m³, elektriciteit 0.09 €/kWh (nachttarief);
- ombouwkost: bio-ethanol +210 €, biodiesel +250€ en LPG +2000, CNG +2500 indien geen aankoopkost gekend is;
- belastingen bevat BIV, jaarlijkse verkeersbelasting, fiscaal voordeel voor wagens met lage CO₂ en accijnscompenserende belastingen in het geval van LPG en CNG;
- BTW21%, opportuniteitsrent 3.4%;
- verzekering: 36j oude man met BM=14, wonend te Brussel (www.ethias.be).

Het fiscaal voordeel voor voertuigen met lage CO₂ uitstoot spelen in het voordeel van hybride wagens (zeker bij de Prius) en bij kleine LPG en CNG personenvoertuigen. Optimaal zou echter een fiscaal systeem zijn gebaseerd op de Ecoscore, zodat de totale milieuschade mee in rekening wordt gebracht en niet alleen de CO₂ uitstoot.

3.3.2 Brandstofcelvoertuigen

Ook bij deze analyse worden de brandstofcelvoertuigen afzonderlijk beschouwd daar deze technologie pas binnen 10 tot 20 jaar marktrijp zal zijn.

Milieuvriendelijke voertuigen

Belangrijk bij de introductie van brandstofcelvoertuigen is de kostprijs voor de consument. Een zeer optimistisch scenario wordt gepresenteerd door Zegers (2005) op basis van enkele Europese studies. De huidige productiecost van benzine is 12 €/GJ. Op termijn verwacht men dat dit zal stijgen tot 20 tot 30 €/GJ. Tabel 5 illustreert de huidige en toekomstige productiecosten van waterstof.

De huidige investeringskost voor elektrolyse bedraagt 4000 €/kW (geen massa productie). De doelstelling is om over 5 tot 10 jaar de investeringskost te doen dalen tot 300 €/kW. Dit zou mogelijk zijn bij de overgang tot massaproductie met de huidige technologie (Zegers, 2005). Bij 300 €/kW worden de waterstofkosten voor 80 tot 90% door stroomkosten bepaald. Het comprimeren van waterstof tot 700bar kost 2,5 €/GJ. Gezien het rendement van een brandstofcelwagen hoger is als het rendement van een benzine wagen (zie Figuur 10) zal deze minder energie verbruiken om dezelfde afstand af te leggen.

Anderzijds bedraagt de huidige prijs van een (handgemaakt) brandstofcel-systeem 3000 tot 8000 €/kW. In vergelijking bedraagt de prijs van een verbrandingsmotor 50 €/kW. Op termijn (10 jaar) wordt verwacht dat bij massaproductie de prijs van een brandstofcel (PEM) zou dalen tot 200 €/kW (Zegers, 2005).

Tot slot zou men de externe kosten veroorzaakt door de milieuhinder mee in rekening moeten brengen om de totale balans te maken in de vergelijking van brandstofcelvoertuigen met benzine- of dieselloertuigen.

Tabel 5: Productiecosten van elektriciteit en waterstof

	Stroomkosten*				H ₂ kosten**			
	(€cent/kWh)				(€cent/kWh)			
	Huidige		Lange termijn		Huidige		Lange termijn	
PV	25	50	5	10	324	648	61	122
Wind	4	9	3	5	50	108	36	61
Biomassa					72	90	36	54
Waterkracht	2	3	2	3	25	36	25	36
Aardgas					22	29	36	54
Kernenergie	4	4	4	4	50	50	50	50
Benzine					43	43	72	108

Conventionele stroomkosten: 4 €cent/kWh (bij gebruiker 12 €cent/kWh)

** Rendement elektrolyse: 80% (optimistisch); kosten electrolyser: 300 €/kW; dan zijn waterstofkosten voornamelijk stroomkosten; rendement omzetting biomassa naar waterstof: 70%.

Bron op basis van Zegers (2005)

Mobiliteit en (groot)stedenbeleid

Volgens Zegers (2005) zou de lagere brandstofkost van een brandstofcel-voertuig een besparing opleveren van 150€/kW geïnstalleerd vermogen en zouden de lagere externe effecten van een brandstofcelvoertuig een besparing van minstens 50 €/kW geïnstalleerd vermogen opleveren. Hierdoor komt de kostprijs (200 €/kW) op een prijsniveau dat vergelijkbaar is met een conventionele verbrandingsmotor (50 €/kW). Daarbij komt nog dat er hier geen rekening gehouden wordt met de te verwachten prijsstijging van de conventionele brandstoffen tijdens de komende jaren.

Uit tabel 6 blijkt dat de toepassing van waterstof als energiedrager veel duurder zal uitvallen dan het gebruik van elektriciteit.

4 Besluiten: milieuvriendelijke voertuigen (in een stedelijke context)

Wanneer de Ecoscores van de verschillende geanalyseerde Euro 4 personenwagens vergeleken worden, blijkt duidelijk dat de elektrische aandrijving een grote meerwaarde kan betekenen. Dit geldt in het bijzonder voor de batterij elektrische vorm, maar ook voor de hybride vorm waarbij een elektrische motor gecombineerd wordt met een thermische motor. Daarnaast is de energie-efficiëntie van deze aandrijvingen ook opmerkelijk hoog ten opzichte van de andere technologieën. Aardgas en LPG voertuigen scoren ondanks een iets minder goede energie-efficiëntie dan het benzinevoertuig toch nog een stuk beter dan benzine en diesellootvoertuigen wanneer het op milieuprestaties aankomt. Het grote voordeel van diesellootvoertuigen bestaat in hun relatief hoge energie-efficiëntie. Deze wordt op milieuvlak echter thans tenietgedaan door de hogere uitstoot van pollutanten met een schadelijk effect op de menselijke gezondheid (PM en NO_x).

Wat de kosten betreft, blijkt dat de hoge olieprijs, die men tegenwoordig kent, resulteren in een competitieve kilometerprijs van alternatieve aandrijvingen en brandstoffen. De fiscale middelen die de overheid heeft ingevoerd kunnen een gunstig klimaat scheppen voor deze alternatieven: fiscaal voordeel voor CO₂ arme voertuigen (bv hybride) en accijnsarme prijzen voor biobrandstoffen, LPG, aardgas en elektriciteit. Een fiscaal systeem gebaseerd op de Ecoscore zou een meer objectieve vergelijkingsbasis kunnen vormen voor de verschillende voertuigen (op vlak van milieuschade). Thans is de Vlaamse administratie (LNE) een dergelijk voorstel aan het uitwerken.

4.1 Een snelle technologische evolutie op korte en middellange termijn.

Men kan het wagenpark niet van de ene dag op de andere vervangen. Dit vereist een inspanning die gespreid wordt over een periode van minstens tien jaar. Het huwelijk van de elektrische aandrijving met de thermische aandrijving geeft aanleiding tot een belangrijke potentiële energiewinst en vermindering van CO₂ emissies. Deze hybride technologie kan zonder al te grote vertraging in gebruik genomen worden.

Ongeveer 30% van het stedelijke automobielpark kan ongetwijfeld elektrisch zijn. Laten we niet vergeten dat 80% van de ritten plaats vindt binnen de stad. Echter de dure aankoop prijs remt de marktintroductie af.

Een elektriciteitscentrale met een rendement van 55 % laat toe de primaire energie te benutten met een globaal rendement (well-to-wheel) van 25 tot 30 % voor de stedelijke verplaatsingen. Dit is nog steeds niet buitengewoon hoog, maar ver boven hetgeen de thermische wagen ($\pm 10\%$) kan leveren voor dezelfde gebruiksomstandigheden.

Op korte termijn zullen biobrandstoffen meer en meer bijgemengd worden bij conventionele brandstoffen, hetgeen een CO₂ reductie van 40 tot 60% kan tewerkstellingen. Echter het hele milieuplaatje (well-to-wheel) is tengevolge van het landbouw- en brandstofproductie proces niet steeds zo gunstig.

Het gebruik van alternatieve brandstoffen (methanol, ethanol, biogas) is eenvoudiger in hybride voertuigen en heeft het voordeel dat de vraag naar brandstof minder groot zal zijn ten gevolge van het hoger rendement van de hybride aandrijving in vergelijking met een conventioneel voertuig.

Voor het vervoer over het land is er geen twijfel mogelijk dat het samenbrengen van elektrische en thermische energie tot substantiële besparingen kan leiden. De middelen om deze elektrische energie op te wekken zijn gekend: thermisch, nucleair, co-generatie, wind, biomassa. Op korte en middellange termijn kan dus gerekend worden op een doorbraak van hybride technologieën, indien voldoende modellen op de markt worden aangeboden.

4.2 Technologische evolutie op lange termijn, na 2010

Men kan stellen dat een grondige analyse betreffende productie, opslag, distributie en gebruik van waterstof noodzakelijk is teneinde een vergelijking te kunnen maken op het vlak van milieu-impact en duurzaamheid tussen de brandstofcellen systemen en de andere oplossingen die geboden worden door

Mobiliteit en (groot)stedenbeleid

de elektrische en hybride voertuigen, alsook de “traditionele” thermische aandrijvingen.

Ook na 2010 is het te verwachten dat verschillende brandstoffen en aandrijfsystemen naast elkaar zullen blijven bestaan. Wanneer de doorbraak van waterstof als energiedrager voor transport zal komen is niet te voorspellen (eventueel na 2020), en is afhankelijk van de manier waarop waterstof zal worden geproduceerd en de beschikbaarheid en prijs van “klassieke” brandstoffen. Elektrische en vooral hybride voertuigen zullen een belangrijke en misschien wel een overheersende plaats innemen.

De waterstofverbrandingsmotor kan de overschakeling naar een waterstofeconomie geleidelijk laten gebeuren.

4.3 Belang van het stedelijk openbaar vervoer

Het openbaar vervoer speelt een aanzienlijke rol in het woon-werkverkeer. Een andere deelmarkt waar het openbaar vervoer een toonaangevende positie inneemt is het stadsvervoer in grote agglomeraties.

Openbaar vervoer maatschappijen kunnen een belangrijke voorbeeld functie hebben, waarbij milieuvriendelijke technologieën voor bijvoorbeeld bussen kunnen worden ingezet. Vanzelfsprekend gaat de prioriteit uit naar een efficiënte en aantrekkelijke dienstverlening. Overheidsondersteuning zou het moeten toelaten om milieuvriendelijke openbaarvervoerstechnieken in het dagelijkse straatbeeld te verkrijgen.

4.4 Beleidsaanbevelingen

De aankoop en gebruik van milieuvriendelijke brandstoffen en aandrijvingen kunnen op verschillende manieren gestimuleerd worden. Enerzijds kan men de accijnzen bepalen in functie van de milieuvriendelijkheid van de brandstof. Anderzijds kan men milieuvriendelijke wagens ondersteunen door een aangepast wegenbelasting en inbedrijfstellingstax in functie van de Ecoscore van het voertuig.

De Europese strategie voor het verlagen van de impact van het verkeer op het milieu vertrekt vanuit het ‘vervuiler betaalt’ principe en streeft naar een volledige internalisering van de externe kosten die door het verkeer veroorzaakt worden en die momenteel niet worden doorgerekend aan de consument (European Commission, 2001). De variabele autofiscaliteit internaliseert de kosten die door een specifiek voertuig op een specifiek tijdstip en een specifieke plaats worden veroorzaakt, men spreekt ook wel van een ‘slimme kilometerheffing’. Theoretisch moet dan voor elk voertuig kun-

nen worden bepaald welke reële emissies het voertuig op elk moment en op elke plaats uitstoot en welke bijdrage tot de congestie, verkeersonveiligheid,... het voertuig levert en welke (marginale) impact het desbetreffende voertuig dus veroorzaakt. Dit houdt in dat de ogenblikkelijke emissies (afhankelijk van rijstijl, verkeersomstandigheden, enz.) alsook de effectieve bestaande verkeerssituatie gekend dienen te zijn. Eveneens dient de locatie en bijhorend aantal receptoren (populatie), enzovoort op elk ogenblik gekend te zijn. Dit is dus een theoretische model. In de praktijk zal moeten worden vertrokken van een vereenvoudiging die dit theoretisch ideaal benadert. De Ecoscore van een voertuig is een goede indicator voor de milieuvriendelijkheid van een voertuig en kan in de tariefzetting gehanteerd worden. Dit kan bijvoorbeeld door afhankelijk van de Ecoscore en het type voertuig (persoonswagen, vrachtwagen, ...) een tarief per kilometer vast te leggen (Timmermans et.al. 2005).

Dankbetuigingen

Deze tekst kwam voornamelijk tot stand op basis van de resultaten van drie projecten. De auteurs wensen dan ook de opdrachtgevers hiervan te bedanken, met name:

- BIM-IBGE, “Schone Voertuigen”, 2001, ism ULB-CEESE;
- AMINAL, “Ecoscore”, 2003-2005, ism Vito, ULB-CEESE;
- VMM, “Mira-T”, 2005, ism Vito.

Referenties

- Allaert G., (1991), *Een regionale strategie voor de ruimtelijke ordening en beheersbaarheid van mobiliteit*, 20ste VWEC “Verkeer in België in 2000: mobiliteit of chaos, oktober 1997, Gent, pp. 136-160
- Allaert G., Sierens R., Pequeur M. (2004) *Clean Technology for Public Transport (CTPT), waterstof als milieuvriendelijk alternatief voor diesel en benzine*, verslag, april 2004, 19pgs
- Allaert G., (2005), *Wegwijs in de ruimtelijke economie. Doorkijk naar planning en management van ruimte*, Academia Press, Gent, VI + 273 p.
- ARTEMIS (2004); *Scientific report on New developments in emission estimation from transport*; Joint dissemination conference; European Co-operation in the Field of Scientific and Technical Research COST346 – ARTEMIS – PARTICULATES; Astrid Park Plaza – Antwerp, Belgium, May 24th, 2004
- BACAS (2006) *Hydrogen as an energy carrier*, report of the Royal Belgian Academy Council of Applied Science, 40pgs
- Bogart S.L. (2002) Comparison of investment and related requirements for selected hydrogen vehicle system pathways, *Journal of Fusion Energy*, 21 (3-4): 181-191 DEC 2002
- Brinkman N., Wang M., Weber T., Darlington T. (2005) *Well-to-Wheels Analysis of Advanced Fuel/Vehicle Systems — A North American Study of Energy Use, Greenhouse Gas Emis-*

Mobiliteit en (groot)stedenbeleid

- sions, and Criteria Pollutant Emissions, Argonne National Laboratory and General Motors, May 2005
- Campbell C.J. and Laherrère J.H. (1998) The End of Cheap Oil; *Scientific American*, March 1998
- Ciatti S., Wallner T., Ng H., Stockhausen W., Boyer B.: (2006) *Study of combustion anomalies of H2-ICE with external mixture formation*; ASME-ICE Spring Technical Conference, Aachen, may 8-10
- Choudhury R., Wurster R., (2002) *Well-to-Wheel Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Advanced Fuel/Vehicle Systems – A European Study* GM, LBST, bp, Exxon-Mobil, Shell, TotalFinaElf, sept 2002
- De Mol J., Allaert G., Vlassenroot S., (2006), Autoconstructeurs moeten dringend op dieet *Verkeersspecialist* 126, maart 2006, pg 14-19
- De Mol J., Allaert G., Vlassenroot S., (2005), Waanzinnige race naar nog hogere vermogens, *Verkeersspecialist* 121, okt 2005, pg 5-9
- Ecodrive (2002), <http://www.ecodrive.org/newdriving/easytolearn.html>
- EUCAR (2004) Edwards R., Griesemann J.-C., Larivé J.-F., Mahieu V. *Well-To-Wheels Analysis Of Future Automotive Fuels And Powertrains In The European Context*; EUCAR, CONCAWE and JRC; January 2004
- European Commission (2000) *Green Paper – Towards a European strategy for the security of energy supply* COM(2000) 769
- European Commission (2001) *White Paper: European transport policy for 2010: time to decide* COM(2001) 370
- Europese Commissie (2006) *Thematische strategie voor het stadsmilieu* COM(2005) 718 def, 14pgs
- Febiac (2006), databestand aangeleverd door Michel Peelman
- Hill N., Haydock H., Saynor B. (2002) *Cleaner Drive – Development of an EU environmental rating methodology*. Report, AEA Technology, UK
- IEA (2004) *Biofuels for Transport – An international perspective*, L. Fulton, T. Howes, report from the International Energy Agency, Office of Energy Efficiency, Technology and R&D (IEA-EET), 2004
- Kågeson, P. (2000) *The drive for less fuel. Will the motor industry be able to honor its commitment to the European Union*, Stockholm, jan. 2000, T&E (European Federation for Transport and Environment). 44 blz.
- Maggetto G. en Van Mierlo J. (2002) Noodzaken en beperkingen van de evolutie van het transport in Europa en in België in het eerste kwart van de 21e Eeuw, bijdrage in *Energie in België morgen – Het in overweging nemen van het broeikaseffect – Aanbevelingen*, KVAB (Koninklijke Vlaamse Academie van België voor Wetenschappen en Kunsten) – BACAS (Royal Belgian Academy Council of Applied Sciences) – CAWET (Comité van de Academie voor Wetenschappen en Techniek), 18pgs
- Maggetto, G. (2005) Elektrische, hybride en brandstofcelvoertuigen bijdrage in lessenreeks “*Mobiliteit en toekomstige transporttechnologieën*” Vrije Universiteit Brussel
- Matheys J., Van Autenboer W., Van Mierlo J., (2005) *SUBAT: Sustainable Batteries*, Eindverslag, 6FP EC, STREP, FP6-2002-SSP-1; Research topic 8.1.B.1.6, ism AVERE BE; CERE-VEH FR; CITELEC BE; CEI IT; ULB BE; DESA, VUB
- Matheys J., Timmermans JM, Van Mierlo J., (2006) *MIVB Vlootanalyse – Propere Bussen* eindverslag iov MIVB
- Ministerie van Verkeer en Infrastructuur, (2003), <http://www.mobilit.fgov.be/nl/index.htm>
- MIRA (1999) *Milieurapport Vlaanderen, 1999*, Vlaamse Milieumaatschappij, <http://www.milieurapport.be>
- MIRA (2005) *Milieurapport Vlaanderen, Achtergronddocument 2005, Transport*, Ina De Vlieger, Erwin Cornelis, Luc Int Panis, Liesbeth Schrooten, Leen Govaerts, Luc Pelkmans,

Milieuvriendelijke voertuigen

- Steven Logghe, Filip Vanhove, Griet De Ceuster, Cathy Macharis, Frank Van Geirt, Joeri Van Mierlo, Jean-Marc Timmermans, Julien Matheys, Caroline De Geest en Els van Walsum, Vlaamse Milieumaatschappij, www.milieurapport.be
- OECD (2000a) *Environmentally Sustainable Transport EST* Synthesis Report of the OECD projects.
- OECD (2000b) *Motor Vehicle Pollution: Reduction Strategies Beyond 2010* Paris, France, 1995, and update 2000
- Pershing, J. (2000) Fossil Fuel Implications of Climate Change Mitigation Responses. In: L. Bernstein and J. Pan (Eds.), *Sectoral Economic Costs and Benefits of GHG Mitigation, Proceedings of an IPCC Expert Meeting*, IPCC, WGIII, RIVM, International Energy Agency
- Rottengruber H. (2004) *Direct-injection hydrogen SI-engine – operation strategy and power density potentials*. SAE, paper r 2004-01-2927
- Sierens R., Rosseel E. (2000) *Variable Composition Hydrogen/Natural Gas Mixtures for Increased Engine Efficiency and Decreased Emissions*; Journal of Engineering for gas turbines and power, Transactions of the ASME, January 2000; Vol. 122, p. 135-140.
- Sierens R., Verhelst S.: *Experimental study of a hydrogen fueled engine*; Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, January 2001, Vol. 123; p. 211-216.
- Stockhausen W.F. et al. (2002) *Ford P2000 hydrogen engine design and vehicle development program*. SAE, paper nr 2002-01-0240
- Swain M.R. (2001) *Fuel Leak Simulation* University of Miami, 11pgs
- Timmermans J-M., Van Mierlo J., Govaerts L., Verlaak J., De Keukeleere D., Meyer S en Hecq W. (2005) *Bepalen van een Ecoscore voor voertuigen en toepassing van deze Ecoscore ter bevordering van het gebruik van milieuvriendelijke voertuigen*, studie uitgevoerd in opdracht van AMINAL, Eindverslagen Taak 1 – Taak 6, Project aminal/MNB/TVM/ECO, 31 maart 2005
- Van den Bossche P, Vergels F, Van Mierlo J, Matheys J, (2005) *SUBAT: an assessment of sustainable battery technology* Journal of Power Sources (IPSS Brighton)
- Van Mierlo J., Macharis C. (2005) *Goederen- en Personenvervoer: Vooruitzichten en Breekpunten*, Garant, isbn 90-441-4908-7, 579pgs
- Van Mierlo, J. (2000) *Simulation software for comparison and design of electric, hybrid and internal combustion vehicles with respect to energy, emissions and performances*. Thesis submitted for the degree of doctor in applied sciences. Vrije Universiteit Brussel
- Van Mierlo J. Vereecken L, Maggetto G. Meyer S en Hecq W Favrel V, (2001) *Schone Voertuigen*; finaal rapport, VUB-ETEC, ULB-CEESE, december 2001. Project in opdracht van BIM-IBGE
- Van Mierlo J. Maggetto, Van den Bossche P, Meyer S en Hecq W Timmermans JM, Govaerts L, Verlaak J, (2004) *Environmental rating of vehicles with different alternative fuels and drive trains: a comparison of two different approaches* Transportation Research Part D: Transport and Environment; Vol 9/5 pp 387-399
- Van Mierlo J, Maggetto G., van de Burgwal E., Gense R. (2004) *Driving Style and Traffic Measures Influence Vehicle Emissions and Fuel consumption* Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part D-Journal of Automobile Engineering, I MECH E, SAE and IEE, D013902, Vol 218, Nr D1, pp 43-50
- Van Mierlo J, Maggetto G., van de Burgwal E., Gense R. (2002) *Invloed van het rijgedrag op de verkeersemissies: kwantificatie en maatregelen*, eindrapport, VUB-ETEC & TNO, Project in opdracht van AMINAL
- Van Mierlo J, Timmermans JM, Guignard A, Hecq W, (2005b) *Coûts financiers directs et indirects engendrés par l'installation de systèmes d'air climatisé dans les voitures particulières*, eindverslag VUB-ETEC & CEESE-ULB, opdracht BIM

Mobiliteit en (groot)stedenbeleid

- Van Mierlo T., 2000, *Mobiliteit en Milieu: Acties ondernomen in Vlaanderen ter vermindering van de druk van het verkeer op het leefmilieu*, verslag, AMINAL
- Van Mierlo J, Maggetto G., Lataire Ph, (2006) *Which Energy Source for Road Transport in the Future? A Comparison of Battery, Hybrid and Fuel Cell Vehicles* Special Issue of the 'Energy Conversion & Management' journal, Elsevier, ECM-D-05-00636
- van Wee B., Dijst M., 2002 *Verkeer en Vervoer in Hoofdlijnen*, Coutinho
- Verhelst S., Verstraeten S., Sierens R. (2006) *A critical review of experimental research on hydrogen fuelled SI engines*; SAE paper 2006-01-0430, April 3 – 6, Detroit
- Vito (2002) <http://www.emis.vito.be/mobiliteit/autoverbruik/spaarzaamrijden-frames.htm>
- Zegers P. (2005) *Waterstof en brandstofcellen bijdrage in lessenreeks Mobiliteit en toekomstige transporttechnologieën*, Vrije Universiteit Brussel