



## ALTERNATIEVE MOTORBRANDSTOFFEN IN BELGIË

Renilde Craps

*De eerste demonstraties met alternatieve brandstoffen kondigen zich aan in België. Beweegredenen voor de introductie van deze nieuwe brandstoffen zijn de positieve verwachtingen qua milieu-impact, vooral op het stedelijk leefmilieu. Naast de klassieke brandstoffen (benzine, diesel) zal er op korte termijn ruimte zijn voor LPG, aardgas, bio-diesel en elektrisch aangedreven voertuigen. LPG is de meest bekende alternatieve brandstof met een goed uitgebouwd verdeelnet, toch wordt een grootschalige doorbraak niet verwacht. Er wordt zelfs een verminderde verkoop van LPG voor personenwagens vastgesteld. De grote concurrent is aardgas, voornamelijk omwille van de zeer sterke lobbying. Aardgasbussen worden in 1993 een realiteit in België. Diversificatie binnen de landbouwsector laat toe bio-diesel (koolzaadolie) als motorbrandstof te gebruiken. Bio-diesel vertoont zeer veel gelijkenis met de klassieke diesel; de eerste evaluatie-demonstraties zijn in uitvoering. Elektrische aandrijvingen zijn niet echt onbekend meer. Een echte doorbraak wordt niet verwacht. Wel is de demonstratie van diesel-elektrobussen aangekondigd. Alternatieven op langere termijn zijn te vinden bij de waterstofaangedreven voertuigen. De Belgische initiatieven hebben tot doel de toepasbaarheid van waterstof als motorbrandstof in de bus te bewijzen. De ontwikkeling van alternatieve brandstoftechnologieën is een langdurig proces dat jaren intensief werk vraagt. De marktpenetratie zal dan ook zeer geleidelijk gebeuren. Evaluaties van alternatieve brandstoffen dienen grondig, vanuit een totaalconcept, te gebeuren. Onderzoeksinstellingen kunnen bij deze totaalaanpakbenadering een belangrijke rol spelen.*

## 1. SITUERING

"Aardgas wordt konkurrent van benzine en diesel" (FET, 26/12/92)

"De Lijn gaat proefrijden met autobus op waterstof" (Belang van Limburg, 23/11/92)

"Brusselse Bus milieuvriendelijk" (De Standaard, 6/10/92)

"Experiment met elektrische auto's in Franse steden" (FET, 31/7/92)

Met deze krantekoppen worden de laatste maanden alternatieve motorbrandstoffen aangekondigd. Alleen nog elektrische autootjes en autobussen op aardgas en waterstof? Zo'n vaart zal het nog niet lopen, maar toch...

De drijvende kracht voor de introductie van deze nieuwe brandstoffen is niet meer alleen de beperkte olievoorraden en de olie-afhankelijkheid; milieu-overwegingen primeren. Het is een algemeen erkend feit dat het verkeer én een energieverzlijder én een belangrijk milieuvervuiler is.

In 1989 was het wegtransport in België verantwoordelijk voor 20% van het totale energieverbruik, tegenover 9% in 1960.

Van de totale koolstofmonoxyde, stikstofoxyde en koolwaterstof-uitstoot is respectievelijk 92%, 60% en 50% toe te schrijven aan het wegverkeer.

Naast de aanpak van het mobiliteitsprobleem, kunnen ook nieuwe brandstoffen en voertuigtechnologieën (met inbegrip van de uitlaatgasbehandelingen) het wegverkeer milieuvriendelijker maken. In dit artikel worden alleen de alternatieve motorbrandstoffen behandeld. De nieuwe brandstoffen, soms ook wel schone brandstoffen genoemd, die verder aan bod komen zijn :

- LPG, Liquefied Petroleum Gas, vloeibaar petroleumgas, praktisch in elk tankstation verkrijgbaar; voor autobussen (en zwaar vervoer in 't algemeen) blijft LPG een alternatieve motorbrandstof;
- CNG, Compressed Natural Gas, samengeperst aardgas;
- waterstofgas, een zeer licht gas, weinig bekend bij de doorsnee automobilist;
- biobrandstof, brandstof verkregen uit plantaardige produkten zoals suikerriet (bio-ethanol) en koolzaad (bio-diesel);
- elektriciteit, zoals verder beschouwd opgeslagen in batterijen. De elektrische aandrijving van tram, metro en trolleybus worden hier niet in beschouwing genomen.

In deze tekst worden dus alleen andere brandstoffen dan benzine en diesel als 'alternatieven' beschouwd. In de nabije toekomst mogen nochtans ook wijzigingen in de samenstelling van de klassieke brandstoffen (de gereformuleerde benzine en diesel) verwacht worden, met duidelijk milieuvriendelijke effecten.

Voor een goed en eenduidig begrip van de tekst worden in het volgende hoofdstuk enkele begrippen toegelicht.

De actuele stand van zaken van alternatieve motorbrandstoffen in België wordt besproken in hoofdstuk 3. Speciale aandacht gaat hier naar het openbaar vervoer, omdat dit de sector is waar de meeste nieuwe brandstoffen voor het eerst zullen gedemonstreerd worden.

De rol van enkele onderzoeksinstellingen bij het alternatieve motorbrandstof-gebeuren is beschreven in hoofdstuk 4. Tenslotte worden in hoofdstuk 5 de perspectieven van de alternatieve motorbrandstoffen samengevat.

## 2. INLEIDENDE BEGRIPPEN

### - Verbrandingsprodukten

De meeste motorbrandstoffen zijn koolwaterstoffen (HC, verbindingen van koolstof en waterstof). Bij volledige verbranding wordt koolstofdioxyde ( $\text{CO}_2$ ), waterdamp ( $\text{H}_2\text{O}$ ) en oxydes van eventuele schadelijke brandstofelementen gevormd. Onvolledige verbranding treedt op bij een tekort aan zuurstof of tijd of bij onvoldoende hoge temperatuur. Onverbrande vluchtige HC, koolmonoxyde (CO) en partikels (roet en erop geabsorbeerde deeltjes) zijn dan de restprodukten.

Ook moet er rekening gehouden worden met de ongewenste oxydatie van de stikstof uit de lucht. Hierbij wordt stikstofmonoxyde (NO) gevormd dat in de buitenlucht verder reageert tot stikstofdioxyde ( $\text{NO}_2$ ). De uitstoot van stikstofoxyden wordt steeds als  $\text{NO}_x$  weergegeven, waarbij alles gewichtsmatig wordt omgerekend naar  $\text{NO}_2$ .

De verbrandingsprodukten en de restprodukten, verder emissies genoemd, worden via de uitlaatpijp van het voertuig uitgestoten.

### - Effect van de emissies op de omgeving :

- .  $\text{H}_2\text{O}$  : onschadelijk, eventueel bij mist of vriesweer veiligheidsproblemen
- .  $\text{CO}_2$  : een natuurlijk produkt, het is echter een broeikasgas
- . CO : gevaarlijk in gesloten ruimten, ook buiten bij concentraties hoger dan 0.01%; het reageert gemakkelijk met zuurstof en veroorzaakt daardoor zuurstoftekort in het bloed
- .  $\text{NO}_x$  : verzurend en smogvormend
- . HC : (ook als KWS, VOC of VOS aangeduid) zijn schadelijk, alhoewel er een sterke gradatie bestaat voor de diverse componenten, bij voorbeeld :

**methaan** ( $\text{CH}_4$ , het voornaamste bestanddeel van aardgas): niet giftig en niet reactief, wel een sterk broeikasgas, op gewichtsbasis 80 maal sterker dan  $\text{CO}_2$ ,

**polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's)**: kankerverwekkende en mutagene eigenschappen (in staat onomkeerbare wijzigingen aan te brengen in het erfelijk materiaal),

**reactieve koolwaterstoffen (RHC)**: door reactie met andere componenten zoals  $\text{NO}_x$  en  $\text{O}_2$  wordt door inwerking van het zonlicht smog, met ozon als belangrijkste indicator, gevormd.

deeltjes: hinderlijk omwille van geur en kleur (b.v. zwarte rook bij dieselvoertuigen); kankerverwekkend en mutageen. Het meest opvallende aspect bij de dieselemissie is de zichtbaarheid van de rook, ook opaciteit genoemd.

HC en CO worden vooral gevormd door Otto-motoren in laagbelaste toestand (traagloop, remmen op de motor) en door koude motoren.

Otto-motoren zijn mengselmotoren met elektrische ontsteking, de brandstof is in gasvorm. Een benzinemotor is hier het klassieke voorbeeld van, maar ook LPG, aardgas en waterstofmotoren werken volgens het Otto-principe. De HC- en CO-emissies zijn problematisch in steden.

$\text{NO}_x$  daarentegen worden gevormd bij hoge verbrandingstemperaturen, dus door Otto-motoren bij hoge last (snelheid) en ook door dieselmotoren.

Deeltjesuitstoot is kenmerkend voor dieselmotoren vooral bij hoge last en laag toerental.

#### - Gereguleerde emissies

De voorbije jaren werden maatregelen getroffen om de schadelijke emissies van de voertuigen te beperken. Wettelijke emissienormen werden opgesteld. Voor België gelden de EEG-richtlijnen.

Er wordt een onderscheid gemaakt tussen personenwagens en lichte bedrijfsvoertuigen (light duty, afgekort als LD) enerzijds en zware bedrijfsvoertuigen zoals autobussen, vrachtwagens (heavy duty, afgekort als HD) anderzijds.

De Europese normen voor LD en HD worden weergegeven in onderstaande tabel. De normen leggen limietwaarden op voor de  $\text{CO}$ -, HC-,  $\text{NO}_x$ - en deeltjesemissies van nieuwe voertuigen, uitgedrukt in g/km voor LD en in g/kWh voor HD. Deze gereguleerde emissies worden gemeten op een rollenbank voor LD-voertuigen en op een motorenbank voor HD-motoren.

Tabel 1. Emissienormen

LD	NORM	Ingangsdatum	CO	HC + NO <sub>x</sub>		Deeltjes
			(g/km)	(g/km)		(g/km)
	91/41/EEG	01.07.92	2,72	0,97		0,14
HD	NORM	Ingangsdatum	CO	HC	NO <sub>x</sub>	Deeltjes
			(g/kWh)	(g/kWh)	(g/kWh)	(g/kWh)
	88/77/EEG	01.10.90	11,2	2,4	14,4	0,4
	EURO 1	01.07.92	4,5	1,1	8,0	0,36
	EURO 2	01.10.95	4,0	1,1	7,0	0,15

Hoe aan deze normen moet voldaan worden, wordt niet door de wet opgelegd. Dit wordt aan het initiatief en de creativiteit van de voertuigconstructeur overgelaten. Katalysatoren en deeltjesfilters voor uitlaatgasbehandeling zijn de dag van vandaag de meest voor de hand liggende technologieën.

De katalysator kan een oxydatiekatalysator zijn, deze oxydeert CO en HC, hij is niet werkzaam op NO<sub>x</sub>. De driewegkatalysator daarentegen oxydeert CO en HC en reduceert NO<sub>x</sub> tegelijkertijd, indien de brandstof/lucht-verhouding nauwkeurig geregeld wordt ( $\lambda=1$ ).

Sommige (niet alle !) alternatieve brandstoffen zullen probleemloos aan de strengste emissiewetgeving kunnen voldoen zonder speciale uitlaatgasbehandeling. Elektriciteit en waterstof (in brandstofcel, zie verder) zijn hier voorbeelden van.

De emissies waarvoor geen wettelijke normen van kracht zijn, behoren tot de verzameling van niet-gereguleerde emissies.

### - Milieuvriendelijkheid

Milieuvriendelijkheid is een subjectief begrip. Meestal wordt verwezen naar de op het ogenblik van toepassing zijnde emissiewetgeving. De niet-gereguleerde emissies, die ook schadelijk kunnen zijn, worden niet beschouwd. Ook moet opgemerkt worden dat voor voertuigen met alternatieve motorbrandstof geen emissienormen gelden.

De voorgeschreven Europese testen voor het zwaar vervoer zijn ontworpen voor dieselmotoren, maar zijn niet geschikt voor Otto-motoren (aardgas bij voorbeeld).

Een grondige analyse van de milieuaspecten (gereguleerde en niet-gereguleerde emissies) dient te gebeuren vanuit een ketenbenadering : van de produktie van de brandstof tot en met gebruik in het voertuig. Een analoge beschouwing moet gemaakt worden voor de energieaspecten.

De volledige ketenanalyse is echter een studie op zich en kan in dit artikel niet volledig behandeld worden. Wel wordt bij wijze van illustratie de ketenbenadering toegepast voor de secundaire energievormen waterstof en elektriciteit.

### **3. ALTERNATIEVE MOTORBRANDSTOFFEN IN BELGIE**

#### **3.1. LPG**

LPG is een afvalproduct van aardolie dat bij het produceren en raffineren ontstaat à rato van 2 tot 3% van de ruwe aardolie die verwerkt wordt.

LPG is een mengsel van propaan en butaan, gasvormig bij omgevingsdruk, vloeibaar bij 6-8 bar. Het is onder vloeibare vorm dat de brandstof opgeslagen wordt in voertuigen. Hiervoor wordt een speciale druktank gebruikt die omwille van veiligheidsredenen maar voor 80% mag gevuld zijn.

De energie-inhoud van LPG is beduidend lager dan deze van benzine en diesel zodat voor een eenzelfde rijbereik een groter volume moet meegenomen worden. Het volume van een LPG-tank wordt alles bij elkaar 1.75 x het volume van een equivalente benzinetank. Tegenover een dieseltank is er een factor 2 verschil.

#### **Veiligheid**

LPG is zwaarder dan lucht. Gas dat ontsnapt in een afgesloten ruimte blijft over de grond zweven en verzamelt zich op het laagste niveau. Dit is de reden waarom LPG-voertuigen verboden worden in ondergrondse garages, tenzij er een adequate ventilatie voorzien is.

LPG is ontvlambaar in lucht vanaf 2.1 volumeprocent. De ontstekingsenergie is zeer laag (0.3 mJ), een vonk volstaat om een brand te initiëren. Een LPG-brand kan even zware gevolgen hebben als een benzinebrand; LPG brandt lang.

LPG is giftig maar heeft een onaangename geur wat het gevaar zal beperken.

De veiligheid van de LPG-voertuigen staat voldoende op punt.

De tanks zijn commerciële producten die voldoen aan de voorgeschreven veiligheidsvoorschriften; internationale normen bepalen de specificaties van de tanks.

#### **Infrastructuur en tanken**

LPG is praktisch in ieder tankstation in België voorhanden.

Vaste opslag van LPG is dagdagelijkse praktijk. Het mag bovengronds gebeuren in vrijliggende tanks, omgeven door een afgesloten omheining, of ondergronds.

Iedere automobilist mag en kan zijn LPG-voertuig zelf tanken onder toezicht van gekwalificeerd personeel.

Het vullen moet wel steeds in open lucht gebeuren.

### **Gebruik en aanvaarding**

Motortechneisch zijn er geen noemenswaardige problemen te vermelden.

LPG wordt in België praktisch uitsluitend in LD-voertuigen gebruikt maar heeft de laatste jaren een terugval gekend. De installaties zijn duurder geworden (faktor 2 door toepassing van een elektronisch in plaats van een mechanisch regelsysteem, nu 50.000 tot 80.000 BEF). De LPG-prijs aan de pomp blijft laag ( $\pm 10$  BEF/liter, geen accijnzen, wel met 20% meerverbruik rekenen t.o.v. benzine, in liters gezien), maar er moet een jaarlijkse taks betaald worden (3.600 tot 8.400 BEF, afhankelijk van het fiscaal vermogen van de auto, maar niet toegepast op bedrijfswagens). De LPG-installatie moet jaarlijks op de automobielininspectie ter schouwing aangeboden worden wat extra kosten en last betekent. Bovendien wordt LPG als onveilig ervaren.

Ook voor HD-voertuigen zou LPG een volwaardig alternatief kunnen zijn. Getuige hiervan zijn de Weense stadsbussen die reeds geruime tijd probleemloos op LPG rijden. De geringe interesse in België moet toegeschreven worden aan de duidelijk sterkere druk van de aardgaslobby dan van de LPG-lobby. Het zijn trouwens altijd aardgas en LPG die in één adem genoemd worden als het om alternatieve brandstoffen voor stadsbussen gaat.

### **Milieuvriendelijkheid en energieverbruik**

Met de klassieke motortechnologie kon gesteld worden dat LPG minder vervuilend is dan benzine. LPG bevat noch additieven, noch aromatische bestanddelen; de moleculaire structuur is eenvoudiger, waardoor er minder produkten van onvolledige verbranding voorkomen.

Om aan de nieuwe emissienormen voor LD-voertuigen te voldoen moeten echter ook LPG-wagens uitgerust zijn met een geregelde driewegkatalysator.

Voor de HD-toepassing is de situatie wel anders. LPG-HD-Ottomotoren zijn om praktische redenen afgeleid van HD-dieselmotoren en hun emissies worden ook met deze van de dieselmotoren vergeleken.

Nabehandeling van de uitlaatgassen (met katalysator) wordt een noodzaak om aan de aangekondigde Euro-emissienormen te kunnen voldoen, en dit bij elke aangewende motortechnologie.

De katalysatoren voor LPG-motoren zijn vergelijkbaar met deze voor benzinemotoren. Dit is een voordeel vermits deze reeds geoptimaliseerd zijn wat betreft rendement en levensduur.

LPG in bussen en vrachtwagens vraagt een energetisch meerverbruik (in Joules dus) van 10 tot 15% t.o.v. een dieselvoertuig, als gevolg van het lager rendement van de LPG-Ottomotor in vergelijking met de overeenkomstige dieselmotor.

Voor personenwagens moet er geen wezenlijk energetisch meerverbruik van LPG-wagens t.o.v. benzinewagens in rekening gebracht worden omdat het steeds over hetzelfde type motor gaat.

### 3.2. Aardgas

Aardgas bestaat voor meer dan 90% uit methaan. De brandstof is vooral gekend voor huishoudelijk en industrieel gebruik.

Aardgas als motorbrandstof is nochtans niet echt ongekend; het is trouwens een brandstof die zeer goed geschikt is voor motoren met vonkontsteking. In Italië en Nieuw-Zeeland rijden tienduizenden voertuigen op aardgas. De voornaamste beweegredenen hiervoor zijn de eigen aardgasvoorraden.

België geeft geen eigen aardgasreserves. Het gas komt voor 40% uit Algerije, voor 39% uit Nederland en de resterende 21% is Noors gas.

#### Opslag

Eén van de grootste problemen van gasvormige brandstoffen is de opslag in het voertuig. Aardgas wordt opgeslagen onder hoge druk (200 bar) in stalen cilinders; er wordt dan gesproken van compressed natural gas (CNG). Aardgastanks voor 250 liter dieselequivalent wegen 1.500 kg en hebben een volume van 1.400 liter, tegenover 300 kg en 300 liter voor de dieseltank.

De laatste tijd is er door verscheidene constructeurs gewerkt aan lichtgewichttanks: aluminiumcilinders en kunststofcomposietcilinders. De verwachting is dat deze typen cilinders eind 1993 in voertuigen mogen gebruikt worden.

#### Veiligheid

Aardgas is lichter dan lucht en zal dus in tegenstelling tot LPG- (en benzine)-dampen onmiddellijk stijgen en verdunnen waardoor het gevaar van eventuele lekken kleiner is. Wel moet er rekening gehouden worden met een hogere kans op gasontsnapping eigen aan de hogedruksystemen.

Om een brandbaar mengsel te vormen is er 5.3 volumepercent methaan nodig in lucht. De ontstekingsenergie is wel hoger dan die van benzine en LPG maar gezien in de praktijk een vonk voldoende is voor het initiëren van een brand, moeten brandbare mengsels vermeden worden.

Een CNG-brand heeft minder zware gevolgen dan een benzine of LPG-brand: het gas verspreidt zich zeer intensief en er is minder rook.



Aardgas is niet giftig, maar zou bij een te hoge concentratie toch aanleiding kunnen geven tot zuurstoftekort. Er moet dus steeds voor een goede ventilatie gezorgd worden.

De veiligheid van CNG-voertuigen vraagt de nodige aandacht. Voor de (stalen) tanks werden goede veiligheidsvoorschriften uitgewerkt. Extra-veiligheidsvoorzieningen zoals overdrukventiel, barstplaatje voor maximale temperatuur en maximum uitstroomventiel worden standaard voorzien. Bovendien zijn CNG-tanks dermate ontwikkeld dat ze bij bezwijken onder druk niet onmiddellijk in stukken vliegen maar eerst scheuren waardoor het gas langzamer kan ontsnappen.

Bij een brand in de garage van de Nederlandse vervoersmaatschappij 'Centraal Nederland' waren ook twee aardgasbussen betrokken. Niettegenstaande de bussen volledig uitbrandden, zijn hun CNG-tanks intact gebleven.

De tanks kunnen op het dak geplaatst worden bij LD-voertuigen en lagevloerbussen of onder het voertuig bij hogevloerbussen.

### **Infrastructuur en tanken**

België heeft een goed verspreid aardgasnet. Voor voertuigen zijn er voorlopig nog geen bevoorradingspunten of tankstations. Dit is de voornaamste reden waarom aardgas in voertuigen voorlopig beperkt blijft tot voertuigvloten die regelmatig naar hun standplaats (depot) terugkeren en daar aan een speciaal opgericht tankstation kunnen tanken.

Het voertuig tanken kan op twee manieren :

- snelle vulling (quick fill); een voorraadvat wordt steeds onder hoge druk gehouden door compressoren, van hieruit worden de voertuigtanks in 10...20 minuten gevuld.
- trage vulling (slow fill); de voertuigen worden aangekoppeld aan de compressorleiding, waardoor de druk in de tanks langzaam wordt opgevoerd. Er is geen gasvoorraad op hoge druk aanwezig, het tanken duurt meerdere uren.

Voor de vaste opslag van CNG dienen de veiligheidsvoorschriften van LPG als leidraad.

Het tanken van de voertuigen en het bedienen van de compressorinstallaties mag alleen door gekwalificeerd personeel gebeuren.

### **Gebruik en aanvaarding**

Momenteel rijden een zestigtal bestelwagens van de gasdistributiemaatschappijen van Brussel (Sibelgas), Luxemburg en Luik (deels) op aardgas. Het gaat om voertuigen met een bifuelsysteem : ze kunnen óf op benzine óf op aardgas rijden.

De ervaringen worden door de gebruikers als zeer positief bestempeld.

Ook in het openbaar vervoer worden aardgasbussen een realiteit.

De eerste 20 bussen worden dit jaar bij de Maatschappij voor Intercommunaal Vervoer Brussel (MIVB, STIB in 't Frans) geleverd. Met dit initiatief wil het Brussels Hoofdstedelijk Gewest haar steentje bijdragen tot de aanpak van het pollutieprobleem in de stad. Het gaat echter niet louter om een 'rijden op aardgas', maar er wordt beoogd met de nodige wetenschappelijke en technologische diepgang gefundeerde uitspraken te doen over de energie-, milieu-, en diverse andere aspecten van de MIVB-bussen.

De MIVB-bussen zijn lagevloerbussen (type A300) van de Belgische constructeur Van Hool, met Duitse MAN  $\lambda=1$  motortechnologie. De aardgastanks bevinden zich op het dak. Het gaat hier duidelijk niet om omgebouwde dieselbussen, wel om een nieuwe produktontwikkeling.

De investeringskosten, de installatie- en exploitatieverantwoordelijkheden van het tankstation vallen ten laste van Brensy, een vennootschap opgericht door Citensy (zie 4) en de Gewestelijke Investeringsmaatschappij Brussel.

Ook bij de Waalse Vervoersmaatschappij (SRWT of TEC, Transport en Commun) is de aanschaf van 60 aardgasbussen (30 voor Luik en 30 voor Charlerloi) aangekondigd. Wanneer deze effectief in exploitatie genomen worden is niet duidelijk gezegd, 1994 lijkt realistisch.

Mede onder impuls van de Vlaamse Gemeenschap, gaat de Vlaamse Vervoersmaatschappij (De Lijn) alternatieve aandrijvingstechnologieën demonstreren en evalueren. Op het programma staan 5 aardgasbussen (voor de stad Kortrijk) en twee dieselelektrobussen. De projectdefinitie is gepland voor 1993, de aanschaf van de eerste bussen in 1994.

### **Milieuvriendelijkheid en energieverbruik**

Zeer dikwijls wordt naar aardgas gerefereerd als zijnde een schone brandstof. Dit heeft dan betrekking op het zeer lage zwavelgehalte, de eenvoudige moleculaire structuur en het ontbreken van additieven. Bovendien heeft methaan een lagere koolstof/waterstof verhouding dan (in volgorde) diesel, benzine en LPG waardoor de CO<sub>2</sub>-emissie lager is voor dezelfde energieinhoud. Wel moet er rekening gehouden worden (en dit wordt wel eens verzwegen) met methaanlekken en -emissies, en zoals reeds vermeld is methaan een veel sterker broeikasgas dan CO<sub>2</sub>. Bovendien geeft methaan op het vlak van de uitlaatgasbehandeling ook de nodige problemen omdat het zeer moeilijk afbreekt.

Voor LD-CNG-voertuigen is de emissieproblematiek vergelijkbaar met deze van LPG-voertuigen. De laatste emissienormen vragen, ook voor aardgas, een uitlaatgasbehandeling. De gereguleerde emissies zijn vergelijkbaar met deze van de benzinewagen met driewegkatalysator. De niet-gereguleerde emissies zoals PAK's en CO<sub>2</sub> liggen wel lager.

Bij het zwaar vervoer is de situatie anders. De moderne aardgasmotoren houden, ook al zijn ze afgeleid van een dieselmotor en dus nog niet geoptimaliseerd, een goed potentieel in voor lagere emissies (zeker voor rook, PAK's en NO<sub>x</sub>) in vergelijking met de meest recente dieselmotoren. De emissies hangen wel af van de gebruikte motortechnologie, afhankelijk van de keuze moet een oxydatie- of driewegkatalysator aangewend worden om aan de Euro-normen te kunnen voldoen.

Voor het energieverbruik van een aardgasvoertuig moet er met een meerverbruik gerekend worden, voornamelijk omwille van het hoger gewicht van de brandstoftank. Voor de bussen komt hier nog het verschil in rendement tussen de diesel- en de Otto-cyclus bij. Berekeningen tonen aan dat tegenover de nieuwste generatie dieselbussen een aardgasbus 50% meer zal verbruiken.

### 3.3. Biobrandstoffen

In België wordt voornamelijk met bio-diesel, een methylester uit koolzaad, geëxperimenteerd. Het produkt wordt op een beperkte commerciële schaal aangeboden door Petrofina. Vooral de landbouwsector is promotor en verdediger van de biobrandstoffen en dit met het oog op de afzet van nieuwe landbouwprodukten. Koolzaad zou op de braakliggende gronden kunnen verbouwd worden. De Europese Gemeenschap heeft fiscale gunstregimes (accijnsreductie) voor dit type motorbrandstof aangekondigd. De bio-diesel kan in 100% zuivere vorm gebruikt worden, maar ook mengsels met de klassieke diesel behoren tot de mogelijkheden.

Het bio-produkt vertoont zeer veel gelijkenis met de diesel uit aardolie. Het wordt in een zelfde type tank opgeslagen, het kan op een analoge manier getankt worden, de veiligheidsaspecten zijn vergelijkbaar. Rijden op bio-diesel vraagt noch investering, noch nieuwe motortechnologie. Kortom, het is een brandstof die in het klassieke brandstofcircuit gemakkelijk zou kunnen geïntegreerd worden. Alleen zal omwille van de beperkte productiecapaciteit (beperkte landbouwgebied) de toekomst van biobrandstoffen voor het verkeer beperkt blijven tot enkele procenten van de totale energievraag van deze sector.

#### **Gebruik en aanvaarding**

De Waalse Vervoersmaatschappij heeft te Mons van midden 1991 tot midden 1992 vijftien bussen op een 80/20 (diesel/koolzaadolie)-mengsel laten lopen. De ervaringen

gen waren positief. Dit jaar worden experimenten met 100% bio-diesel uitgevoerd. Ook bij de Lijn werd een enkel experiment met bio-diesel gedaan. De hogere kostprijs in vergelijking met de klassieke diesel blijft een hindernis.

### **Milieuvriendelijkheid en energieverbruik**

Het grote voordeel van methylester t.o.v. diesel is dat er door de motor minder zwarte rook geproduceerd wordt. Voor alle duidelijkheid: het gaat hier om een verminderde opaciteit en niet om een vermindering van de deeltjesuitstoot, integendeel: het resultaat van de gereguleerde meting van deeltjesuitstoot is ongunstiger. De bio-diesel geeft een wittere rook en een vetgeur. Met uitzondering voor  $\text{NO}_x$  worden er lagere gasvormige emissies bekomen. Meer wetenschappelijke experimenten zijn echter vereist om de bio-brandstof correct te kunnen positioneren in het kader van de Euro 1- en Euro 2-emissionormen.

Bij gebruik van een 80/20-mengsel werd een lichte verhoging van het brandstofverbruik vastgesteld. Ook hier zijn verdere testen nodig om meer kwantificeerbare cijfers te kunnen vermelden.

### **3.4. Waterstof**

Waterstof ( $\text{H}_2$ ) is, alhoewel weinig bekend, geen exotisch gas. Het wordt in grote hoeveelheden geproduceerd, bij voorbeeld als afvalproduct bij elektrolyse, als cokesoven- of raffinaderijgas. Het gas wordt hoofdzakelijk via pijpleidingen getransporteerd en verbruikt in diverse industriële sectoren. In warmtebehandelingsovens, bij de hydrogenering (opnemen van waterstof) van oliën en vetten, en bij de productie van halfgeleiders wordt waterstof als chemische grondstof of industrieel gas gebruikt.

In de ruimtevaart (aandrijving van raketten) wordt waterstof als brandstof gebruikt. Ook voor het wegverkeer dienen de eerste demonstraties zich aan.

#### **Opslag**

Waterstof is een zeer licht gas, beduidend lichter dan aardgas. Het energetisch equivalent voor 1 liter diesel is ruim  $3 \text{ Nm}^3$  waterstof. De opslag kan gebeuren als gas onder hoge druk (200 bar) in stalen cilinders, vergelijkbaar met aardgasopslag, maar gewicht en volume van deze tanks worden onaanvaardbaar hoog. Opslag bij hogere drukken (kleinere volumes) in lichtgewicht tanks is een noodzaak indien de brandstof in gasvorm meegenomen wordt.

Waterstof kan echter ook in vloeibare vorm opgeslagen worden bij een temperatuur van  $-253 \text{ }^\circ\text{C}$  in speciale dubbelwandige supergeïsoleerde tanks. Deze vorm van opslag geeft het laagste gewicht en volume van de tank. Hiertegenover staan even-

wel meerdere problemen verbonden met de extreem lage temperatuur. Opslag van waterstof in hydridevorm is een derde mogelijkheid. Hiervoor worden metaallegeringen gebruikt (opgeslagen in een aangepaste tank) die onder lage druk een metaalhydride (metaalwaterstofverbinding) vormen. Bij deze reactie komt warmte vrij en het proces is omkeerbaar. Het gewicht van de tank blijft erg hoog, het volume is aanvaardbaar. Deze vorm van opslag mag de intrinsiek meest veilige genoemd worden.

Geen enkel van de drie typen opslagtanks is vrijgegeven voor algemeen gebruik in wegvoertuigen. Voor proefprojecten kunnen wel prototypen (eerste produkten, mogelijk nog niet optimaal) bekomen worden. Het moet duidelijk zijn dat iedere opslagvorm zijn intrinsieke voor- en nadelen heeft. Alhoewel nog geen beste keuze aangeduid kan worden, wordt er in Europa toch een (lichte) voorkeur voor de vloeibare opslag vastgesteld.

### **Veiligheid**

Doordat waterstof een zeer licht gas is, zal het bij een eventuele lek zeer snel stijgen en zich zeer snel verspreiden.

De ontstekingsgrenzen van waterstof zijn echter zeer ruim : van 4 tot 75 volume%, (vergelijk met methaan : 5.3 tot 15%). Ook de ontstekingsenergie is extreem laag : een factor 10 kleiner dan van methaan. Dit betekent dat er uiterste voorzorgen moeten genomen worden om brandbare waterstof/lucht mengsels te vermijden.

Het gedrag van een waterstoftank bij brand kan vergeleken worden met deze van aardgas. Voor de drie soorten tanks kunnen vergelijkbare maatregelen genomen worden om het gas geleidelijk te laten ontsnappen.

Waterstof is niet giftig; bij hogere concentraties kan er wel zuurstoftekort optreden met verstikkingsgevaar.

Omdat waterstof kleurloos en reukloos is, is de toevoeging van odorants aanbevolen.

Hoewel de veiligheid van waterstofaangedreven voertuigen kan beheerst worden, zijn overhaaste experimenten uit den boze want bij een mislukking zou een antidemonstratie-effect gecreëerd worden.

### **Infrastructuur en tanken**

Door Vlaanderen loopt een 200 km lange waterstofpijplijn. Deze vertrekt in Noord-Frankrijk en zal eerlang verlengd worden tot in Tessenderlo. Bevoorrading kan via deze pijplijn of de waterstof kan ook in situ geproduceerd worden in een elektrolyseur (elektrolyse van water). Tankstations zijn er nog niet. De tankprocedure, de benodigde technische uitrusting en de infrastructuur zijn afhankelijk van het type waterstofopslag. Omwille van veiligheidsoverwegingen zal het tanken alleen door

gekwalificeerd personeel kunnen uitgevoerd worden of moet het volautomatisch gebeuren.

### **Gebruik en aanvaarding**

Twee Belgische initiatieven hebben tot doel de toepasbaarheid van waterstof in een bus te bewijzen. Deze bussen zijn niet gebouwd om specifiek op waterstof te rijden, het zijn dus duidelijk nog geen prototypen, laat staan in serie geproduceerde bussen.

De bus op waterstof van 'De Lijn' is een bus met verbrandingsmotor en brandstofopslag in hydridevorm. Als eerste fase wordt een Van Hool-bus van het oudere type (A 120) omgebouwd en getest op technische prestaties. Aan het rijbereik van de bus werden geen specifieke eisen gesteld. Verwacht wordt dat de voorziene tanks voldoende zijn voor  $\pm 50$  km actieradius.

Opdrachtgever van deze fase is het Vlaamse Ministerie van Verkeer, dat begin 1992 de nodige financiële middelen ter beschikking stelde voor uitvoering van het project. De projectleiding is in handen van Hydrogen Systems, actieve bijdragen worden geleverd door Van Hool voor de busombouw, Continental Energy Systems en de RUG voor de motoraanpassing. De bus is omgebouwd, testen zijn in uitvoering.

De Eureka-bus op waterstof is een Europees demonstratieproject. De bus wordt aangedreven door een brandstofcel, dit is een elektrochemisch systeem dat de brandstofenergie rechtstreeks omzet in elektrische energie. De brandstofcel zorgt voor het gemiddeld vermogen van de bus; het piekvermogen voor start en acceleratie wordt geleverd door batterijen. De brandstofcel kan de batterij opnieuw opladen; ook gerecupereerde remenergie kan hierin opgeslagen worden. Voor alle duidelijkheid nog: de aandrijfmotor is elektrisch, vandaar dat de brandstofcelaandrijving ook regelmatig als elektrische aandrijving gekarakteriseerd wordt, niettegenstaande de toegevoerde energie waterstof is.

De partners in het Eureka brandstofcelbusproject zijn: Elenco nv, België (brandstofcel en projectleiding), Ansaldo spa, Italië (elektrisch tractiesysteem), Saft sa, Frankrijk (batterijsysteem) en Air Products Nederland, (waterstofopslag in vloeibare vorm). Als voertuig wordt de vroegere Van Hool-Acec prototype trolleybus omgebouwd in de werkplaatsen van de MIVB. Vooraf was gesteld dat de bus een actieradius van 250 km en dezelfde rijprestaties als deze van de dieselbus moest hebben.

Eind 1993 zou de bus klaar zijn voor de eerste demonstratieritten in Brussel, daarna staat Amsterdam als gastheer op het programma. Het project loopt in nauwe samenwerking met de MIVB en wordt medegefinancierd door het Brussels Gewest.

### **Milieuvriendelijkheid en energieverbruik**

De verbranding van waterstof in een motor geeft als verbrandingsproduct water(damp). Er worden noch schadelijke HC, noch CO, noch CO<sub>2</sub> of andere broeikasgassen vrijgemaakt. Wel kan er NO<sub>x</sub> gevormd worden; deze emissies kunnen echter door een aangepaste motortechnologie minimaal gehouden worden. Praktijkgegevens zijn niet beschikbaar.

De effectieve emissies van een brandstofcelvoertuig zijn nihil, eigen aan het elektrochemisch proces.

Gezien echter waterstof een secundaire energievorm is mogen de emissies bij de productie van waterstof niet uit het oog verloren worden, zeker niet in vergelijking met concurrerende brandstoffen. Een minimale pollutie wordt verkregen bij gebruik van duurzame energiebronnen wind, water en zon.

Ook voor de energiebeschouwingen dient de ketenbenadering toegepast te worden. Het brandstofcelsysteem valt echter altijd gunstiger uit t.o.v. de verbrandingsmotor als gevolg van het hoger energetisch rendement van de brandstofcel (45% t.o.v. 25%).

### **3.5. Elektriciteit**

Auto's op elektriciteit, ze zijn niet echt onbekend meer. Bij elk groot autosalon stellen de constructeurs hun laatste producten ten toon. Bekend zijn zo o.a. de E1 van BMW en de Impakt van General Motors, twee voorbeelden van zuiver elektrische ontwerpen. Andere voertuigen zoals de Fiat Elettra zijn omgebouwde thermische voertuigen.

De energie voor de aandrijving is opgeslagen in batterijen die tijdens het rijden ontladen worden.

Ook batterijbussen behoren tot de technische mogelijkheden.

Elektrische auto's en batterijbussen hebben zuiver elektrische aandrijvingen. Volledigheidshalve moeten hier ook de hybride oplossingen vermeld worden. Zij worden gekenmerkt door de aanwezigheid aan boord van twee energiebronnen. De Eureka-brandstofcelbus is hier een voorbeeld van. Andere voorbeelden zijn de diesel- en aardgaselektrobus : een verbrandingsmotor op diesel resp. aardgas drijft een generator aan die zijn energie levert aan elektrische tractiemotoren en/of aan de batterijen naargelang de rijvoorwaarden. In deze configuratie kan de verbrandingsmotor voortdurend in zijn optimaal werkingspunt functioneren, met als gevolg minder emissies en een hoger thermisch rendement, dus een lager brandstofverbruik.

**Infrastructuur en 'tanken'**

Het herladen van de batterijen vergt tijd (uren) en dit is niet alleen te wijten aan de beperkingen van de batterij, maar ook aan het beschikbaar elektrisch vermogen van het stopcontact. Een tweede beperking van het batterijvoertuig is zijn beperkt rijbereik : 70 tot 150 km naargelang het type batterij.

Deze beperkingen maken het voertuig op elektriciteit typisch geschikt voor korte afstanden, voor gebruik in de stad. 's Nachts kunnen de batterijen bijgeladen worden aan een gunstig tarief.

**Gebruik en aanvaarding**

In België zijn slechts twee elektrische auto's commercieel beschikbaar : de Peugeot J5 en de Volta. Deze laatste kost 1.050.000 BEF (excl. BTW) in zijn basisversie, dus vrij duur.

Het gebruik van elektrische voertuigen wordt in België aangemoedigd door Citelec, een Europese vereniging die steden informatie geeft over potentiële elektrische tractiemogelijkheden.

Batterijbussen zullen de volgende jaren in België niet echt onderwerp van demonstratie zijn. Hybride bussen, de diesel-elektrobussen bij voorbeeld mogen wel verwacht worden. In welke stad deze zullen ingezet worden is nog niet geweten, maar Brugge wordt wel eens vernoemd.

**Milieuvriendelijkheid en energiegebruik**

Het lijkt geen twijfel dat elektrische aandrijving de meest milieuvriendelijke aandrijving is, zeker voor stadsverkeer : ter plaatse worden geen emissies gerealiseerd. Vanuit de ketenbenadering kan berekend worden dat met de huidige brandstoffenmix voor de Belgische elektriciteitsproductie er in vergelijking met een thermisch voertuig (met verbrandingsmotor dus) alleen meer SO<sub>2</sub> gevormd wordt. De SO<sub>2</sub> moet toegeschreven worden aan de aanwezigheid in het elektriciteitsproductiepark van poederkoolcentrales die niet voorzien zijn van ontzwavelingsinstallaties.

Het energieverbruik dient beschouwd te worden vanuit de ketenbenadering. Indien gerekend wordt met een rendement van 40% van de centrale, 94% distributierendement en 70% voertuigrendement, wordt een totaalrendement van de energieketting van 26% verkregen. Dit is relatief hoog, zeker in vergelijking met het ketenenergie-rendement van 4% van de waterstofmotor.



#### 4. DE ROL VAN DE ONDERZOEKSINSTELLINGEN

Onderzoeksinstellingen en universiteiten moeten vanuit hun specifieke wetenschappelijke basis de ontwikkeling, demonstratie en evaluatie van de alternatieve motorbrandstoftechnologieën bevorderen, ondersteunen, begeleiden en uitvoeren. Dit dient te gebeuren vanuit een totaalconcept, waarbij ook facetten zoals infrastructuur en veiligheid de nodige aandacht krijgen. In wat volgt wordt een beperkt overzicht gegeven van de betrokkenheid van diverse instellingen bij het technologisch onderzoek naar nieuwe brandstoffen. Deze opsomming is duidelijk niet limitatief.

##### - Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO)

Vito heeft binnen haar afdeling Energie een groep transport die zich zeer specifiek bezighoudt met de geïntegreerde technologische evaluatie van alternatieve motorbrandstoffen. Een bekend voorbeeld van dergelijk Technology-Assessment-onderzoek is de studie omtrent het stadsvervoer in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest, een opdracht van het staatssecretariaat in 1990-91. Alternatieve brandstoffen en motoren voor stadsbussen werden onderling vergeleken qua technologie, milieuaspecten, energiefacetten, veiligheid, bedrijfszekerheid en maatschappelijke aanvaarding. Voor dit laatste aspect werd een beroep gedaan op het Centrum voor Politicologie van de Vrije Universiteit Brussel. De resultaten van het onderzoek hebben mee de basis gevormd van de actuele zeer actieve betrokkenheid van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest in het domein van de aardgas- en brandstofcelbusdemonstratie.

Op dit ogenblik ontwikkelt Vito een meetsysteem om emissie- en energiemetingen uit te voeren in rijdende voertuigen. Dit systeem biedt de opportuniteit reële gegevens van uitlaatgassen en brandstofverbruik experimenteel te bepalen in reële omstandigheden. Vervoersmaatschappijen en voertuigconstructeurs kunnen hieromtrent Vito's diensten invoeren.

Het meetsysteem zal o.a. gebruikt worden bij de evaluatie van de Brusselse aardgasbussen. Naast deze metingen verzorgt Vito ook de technisch-wetenschappelijke begeleiding van het Brussels Aardgasbusproject.

##### - Nationale Investeringsmaatschappij (NIM) en Koning Boudewijnstichting

De NIM en de Koning Boudewijnstichting hebben in 1991, in samenwerking met het IHE, de RUG, de FUL (Fondation Universitaire Luxembourgoise), de VUB en het Nederlandse TNO (Organisatie voor Toegepast Wetenschappelijk Onderzoek) een evaluatie gemaakt van diverse alternatieve motorbrandstoffen. Er werd

gestreefd naar een eenduidig beste oplossing op korte termijn. Aardgas werd erg gepromoot en zelfs als commercieel beschikbare technologie voorgesteld. Menig lezer en partner in de vervoertechniek ervaart de studie als eenzijdig.

Het is naar deze studie dat in de pers regelmatig verwezen wordt bij de aankondiging van aardgasbussen in België. Uit dit studie-initiatief is Citensy opgericht, een joint-venture tussen de NIM, Distrigas en Tractebel voor het commercialiseren van aardgas als voertuigbrandstof. Haar specifieke bevoegdheid is de vaste installatie bestaande uit de aardgasbevoorrading en het compressorstation.

#### **- Vrije Universiteit Brussel (VUB)**

De VUB heeft een onderzoekstraditie op het gebied van de elektrische voertuigen. Ook Citelec is hier gevestigd. Het meest bekende initiatief zijn 'De Twaalf Elektrische Uren', een demonstratieproef met elektrische voertuigen in een stad.

#### **- Universiteit Gent (RUG)**

In het labo voor Machines en Machinebouw van de RUG zijn motoroptimalisatie en het uittesten van motoren voor de alternatieve brandstoffen LPG, aardgas en waterstof actuele onderwerpen van onderzoek. Op de motortestbank wordt een eerste screening van de emissies en het brandstofverbruik gedaan. Rekening houdend met de technologische problemen wordt er naar een optimale werking gestreefd.

#### **- Koninklijke Militaire School (KMS)**

De KMS is de enige instantie in België die erkend en bevoegd is voor de uitvoering van officiële emissietesten, vooral voor wettelijke homologatie van nieuwe voertuigen. KMS bezit hiervoor de benodigde infrastructuur: rollen- en motorentestbank en emissieapparatuur. Ook levensduurtesten op motoren behoren tot de mogelijkheden.

#### **- Waalse Universiteiten**

De universiteit van Luik (ULg) heeft zich vooral toegelegd op motorgedragstesten bij gebruik van biobrandstoffen.

De Université Catholique de Louvain (UCL, Louvain-la-Neuve) is gespecialiseerd in de verbranding van arme brandstoffen en heeft het project in Mons mee opgevolgd.

## 5. BESLUIT

Naast de klassieke brandstoffen, zal er op termijn ruimte zijn voor de alternatieve brandstoffen. Beweegredenen voor de introductie hiervan zijn de positieve verwachtingen qua milieu-impact, vooral op het stedelijk leefmilieu.

Tot de oplossingen op korte termijn kunnen LPG-, aardgas-, bio-diesel- en elektrisch aangedreven voertuigen gerekend worden.

Niettegenstaande LPG de meest bekende alternatieve brandstof is met een goed uitgebouwd verdeelnet, wordt een grootschalige doorbraak niet verwacht. Voor het openbaar vervoer is de grote concurrent aardgas, voornamelijk omwille van de zeer sterke lobbying. Als brandstof voor de personenwagen wordt er ook een verminderde verkoop vastgesteld. Enerzijds is LPG financieel minder voordelig geworden, anderzijds worden geen nieuwe klanten aangetrokken omdat LPG als gevaarlijk ervaren wordt.

Aardgasbussen worden in 1993 een realiteit in België. Voor wat betreft de voertuigen motortechnologie worden, niettegenstaande het hier om een eerste produkt gaat, geen onoverkomelijke problemen verwacht. Een grootschalige doorbraak kan pas wanneer er én voldoende tankstations zijn én experimenteel bewezen is dat aardgas als motorbrandstof voldoet aan de (milieu)verwachtingen.

Diversificatie binnen de landbouwsector laat toe bio-diesel (koolzaadolie) als motorbrandstof te gebruiken. De aanwending zal echter beperkt blijven tot enkele procenten van de totale energievraag van het wegtransport. Bio-diesel vertoont zeer veel gelijkenis met de klassieke diesel; toch blijft er nood aan een grondig wetenschappelijk ondersteund demonstratieprogramma om de perspectieven correct te kunnen inschatten.

Elektrische aandrijvingen zijn niet echt onbekend meer. Als voorbeelden van 'zero-emission'-voertuigen pakken zij het pollutieprobleem in de stad het meest direct aan. Een echte doorbraak wordt, niettegenstaande het potentieel, niet verwacht. Wel is de demonstratie van diesel-elektrobussen aangekondigd.

Alternatieven op langere termijn zijn te vinden bij de waterstofaangedreven voertuigen. De Belgische initiatieven hebben tot doel de toepasbaarheid van waterstof als motorbrandstof in de bus te bewijzen. Zowel de technologie van de verbrandingsmotor als deze van de brandstofcel moeten nog experimenteel geëvalueerd worden. De bekomen observaties en prestaties zullen beslissend zijn voor de (eventuele) definitie van verdere acties.

De ontwikkeling van alternatieve brandstofftechnologieën is een langdurig proces dat jaren intensief werk vraagt. Een rationele aanpak is hier een noodzakelijke voor-

waarde en keuzes moeten gebaseerd zijn op gefundeerde studies. Bovendien moet er gefaseerd te werk gegaan worden, zeker voor de lange termijnoplossingen. Demonstraties, prototype-ontwikkeling en testen van vloten bussen bepalen de weg naar het commerciële voertuig.

Evaluaties van alternatieve brandstoffen moet gebeuren vanuit een totaalconcept, waarbij er naast de technologische studies en ontwikkelingen aandacht moet zijn voor ecologische en energetische beschouwingen vanuit de ketenbenadering. Ook facetten zoals veiligheid (en iedere brandstof heeft zijn specifieke veiligheidsspecificaties), informatiedoorstroming en infrastructuurvoorzieningen vereisen inspanningen. Uiteindelijk zullen deze aspecten mee de aanvaarding en de doorbraak van de alternatieve brandstoffen bepalen. Onderzoekinstellingen kunnen bij deze totaal-aanpakbenadering een belangrijke rol spelen.

Of de doorbraak van deze alternatieven inderdaad zo'n vaart zal lopen als sommige krantenartikels beweren blijft de vraag. Gezien de diversiteit van aspecten die een introductie met zich meebrengt en de noodzakelijke doordachte aanpak, zullen alternatieve brandstoffen slechts heel geleidelijk in de motorbrandstofmarkt penetreren. En vergeten we ook de concurrentie van de klassieke brandstoffen niet...

## BIBLIOGRAFIE

- Craps, R., H. Van den Bergh (1991) 'Mogelijkheden voor het gebruik van waterstof in wegvoertuigen, een aspectenonderzoek van opslag- en motortechnologie', *Energie en Milieu*, 4 : 137-141.
- Craps, R., G. Maggetto (1992) 'Waterstof- en elektrisch aangedreven voertuigen', *Energie en Milieu*, 6 : 213-218.
- De Muynck, E. (1992) 'De elektrische auto : een gezond alternatief?', *Energie en Milieu*, 4 : 220-223.
- Leemans, B. (1991) 'Productie en gebruik van waterstof in Vlaanderen : huidige situatie en toekomstperspektieven', *Energie en Milieu*, 4 : 128-132.
- Van den Bergh, H. (1991) *TA-onderzoek omtrent het stadsvervoer in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest: Alternatieve brandstoffen en motoren voor stadsbussen*. Mol : VITO-rapport HVdB/MJW-91/V.
- Van den Bergh, H., J. Kretschmar (1992) *Nieuwe brandstoffen voor een milieuvriendelijk transport*. Mol : VITO-rapport ENE.RA9203.